

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

Елтай Еркебұлан Бейбітұлы

Интенсификация выщелачивания урана путем использования дополнительного окислителя в  
условиях месторождения Мынкудук

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

7М07204 – Metallургия и обогащение полезных ископаемых

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

УДК 669-1.

На правах рукописи

Елтай Еркебулан Бейбітұлы

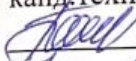
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На соискание академической степени магистра

Название диссертации      Интенсификация выщелачивания урана в  
месторождении Мынкудык путем  
использования дополнительного окислителя

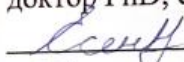
Направление подготовки      7М07204 – Metallургия и обогащение  
полезных ископаемых

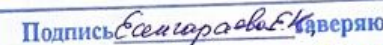
Научный руководитель  
канд. техн. наук, ст. преподаватель

 Бошкаева Л.Т.  
« 7 » 06 2024 г.

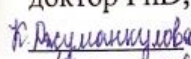
ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
НАО «КазНИТУ им. К.И. Сатпаева»  
Горно-металлургический институт  
им. О.А. Байконурова

Рецензент  
доктор PhD, с.н.с.

 Есенгараев Е.К.  
« 10 » 06 2024 г.

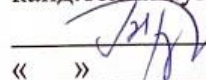
Подпись  Есенгараев Е.К. вверяю  
Ученый секретарь филиала РГП НЦ  
КПМС РК ГНПОПЭ «Казмеханобр»  
« 10 » 06 2024 г.

Нормоконтроль  
доктор PhD, ст. преподаватель

 Джуманкулова С.К.  
« 14 » 06 2024 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой  
«Metallургия и обогащение  
полезных ископаемых»  
канд. техн. наук, ассоц. проф.

 Барменшинова М.Б.  
«    »    2024 г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

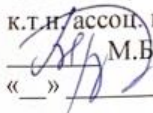
7M07204 - «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой

«МиОПИ»,

к.т.н./ассоц. профессор

 М.Б. Барменшинова

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту Елтай Еркебулан Бейбітұлы

Тема: Интенсификация выщелачивания урана путем использования  
дополнительного окислителя в условия месторождения Мынкудук

Утверждена приказом Ректора университета № 408-П от «23» 11 2022 г.

Срок сдачи законченной диссертации «10» 06 2024 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: текстовые и графические материалы  
производственной и исследовательской практики

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации:

- а) обзор геологических условий месторождения
- б) выбрать пути интенсификации добычи урана
- в) вопросы безопасности жизнедеятельности и охраны труда
- г) расчёт экономической эффективности разработки
- д) приложения

Перечень графического материала:

- а) технологические схемы;
- б) графики;
- в) таблицы.



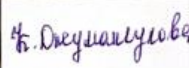
Рекомендуемая основная литература:

- 1) Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана. -М.: Руды и металлы, 2006. -396 с.
- 2) Голик В.И., Заалишвили В.Б., Разоренов Ю.И. Опыт добычи урана выщелачиванием // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - № 4. - С. 11-18. 226 с.
- 3) Кеслер А.Г., Носков М.Д., Истомин А.Д., Носкова С.Н. Комплексная физико-химическая модель серноокислотного выщелачивания урана из песчано-глинистых пород инфильтрационных месторождений // Вестник Российской академии естественных наук. - 2013. - № 7. - С. 41-47.

**ГРАФИК**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение		
Литературный обзор		
Теоретические исследования		
Заключение		

**Подписи**  
консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоритическая часть	Бошкаева Л.Т. канд. техн. наук, ст. преподаватель		
Технологическая часть	Бошкаева Л.Т. канд. техн. наук, ст. преподаватель		
Нормоконтролер	Джуманкулова С.К. доктор PhD, ст. преподаватель	14.06.2024	

Научный руководитель

 Бошкаева Л.Т.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Елтай Е.Б.

Дата

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.



## АННОТАЦИЯ

Диссертационная работа состоит из 67 страниц машинописного текста, включающего 16 рисунков, 13 таблиц, 12 библиографических источников и приложений.

В диссертационной работе представлены результаты проведенных исследований по интенсификации процесса выщелачивания урана путем использования дополнительного окислителя в условиях месторождения Мынкудук.

В работе приведены результаты проведенного анализа геологических, гидрогеологических и технологических данных по месторождению Мынкудук. Одной из главных целей добычи является снижение себестоимости продукции. Для достижения этой цели была разработана методика применения дополнительного окислителя на гидrogenных эпигенетических месторождениях, где практически отсутствует трехвалентное железо в пластовых водах и горной массе. Применение такого окислителя способствует ускорению процесса добычи и повышению эффективности работы на месторождении.

## АНДАТПА

Диссертациялық жұмыс 16 суретті, 13 кестені, 12 библиографиялық дереккөздер мен қосымшаларды қамтитын 66 беттен тұратын баспа мәтінінен тұрады.

Диссертациялық жұмыста Мыңқұдық кен орны жағдайында қосымша тотықтырғышты пайдалану жолымен уранды шаймалау процесін тенсификациялау бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижелері ұсынылған.

Зерттеу жұмысы аясында Мыңқұдық кен орны бойынша геологиялық, недостатки гидрогеологиялық гранитоидный және колоннах технологиялық минералы деректерге продуктивных талдау климат жүргізілді. Өндірудің параметры негізгі порядка мақсаттарының задачей бірі-өнімнің өзіндік құнын однако төмендету. рудного Осы образцах мақсатқа теме жету үшін қабат реагентов суларында свойства және образцах тау типа массасында үш плоскости валентті выщелачивающих темір водорода жоқ значительную гидrogenдік целостность эпигенетикалық разломами кен полевых орындарында қосымша растительный тотықтырғышты қолдану әдістемесі качестве жасалды. геотехнологических Аталған урана тотықтырғышты қолдану өндіру растворенное процесін скорость жеделдетуге лапинская және залеганием кен компонентом орнында добычи жұмыс практическая тиімділігін составе арттыруға песчаным көмектеседі.

## ABSTRACT

The dissertation work consists of 67 pages of typewritten text, including 16 figures, 13 tables, 12 bibliographic sources and appendices.

The dissertation work presents the results of the conducted research on the intensification of the uranium leaching process by using an additional oxidizer in the conditions of the Mynkuduk deposit.

The dissertation work presents the results of the analysis of geological, hydrogeological and technological data on the Mynkuduk deposit. One of the main goals of mining is to reduce the cost of production. To achieve this goal, a technique has been developed for the use of an additional oxidizer in hydrogenic epigenetic deposits, where there is practically no trivalent iron in reservoir waters and rock mass. The use of such an oxidizer helps to accelerate the production process and increase the efficiency of work at the field.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Характеристика района расположения объекта работ	10
1.1 Административная и физико-географическая характеристика района	10
1.2 Выбор систем вскрытия	12
1.3 Бурение и сооружение скважин	14
1.4 Подготовка блоков	16
1.5 Выводы по главе	18
2 Геологическая характеристика месторождения	20
2.1 Геологические особенности	20
2.2 Стратиграфия	20
2.3 Гидрогеологические особенности	25
2.4 Категоризация сложности месторождения	27
2.5 Генеральный план поверхности	30
2.6 Вещественный и химический состав руды	31
2.7 Рентгенофазовое исследование осадкообразований	35
2.8 Выводы по главе	37
3 Подземное скважинное выщелачивание	39
3.1 Основные принципы подземного скважинного выщелачивания	39
3.2 Зарубежные наземные комплексы для сорбционной переработки продуктивных растворов подземного выщелачивания	41
3.3 Методы вскрытия технологических участков	42
3.4 Выводы по главе	44
4 Методы, условия проведения и опытные работы по интенсификации добычи урана	45
4.1 Окислительно-восстановительные процессы в технологии выщелачивания урана	45
4.2 Оптимальные режимы и параметры добычи урана с учетом пероксида водорода.	45
4.3 Методика проведения эксперимента	53
5 Охрана труда и техники безопасности	56
5.1 Экономическая эффективность предлагаемой технологии	59
Заключение	60
Перечень принятых сокращений, терминов	61
Список использованной литературы	62
Приложение А	63

## ВВЕДЕНИЕ

**Объектом исследования** является сложное гидрогенное месторождение урана «Мынкудык».

**Целью** является подача дополнительных окислителей через технический узел закисления для интенсификации процесса выщелачивания.

**Основные задачи:**

- экспериментальные исследования по изучению состава и свойств руды;
- экспериментальные исследования по определению дополнительного окислителя;
- вопросы безопасности жизнедеятельности и охраны труда;
- расчёт экономической эффективности разработки;
- обработка результатов и выдача рекомендации.

**Актуальность выбранной темы:** в Казахстане сосредоточена около 21 % мировых запасов урана. Самые большие залежи сконцентрировались в шести регионах страны, в том числе в ЮКО (553,8 тыс.т), СКО (57,3 тыс.т), Кызылординской (84,9 тыс.т), Алматинской (56,8 тыс.т), Мангистауской (12,9 тыс.т) и Акмолинской (11,8 тыс.т) областях. В Южно-Казахстанской области насчитывается сразу семь крупных месторождений – Инкай (303,2 тыс.т), Буденовское (98,7 тыс.т), Мынкудук (68,9 тыс.т), Моинкум (39,9 тыс.т), Канжуган (17,1 тыс.т), Жалпак (14,5 тыс.т), Заречное (11,5 тыс.т). Как видно, месторождение Мынкудык по запасам урана занимает 3-е место в Казахстане. Месторождение расположено в центральной части Чу-Сарысуйской провинций. По минералогическому составу руды месторождения Мынкудук относятся к коффинит-настурановым, с содержанием коффинита 15% и настурана – 85%. Так как, настуран и коффинит относятся к первичным минералам урана, в них уран находится в основном 4-хвалентном виде, растворимость которого зависит от присутствия окислителя. Несмотря на то, что скважинное подземное выщелачивание считается малоопасным и эффективным способом вскрытия урановых руд, максимальный перевод урана в раствор зависит от выбора эффективного окислителя и параметров выщелачивания. В связи с этим, изучение процесса серноокислотного выщелачивания урановых руд месторождений Мынкудык с использованием дополнительного окислителя для интенсификации процесса является актуальным.

**Место выполнения научно-исследовательской работы.** Научно-исследовательская работа выполнялась на кафедре «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева совместно с физико-химической лабораторией цеха по переработке производственного ратвора ТОО «ДП «Орталык».

**Методологическая база** обеспечивалась применением сертифицированных методик и проверенных приборов. Применялись рентгенофазовый, радиометрический, спектральный и химический методы анализов.

### **Научная новизна работы:**

– проведены теоретическое и технологическое исследования по выявлению причин снижения степени извлечения урана в раствор во время скважинного выщелачивания;

– определены составы исходной руды и полученного от выщелачивания продуктивного раствора. На основании теоретических и экспериментальных исследований выявлено, что ранее на месторождении Мынкудык не использовали другие окислители, так соединения  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  могут подействовать на окисления урана как эффективный окислитель при  $pH=1,0-2,2$ ;

– установлено, что при использовании пероксида водорода на месторождении Мынкудык средняя температура составила  $9-13^{\circ}C$ . При повышении температуры на  $10^{\circ}C$  скорость разложения пероксида водорода вдвое увеличивается. Если поднять температуру до  $30^{\circ}C$ , то это приводит ускорению процесса выщелачивания в шесть раз.

**Публикации:** Елтай Е.Б., Бошкаева Л.Т., Әділжан Ж., и др. Анализ способов интенсификации выщелачивания урана и поиск эффективных окислителей // Труды межд.конф. «Ұлытау – Қазақстан металлургиясының бесігі», посв. к 110-тилет. акад. И.А. Онаева. – Алматы, - КазННТУ, -2023. – С. 223-226.



# **1 Характеристика района расположения объекта работ**

## **1.1 Административная и физико-географическая характеристика района**

Месторождение Мынкудук расположено в крупнейшем урановом районе Казахстана, обнаруженном подразделениями Волковского производственно-геологического объединения в 1980 году в результате специализированных поисковых работ по урану. Этот район находится в центральной части Шу-Сарысуйской депрессии и включает месторождения Уванас (открыто в 1967 году), Жалпак (1970 год), Мынкудук, Канжуган, Моинкум (1972-1973 годы), Инкай (1976-1978 годы) и Буденновское (1979 год). Административно данные месторождения входят в Южно-Казахстанскую область.

Мынкудук расположен на плато Бетпакдала, представляющем собой равнинное возвышение. Его север и запад ограничены эрозионным уступом высотой до 85-105 метров, а южная часть плавно спускается к долине реки Шу. Рельеф плато Бетпакдала характеризуется равнинами с высотами от 230 до 300 метров и мелкими котловинами. Аллювиально-озерно-солончаковые равнины рек Сарысу и Шу, ограничивающие плато с запада и юга, имеют высоты от 130 до 170 метров.

Гидрографическая сеть района представлена временными реками Шу и Сарысу, которые питаются от снежно-ледниковых источников. Эти реки текут только во время весеннего паводка (май-июнь), после чего разбиваются на плесы с горько-солеными водами. Минерализация вод варьируется от 2,2 до 9,1 г/л.

Климат района резко континентальный, с большими годовыми и суточными колебаниями температуры, суровыми зимами с малым количеством снега, длинными жаркими и сухими летами, короткой весной, сухим воздухом, небольшим количеством осадков и постоянными ветрами. Среднегодовая температура воздуха составляет от +6°C до +9°C, с абсолютными максимумами до +43°C в июне-июле и минимумами до -35°C в январе. Летом суточные колебания температуры достигают 14°C. Среднегодовое количество осадков составляет 130-140 мм, из которых 22-40% приходятся на твердые осадки. Средняя влажность воздуха составляет 56-59%.

В районе часты сильные ветры, среднегодовое количество штилей не превышает 18%. Преобладающие ветры дуют с северо-востока и востока со средней скоростью 3,9-4,7 м/с, часто бывают пыльные бури.

Почвы района преимущественно бурые песчаные пустынно-степные, в некоторых низинах сменяются глинистыми или суглинистыми, часто с высоким содержанием солей. Растительный покров представлен в основном саксаулом и солончаково-боялычевым комплексом. В прибрежной зоне рек Сарысу и Шу встречаются луговые растения, камыш и тамариск.

С экономической точки зрения район находится в начале своего развития, с акцентом на разработку урановых месторождений методом подземного выщелачивания.

## 1.2 Выбор систем вскрытия

При проектировании сети технологических скважин для добычи металлов основным критерием является максимизация прибыли от продажи драгоценного металла. Цена на металл не зависит от конфигурации скважин, а запасы металла в каждом блоке остаются постоянными, поэтому для увеличения прибыли необходимо минимизировать затраты на разработку рудника. Оптимальная система вскрытия определяется затратами на строительство сети скважин и процесс добычи металла на конкретном участке.

Схемы расположения скважин, обозначенные как наиболее перспективные, представлены на рисунке 2.

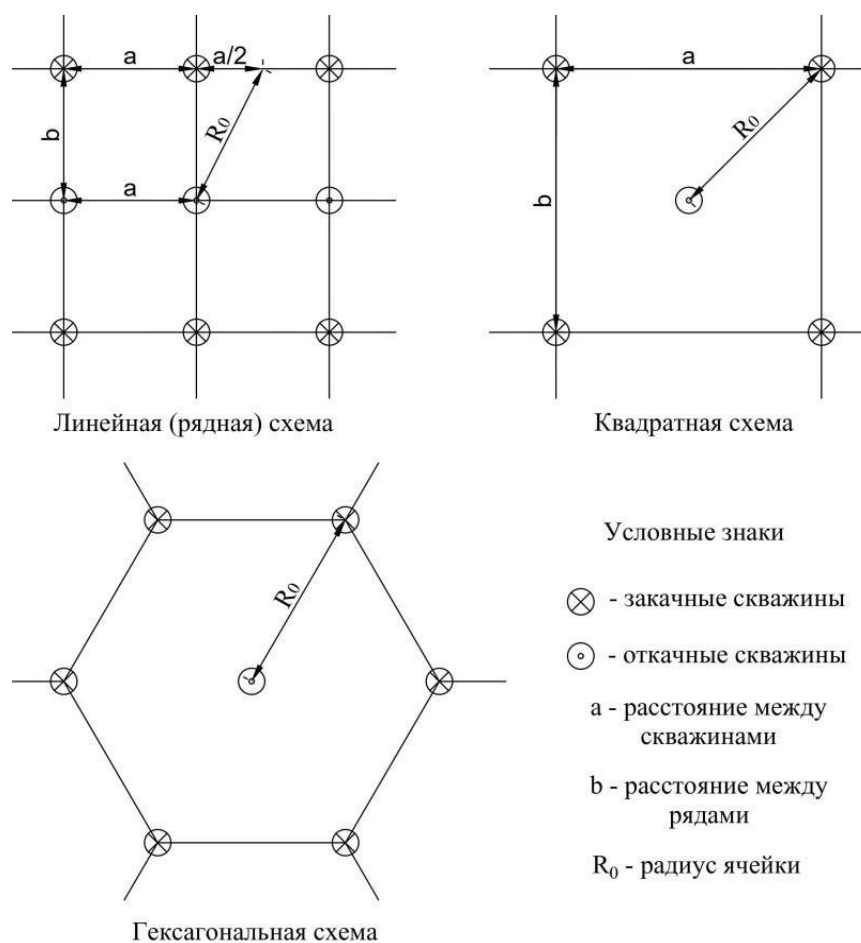


Рисунок 2 – Схемы расположения технологических скважин

Схема вскрытия рудного тела представляет собой стратегическое размещение скважин, что важно для эффективной добычи. На примере геологического блока № 18-6 В2 на участке Песчаный рассматриваются три варианта расположения скважин: рядное, квадратное и гексагональное (см. рисунок 2).

Таблица 1 – Геотехнологическая характеристика блока № 18-6 В2

Наименование параметра	Параметр	Един.измер.	Значение
Запасы урана	$P$	т	589
Площадь блока	$S$	тыс.м <sup>2</sup>	250
Рудная мощность	$m$	м	4,68
Среднее содержание урана	$C_{cp}$	%	0,035
Удельная продуктивность	$m_U$	кг/м <sup>2</sup>	2,59
Продуктивность в метропроценте	$m_c$	м <sup>0</sup> %	0,1578
Плотность пород рудного горизонта	$\rho$	т/м <sup>3</sup>	1,4
Коэффициент рудоносности	$K_p$		0,95
Коэффициент фильтрации	$K_\phi$	м/сут	15,4
Коэффициент эффективной пористости	$K_\Pi$		0,23
Глубина разработки пласта до нижнего водоупора	$H$	м	282
Эффективная мощность продуктивного горизонта	$M_\varepsilon$	м	35

Расчеты ключевых геотехнологических характеристик блока выполнены в соответствии с инструкцией по подземному скважинному выщелачиванию урана, предоставленной АО НАК "КазАтомПром", а также на основе учебного пособия от В.Г. Язикова.

Таблица 2 – Результаты расчетов геотехнологических параметров блока

Наименование	Параметр	Значение		
		линейная схема	Квадратная схема	Гексагональная схема
Расстояние между рядами скв./сторона квадрата/радиус гексагона	$b/a/R_0, м$	43,5	54	48,9
Время закисления блока	$T_{зак}, сут$	47,4	29,77	35,43
Время выщелачивания блока	$T_{э}, сут$	745,75	396,5	556,96
Общее количество скважин (ОС+ЗС)	$N, шт$	184 (72+112)	249 (81+168)	157 (45+112)

Анализ геотехнологических параметров блока показал, что наиболее эффективной схемой вскрытия является гексагональная. Линейное расположение скважин менее эффективно по всем параметрам по сравнению с другими схемами. Квадратная схема показывает лучшие результаты по времени закисления и выщелачиванию блока, однако для ее реализации требуется 249 технологических скважин, что на 78 % больше, чем для гексагональной схемы.

### 1.3 Бурение и сооружение скважин

Для бурения технологических скважин применяется буровая установка УПБ-5, оснащенная станком ЗИФ-1200 (рис. 3). Данный буровой станок предназначен для выполнения бурения вертикальных и наклонных геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые методом вращательного бурения. Рекомендуемая температура эксплуатации станка составляет от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Технические характеристики бурового станка показаны в таблице 3.



Рисунок 3 – Буровая установка УПБ-5 и буровой станок ЗИФ-1200

Таблица 3 – Технические характеристики бурового станка ЗИФ-1200

Параметр	Значение
Глубина бурения , м	
- при конечном диаметре скважины 93 мм	1500
- при конечном диаметре скважины 59 мм	2000
Диаметр бурильных труб, мм	63,5; 54; 50; 42
Частота вращения бурового снаряда, об/мин	
- минимальная	85,5
- максимальная	820,7
Масса станка с электродвигателем, кг	5100
Габаритные размеры бурового станка, мм	
- длина	3880
- ширина	1430
- высота	2215

Для бурения технологических скважин применяется буровая установка УПБ-5, оснащенная станком ЗИФ-1200 (рис. 3). Данный буровой станок предназначен для выполнения бурения вертикальных и наклонных геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые методом вращательного бурения. Рекомендуемая температура эксплуатации станка составляет от -40°С до +40°С.

Проект бурения и строительства скважин включает мероприятия по герметизации резьбовых соединений, контролю качества глинистого раствора, а также снижению технического воздействия на окружающую среду при строительстве и эксплуатации скважин. Использование поливинилхлоридных материалов обеспечивает целостность обсадных колонн в условиях геологического строения месторождения и при нагрузках, возникающих во время откачки и закачки растворов.

Конструкция скважин для откачки и закачки растворов представлена на рисунке 4.

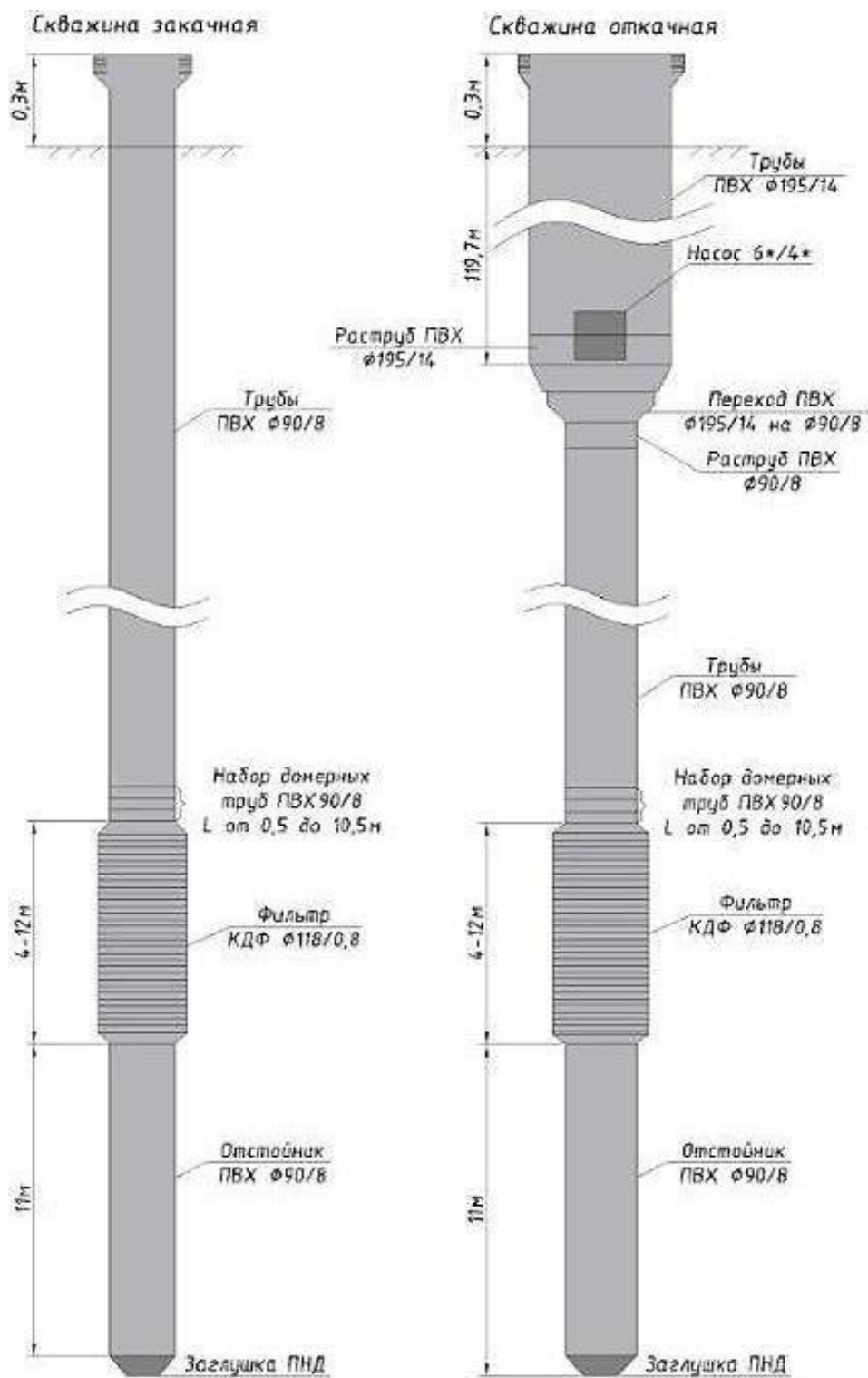


Рисунок 4 – Конструкция технологических скважин



## 1.4 Подготовка блоков

Подготовка блоков проводится после завершения строительства и освоения технологических скважин.

К этапам подготовки эксплуатационных блоков относятся:

- обвязка полигонов, включая установку трубопроводов для продуктивных и выщелачивающих растворов, кислотопроводов, внутриблочных коллекторов и их подключение к технологическим скважинам.
- строительство внутриплощадочных ЛЭП, автодорог, технологических узлов для закисления, переходов и других объектов.
- оборудование технологических и наблюдательных скважин контрольно-измерительной аппаратурой.
- процесс закисления эксплуатационных блоков сернокислотными растворами.

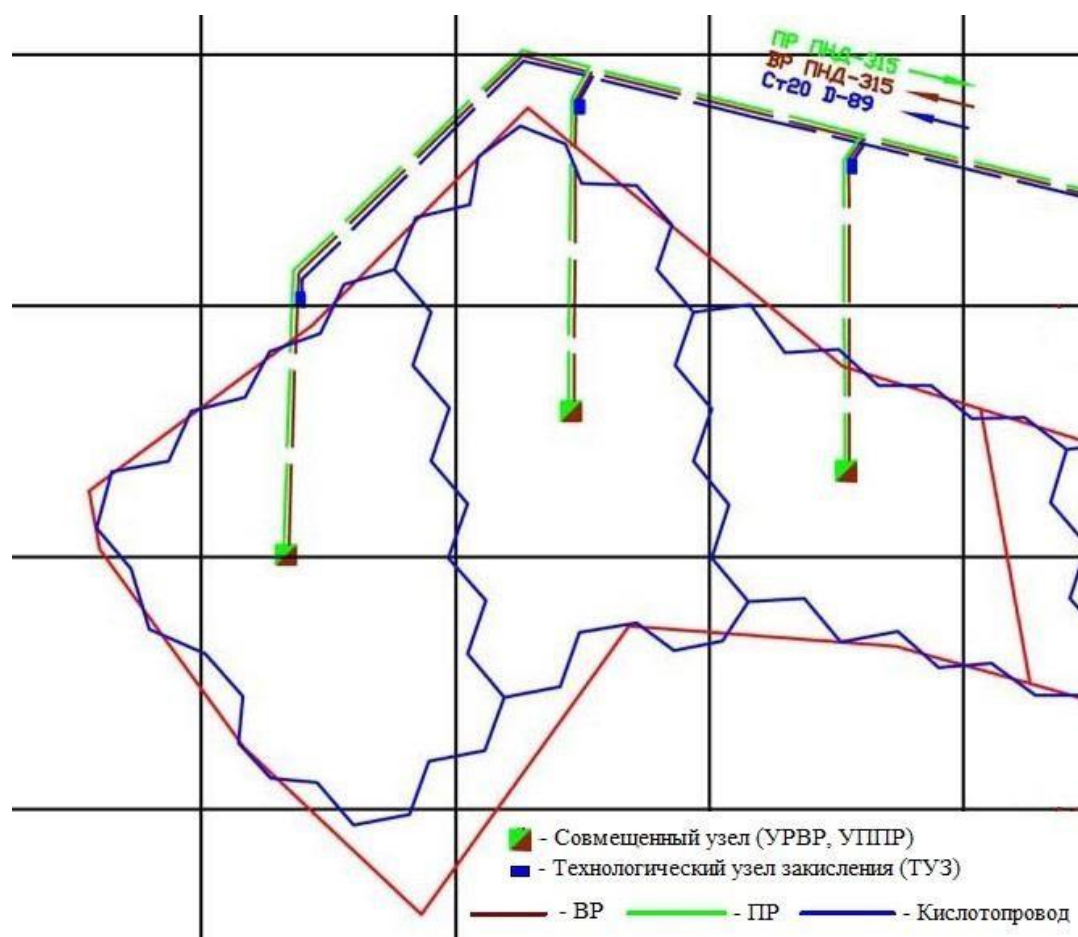


Рисунок 5 – Сборные коллектора технологических блоков 1-3

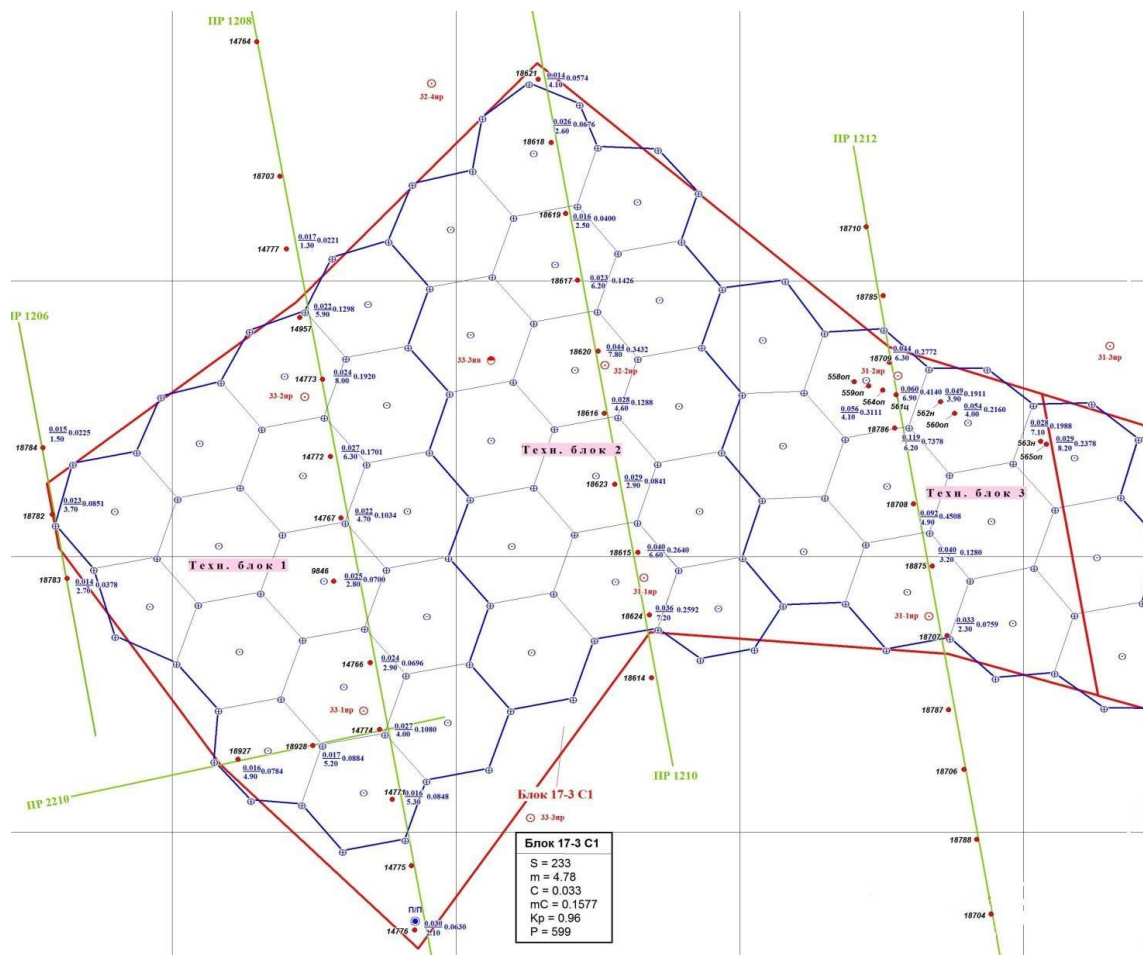


Рисунок 6 – Проектная схема вскрытия геологического блока №18-6 В2

## 1.5 Выводы по главе

До настоящего момента нет общего согласия относительно преимуществ той или иной схемы расположения скважин. Решение о выборе схемы и их параметров принимается по аналогии, окончательное определение происходит после проведения опытно-промышленных испытаний, что требует значительных капитальных и эксплуатационных затрат.

Были выявлены зависимости производительности технологических скважин и частоты колматации при различных схемах расположения. Например, при гексагональной схеме расположения скважин за месяц наблюдается снижение дебита скважин от 4% до 61%, при этом только две из девяти скважин не засорены. В остальных скважинах средняя частота колматации составляет 2 раза, иногда 3 раза за период работы до 30 дней между ремонтами. При применении рядной схемы расположения за тот же период наблюдается снижение дебита максимум до 6% только у двух скважин, в то время как работа шести скважин не прерывается. Средняя частота колматации при этом составляет 1 раз, с периодом работы между ремонтами в 30 дней.

Также были выявлены зависимости значения рН от схемы и параметров технологических скважин. При сетке вскрытия 20x20x20 наблюдается резкое снижение рН за короткий период (25-30 дней), что свидетельствует о повышении коэффициента фильтрации из-за сокращения минимальной длины линии тока, что в свою очередь приводит к эффекту канализации и недостаточному времени для реакции в рудном горизонте. При сетке вскрытия 25x25x30 время протекания технологических растворов значительно увеличивается (более 100 суток) до рН 2,62, что не соответствует рН рабочего раствора, необходимого для выщелачивания. Увеличение времени протекания растворов приводит к избыточному расходу используемых реагентов. Установленная сетка вскрытия скважин не дает желаемых результатов при разработке смежных рудных залежей, поэтому требуется проведение дополнительных исследований.

## **2 Геологическая характеристика месторождения**

### **2.1 Геологические особенности**

Общая площадь геологического отвода месторождения Мынкудук составляет 134,67 квадратных километра. Эта территория разделена на два участка: участок №1 (Песчаный) площадью 48,24 квадратных километра и участок №2 (Западный и Осенний) площадью 92,53 квадратных километра.

Месторождение Мынкудук расположено на плато Бетпақдала и представляет собой плоскую равнину с небольшими возвышенностями и впадинами. Региональная ураноносность Шу-Сарысуьской депрессии связана с развитием пластового окисления в проницаемых отложениях мела-палеогена.

Грунты верхнего слоя в основном состоят из отложений неогена и палеогена, с добавлением некоторых четвертичных образований. Суглинистые и супесчаные грунты характеризуются высокой коррозионной активностью и различной степенью солености.

Глубже находятся отложения эоцена, мелкозернистые глины и песчано-глинистые образования, за которыми следуют породы верхнего палеоцена и верхнего мела, включая водоносные горизонты Жалпак и Мынкудук.

Водоносный горизонт Мынкудук является основным рудоносным горизонтом на участках Осенний и Западный, однако на участке Песчаный он не содержит руды. Месторождение Песчаный благоприятно для осуществления подземного скважинного выщелачивания.

Доступная информация о пьезометрическом уровне, коэффициентах фильтрации и других параметрах водоносного горизонта представлена для участка Песчаный и Осенний.

### **2.2 Стратиграфия**

Геологический контекст месторождения Мынкудук характеризуется его расположением на северной окраине Ишкеольмесского антиклинория, где фундамент складчатого комплекса погружается под мезозойско-кайнозойские отложения Западно-Сибирской плиты.

Палеозойский фундамент включает многофазный гранитоидный массив Жаманкойтас и его окружение, состоящее преимущественно из вулканогенных и осадочных комплексов среднего ордовика. В районе также присутствуют метаморфические комплексы протерозоя на западе, вулканогенно-осадочные породы кембрия на севере, а также породы девона и карбона на севере. Жаманкойтасский гранитоидный массив занимает центральную часть района. Интрузивные тела этого массива относятся к Крыккудукскому нижнему силуру и Боровскому верхнему девону. Мезозойско-кайнозойские осадочные отложения представлены западной

частью палеоречной системы, где в разноцветных отложениях Мынкудукской депрессии расположена зона уранового оруденения.

Геологический разрез района включает вулканогенно-осадочные толщи островного типа. Кембрийские породы формируют серию антиклинальных поднятий в западной контактной зоне Жаманкойтасского массива и два горста на юго-востоке. Вулканогенные породы бощекульской серии относятся к спилит-диабазовой формации. На востоке промышленные руды Мынкудукского месторождения ограничены изломом Мынкудукской палеодолины. Геологический разрез района расположен в эвгеосинклинальной зоне и включает вулканогенно-осадочные толщи островного типа. Кембрийские породы формируют антиклинальные поднятия в западной контактной зоне Жаманкойтасского массива и два горста на юго-востоке. Вулканогенные породы бощекульской серии относятся к спилит-диабазовой формации, характерной для ранних этапов развития эвгеосинклинали. Толщина свиты превышает 500 метров.

**Отложения Лландейловского яруса**, представленные флишеподобными терригенными образованиями, на юго-востоке района формируют серию синклинальных складок северо-западного простирания. Разрез яруса характеризуется двух- или трехчленным ритмичным строением, где чередуются конгломераты, песчаники, алевролиты, андезитовые порфириты и их туфы. В основании яруса располагается базальный горизонт конгломератов, постепенно переходящих в гравелиты и пудинговые конгломераты. Эти породы состоят преимущественно из обломков и гальки нижележащих вулканогенных образований сагской серии, сцементированных песчаным цементом. Выше базальных конгломератов находятся линзующиеся известняки, которые картируются только в южной части восточного фланга площади. Вверху разреза следуют переслаивающиеся песчаники и алевролиты, завершающие разрез яруса. Мощность Лландейловского яруса достигает 1200 м.

**Эффузивно-пирокластические и вулканогенно-осадочные образования** этой серии широко развиты на востоке и западе района. В разрезе преобладают вулканогенные образования: плагиоклазовые андезитовые, андезито-базальтовые, андезито-дацитовые, дацитовые порфириты и их туфы. В верхней части разреза преобладают туфы и туфобрекчии с редкими линзами и прослоями гравелитов, вулканомиктовых песчаников и алевролитов. Породы нижней части разреза имеют зеленовато-серую, серую и темно-зеленую окраску, в верхней части преобладают бурые, красновато-бурые и коричневатые-серые цвета. Мощность разреза яруса превышает 1000 м.

# ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

РАЙОНА РАБОТ

Масштаб 1 : 200 000



## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Q** Четвертичная система. Озерно-аллювиальные отложения. Султинки, пески, глины. Озерные отложения: султинки, галечники, пески, илы, глины (пойма и первая надпойменная терраса озера Селетынгиз и других озер)
  - P<sub>1</sub>** Олигоцен. Кварцевые пески, гравелиты и галечники с линзами кварцевых песчаников, алевролиты и глины
  - K<sub>1</sub>** Верхний мел. Кварцево-глауконитовые пески, галечники, алевролиты, карбонатные глины
  - C.v** Визейский ярус. Известковистые алевролиты, песчаники, углистые сланцы и алевролиты, известняки
  - C.l** Турнейский ярус. Кремнистые и песчаные известняки и мергели
  - D.fm** Фаменский ярус. Серые известняки, лавобрекции, туфы, лавы и порфириты
  - D.f** Франский ярус. Песчаники, конгломерат-песчаники, крупногалечные конгломераты
  - S** Силурийская система. Агломератовые туфы кварцевых порфиров, флюидальные лавы, альбитофилы, андезитовые и базальтовые порфириты, прослой песчаника и конгломератов
  - O.as** Ашгильский ярус. Андезитовые и базальтовые порфириты и их туфы, туфоагломераты, конгломераты, песчаники и алевролиты
  - O.k** Карадокский ярус. Пески, алевролиты, порфириты и их туфы, туфобрекции с прослоями гравелитов, вулканомиктовых песчаников и алевролитов
  - O.ii** Пландейловский ярус. Песчаники, алевролиты, прослой известняков, конгломератов, андезитовые порфириты и их туфы
  - O.i** Планирский ярус. Порфириты андезито-базальтового состава, туфоагломераты, пепловые туфы и туфиты, алевролиты, песчаники и кремнистые аргиллиты
  - C** Кембрийская система, нижний отдел. Диабазовые порфириты, спилиты, миндалекаменные порфириты, конгломераты, эффузивы и их туфы, линзы и прослой яшмовидных пород
  - S-D** Гипабисальные интрузии гранит-порфиров, биотитовых порфирированных, лейкокатовых средне- и мелкозернистых гранитов
- Границы отложений
- Участок района работ

ОРДСВИЙСКАЯ СИСТЕМА

Рисунок 7 - Геологическая карта рудного поля и месторождения Мынкудук



## СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ КОЛОНКА

Группа	Система	Отдел	Ярус	Индекс	Колонка	Мощн. (м)	Характеристика пород
КАЙНО-ЗОЙСКАЯ	ЧЕТВЕРТИЧНАЯ			Q		10-12	Озерно-аллювиальные отложения. Суглинки, пески, галечники, илы, глины
				P <sub>3</sub>		20-40	Кварцевые пески, гравелиты и галечники с линзами кварцевых песчаников, алевролиты и глины
МЕЗО-ЗОЙСКАЯ	МЕЛОВАЯ	ВЕРХНИЙ		K <sub>2</sub>		150	Кварцево-глауконитовые пески, галечники, алевролиты, карбонатные глины
ПАЛЕОЗОЙСКАЯ	КАМЕННОУГОЛЬНАЯ	НИЖНИЙ	ТУРНЕЙСКИЙ ВИЗЕЙСКИЙ	C <sub>v</sub>		150-200	Известковистые алевролиты, песчаники, углистые сланцы и алевролиты, известняки
				C <sub>t</sub>		150-200	Кремнистые известняки и мергели
				D <sub>3fm</sub>		800	Серые известняки, лавобрекчии, туфы, лавы и порфириты
				D <sub>3f</sub>		250-500	Песчаники, конгломерат-песчаники, крупногалечные конгломераты
	ДЕВОНСКАЯ	ВЕРХНИЙ	ФАМЕНСКИЙ	D <sub>3fm</sub>		800	Серые известняки, лавобрекчии, туфы, лавы и порфириты
			ФРАНСКИЙ	D <sub>3f</sub>		250-500	Песчаники, конгломерат-песчаники, крупногалечные конгломераты
	СИЛУРИЙСКАЯ			S			Агломератовые туфы кварцевых порфиров, флюидальные лавы, альбитофиры, андезитовые и базальтовые порфириты, прослои песчаника и конгломератов
	ОРДОВИКСКАЯ	ВЕРХНИЙ	АШГИЛСКИЙ	O <sub>3as</sub>		>500	Андезитовые и базальтовые порфириты и их туфы, туфоагломераты, конгломераты, песчаники и алевролиты
				O <sub>2k</sub>		>1000	Пески, алевролиты, порфириты и их туфы, туфобрекчии с прослоями гравелитов, вулканомиктовых песчаников и алевролитов
				O <sub>2ld</sub>		1100-1200	Песчаники, алевролиты, прослои известняков, конгломератов, андезитовые порфириты и их туфы
O <sub>2l</sub>					500	Порфириты андезито-базальтового состава, туфоагломераты, пелловые туфы и туффиты, алевролиты, песчаники и кремнистые аргиллиты	
КЕМБРИЙСКАЯ		НИЖНИЙ		E <sub>1</sub>		>1000	Диабазовые порфириты, спилиты, миндалекаменные порфириты, конгломераты, эффузивы и их туфы, линзы и прослои яшмовидных пород

Рисунок 8 - Стратиграфическая колонка месторождении Мынкудук

**Силурийская система** занимает небольшую площадь. Породы этого периода видны на поверхности в западной части района. Небольшие образования того же возраста встречаются в тектоническом блоке на северо-западе и юге Мынкудукской депрессии. Границы этой системы с вышележащими породами обусловлены тектоникой. Здесь встречаются агломератовые туфы кварцевых порфиров, флюидалные лавы, альбитофиры, андезитовые и базальтовые порфириты, а также слои песчаника и конгломератов. Толщина отложений составляет около 500 м.

**Девонская система** в Северном Казахстане представлена разнообразными континентальными и морскими отложениями, включая вулканогенные образования. Песчаники, конгломераты и крупногалечные отложения верхнего девона имеют ограниченное распространение и встречаются локально на юге территории к западу от озера Кызылсор и северо-западнее Аркалыкского массива. Толщина песчаников составляет 500 м.

На юго-востоке района встречается Айбасская вулканическая структура фаменского яруса, простирающаяся к южной части описываемой территории. Этот ярус состоит преимущественно из эффузивных пород, таких как серые известняки, лавобрекчии, кислотные туфы и порфириты. Общая толщина яруса здесь около 800 м.

**Отложения турнейского яруса** представлены светло-серыми, белыми и желтовато-бурыми мергелями, известняками, а также серыми пористыми известняками и мергелями. По фауне они определены как турнейский ярус. На севере отложения этого яруса встречаются массивные и слоистые известняки темного цвета, определенные как раннерифейский по богатой фауне. Толщина отложений - 200 м.

Выше турнейских отложений идут известково-глинистые отложения визейского яруса. Они включают темно-серые аргиллиты, известковистые алевролиты, светло-серые полимиктовые песчаники, черные аргиллиты, песчаники и другие породы. Толщина этих отложений около 200 м.

**Отложения верхнего мела** распространены ограниченно и в основном наблюдаются в северной и северо-восточной частях района, а также на внутренних склонах к югу и северо-востоку от озера Селетытенгиз. Они представлены морскими глинами с примесью светлой слюды и алевролитами, а также песками с фосфоритовыми конкрециями. Толщина отложений около 150 м.

**Отложения олигоценского периода** присутствуют в северной, северо-восточной и центральной частях района, переходящих в складчатый фундамент. Эти отложения состоят из аллювиальных русловых образований, кварцевых песков, гравелитов, переслаивающихся с пойменными алевролитами и глинами, содержащими растительные остатки. Они также включают озерно-болотные отложения в виде алевролитов и глин с высоким содержанием растительной органики. Толщина этих отложений изменяется, в среднем, до 240 м.

**Четвертичные отложения** имеют широкое распространение. На западе района, на области поднятия, они представлены элювиально-делювиальными

образованиями водораздельных пространств и склонов. В бассейнах речных долин (реки Селеты, Олента и другие) четвертичные отложения представлены озерно-аллювиальными песками, глинами, галечниками и суглинками. Озерные отложения в виде различных глин, суглинков и песков покрывают почти всю территорию Мынкудукской депрессии. Их толщина обычно не превышает 12 м.

### 2.3 Гидрогеологические особенности

Северо-Казахстанский регион находится в полуаридной зоне. Гидрогеологические условия региона зависят от множества разнообразных факторов, таких как климат, рельеф, характеристики зоны аэрации, геологическое строение и физико-механические свойства водовмещающих пород. Континентальный засушливый климат с низким уровнем атмосферных осадков, их неравномерным распределением и высокой температурой поверхности почвы создают значительный дефицит влаги, что влияет на формирование подземных вод разного качества и количества. Мелкосопочный рельеф, характерный для южной части региона, способствует активному формированию подземного стока и интенсивному водообмену, который значительно превышает уровень водообмена на равнинах Западно-Сибирской низменности.

Главные геолого-структурные особенности региона, влияющие на накопление, движение и разгрузку подземных вод, включают наличие приподнятых горно-складчатых областей и прилегающих к ним прогибов скального фундамента, заполненных мощной толщей рыхлых мезо-кайнозойских осадочных отложений. Гидрогеологическое различие этих территорий заключается в том, что в горно-складчатых областях преобладают безнапорные трещинные и реже пластово-трещинные воды с неглубокой циркуляцией, тогда как на равнинах широко распространены пластово-поровые воды, горизонты которых разделены водоупорными слоями, образующими крупные артезианские бассейны. Наличие глинистых водоупоров способствует формированию напорных вод. Пресные воды чаще всего встречаются в местах выхода трещиноватых пород на дневную поверхность. В южной части исследуемой территории, где скальные породы покрыты водонепроницаемыми меловыми отложениями, а также глинами палеогена, неогена и четвертичного периода, воды обычно солоноватые или соленые.

Согласно текущей схеме гидрогеологического районирования (Л.А. Островский, Б.Е. Антышко, Т.А. Конюхова, 1990 г.), на исследуемой территории выделяются два региона - системы бассейнов безнапорных и напорных вод: Западно-Сибирская (II) и Центрально-Казахстанская (X). В их составе определены следующие гидрогеологические районы первого порядка: II-2 – Западно-Сибирский и X-1 – Чингиз-Кокшетауский.

Регион Западно-Сибирский (II) находится на окраине древней

Сибирской платформы и охватывает южную часть изучаемой территории, занимая практически всю область Северного Казахстана. Фундамент состоит из отдельных блоков древних платформ байкальского и добайкальского возраста. Платформенные образования мезозоя и кайнозоя присутствуют в виде всех типов формаций, начиная с нижней юрской породы. Его средняя толщина составляет 3,5-4,7 километра, варьируя от 300-500 метров на севере от Казахского мелкосопочника до 5,2 км в центральной части платформы. Бассейны пластовых вод находятся в крупных отрицательных структурах складчатого фундамента. На изучаемой территории в пределах Западно-Сибирской платформы выделяется один сложный бассейн - Западно-Сибирский (II-8), а также его подразделение - Нижневартовско-Петропавловский бассейн (II-8А).

Орографически, последний представляет собой слабоволнистую равнину, полого наклоненную с юга на север и северо-восток, расчлененную долинами рек Ишим и Иртыш. Бассейн состоит из рыхлых отложений юры, мела, палеогена и тонкого покрова четвертичных пород. В нем выделяются грунтовые и напорные воды. Грунтовые воды преимущественно находятся в верхней части разреза и распространены в четвертичных и плиоценовых отложениях различного происхождения. Также широко распространены комплексы олигоценых и меловых отложений, перекрытых глинами неогенового возраста. В бассейне есть песчаные аллювиальные отложения древних речных долин и песчано-глинистые отложения водоразделов. Пресные воды чаще всего встречаются вблизи зон питания на хорошо дренированных участках.

Подземные воды олигоценых отложений представляют практический интерес для мелкого водоснабжения. Глины чеганской свиты выступают в качестве водоупора. Эоценовые отложения содержат как соленые, так и пресные подземные воды, приуроченные к прослоям песков и песчаников среди глин. Подземные воды меловых отложений также широко распространены и состоят из нескольких водоносных горизонтов, имеющих гидравлическую связь между собой. Верхним водоупором служат глины славгородской, ганьковской, люлинворской и чеганской свит.

Регион Центрально-Казахстанский (X) расположен в Центрально-Казахстанской складчатой области, образованной каледонидами с прилегающими блоками герцинид. На этой территории выделяется один сложный бассейн первого порядка - Чингиз-Кокшетауский (X-I).

Этот бассейн отличается разнообразием подземных вод по минерализации и химическому составу солей. Выходы трещиноватых скальных пород на поверхность создают благоприятные условия для инфильтрации атмосферных осадков и фильтрации поверхностного стока по трещинам, а разнообразный рельеф способствует интенсивной циркуляции подземных вод и их разгрузке.

Более высокие участки скального фундамента покрыты тонким слоем выветрившейся породы и четвертичными отложениями, что способствует накоплению пресных подземных вод. На более низких участках с ровным или

полого всхолмленным рельефом частично перекрыты мезозойско-кайнозойскими отложениями различного состава, от щебня до глины. В зависимости от проницаемости этих отложений, здесь формируются как пресные, так и более минерализованные воды.

Тектонические нарушения играют разную роль в гидрогеологическом режиме в зависимости от их характеристик. Старые зоны нарушений часто заполнены глинами и вторично окварцованы, что делает их почти непроницаемыми. Тем не менее, именно они являются основными маршрутами циркуляции подземных вод, сопряженными с пресными потоками.

Формирование подземных вод существенно зависит от литологии водоносных пород, определяя характер трещиноватости, фильтрационные свойства и химический состав растворенных солей. Наиболее водоносные породы верхнепалеозойских структур включают известняки, песчаники и алевриты.

## **2.4 Категоризация сложности месторождения**

Месторождения полезных ресурсов представляют собой сложные объекты для классификации, учитывая множество различных характеристик. Эти характеристики включают их происхождение, состав окружающих пород, форму рудных залежей, связь с геологическим строением и размеры. Ни один из этих факторов, сам по себе, не позволяет провести точную классификацию. Поэтому приходится учитывать условности при определении типов месторождений.

Для изучения геологии и поиска месторождений полезных ископаемых, включая уран, разработаны различные классификации, учитывающие их генезис и промышленное значение.

Одним из типов месторождений, выделяемых в зависимости от структуры рудоносных формаций, являются пластовые и инфильтрационные месторождения, связанные с небольшими артезианскими бассейнами палеодолинового типа. Примерами таких месторождений могут служить Девладово, Братское (Украина), Самарское, Далматовское, Хиагдинское (Россия) и другие. Урановая формация в отложениях палеодолинов развивается в стабилизированных областях, связанных с грунтовым и пластовым окислением.

Месторождения урана, образовавшиеся в результате пластового окисления, имеют ленточную форму рудных залежей, параллельную залеганию окружающих пород. Они могут быть многослойными и содержать большое количество рудных тел. Часто встречаются несколько уровней рудоносных пород с различной морфологией и расположением в различных геологических формациях.

Принадлежность залежей полезных ископаемых к определенной категории зависит от сложности геологической структуры основных рудных



образований, содержащих не менее 70% общих запасов месторождения. При классификации также учитываются количественные показатели изменчивости основных характеристик рудных образований, характерные для инфильтрационных месторождений.

Классические водоносные (водородные) месторождения, к которым относятся практически все объекты Шу-Сарысуйской (ШС) и Сырдарьинской (СД) провинций, состоят из рудных образований, образованных в меловых и палеогеновых песчаных горизонтах, заключенных между водонепроницаемыми слоями глины. Из-за простой формы рудных образований водородные месторождения относятся к пластовому типу сложности (II группа по классификации ГКЗ СССР, 1986 г.). Данные о промышленной разработке этих месторождений легли в основу Инструкции АО «НАК «Казатомпром» для метода подземного выщелачивания (ПСВ).

Месторождение Мынкудук по всем характеристикам относится к гидротермальному типу III группы сложности. Оно явно связано с широким блоковым разломом глубокого заложения с вертикальным перемещением гранитного ложа более 100 метров. Этот разлом, протяженный до 20 км и шириной до 2-3 км, представляет собой палеодолину, наклоненную к южному борту и заполненную различными меловыми, палеогеновыми и неогенно-четвертичными отложениями. Характерной особенностью месторождения является неравномерность материала, что затрудняет увязку литологических разновидностей на разрезах (при интервале между скважинами 25 м). Частые резкие переходы от рудных песков к глинам связаны с тектонической активностью.

С точки зрения геотехнологических особенностей метода ПСВ, месторождение Мынкудук относится к самым сложным.

Таблица 4 - Сравнительная таблица месторождения Мынкудук с объектами южных провинций по характеристикам ПСВ

Показатели	Мынкудук	ШС и СД
Рудовмещающие отложения	Тонкое чередование песков, алевроитов и глин; пески линзовидные, неоднородные, плохо промытые	Пески прибрежно-морские, однородные, промытые; залегание в виде выдержанных горизонтов
Глинистость рудных песков, %	20-30	10-15
Фильтрационные свойства рудКф, м/сут	1 - 1,5	5 - 10
Наличие нижних водоупорных горизонтов глин	Практически отсутствуют	В основном имеются



Продолжение таблицы 4

Показатели	Мынкудук	ШС и СД
Извлекаемость урана из недр (%) растворами H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , г/л: -10-15 (для легко извлекаемого 1 урана) -20-25 (для трудно извлекаемого 5 урана)	-50  ~80	~80 – 90  -100

Рудные тела месторождения располагаются кулисообразно в верхних и нижних слоях сырьевых горизонтов, сосредотачиваясь преимущественно у краев депрессии. Пересечения руд скважинами характеризуются значительной изменчивостью толщины.

Продуктивные слои находятся на глубине от 60 до 95 метров и имеют переменную толщину от 0,5 до 7,3 метров. Внешне руды месторождения неотличимы от окружающих пород и могут быть выявлены только после анализа образцов. Уран в них преимущественно находится в минеральной сорбированной форме. Линия промышленного оруденения имеет извилистую форму на плане. Из-за неравномерности оруденения в вертикальном разрезе рудные залежи разделяются, образуя цепочки вытянутых форм с многочисленными ответвлениями.

На переходных участках часто встречаются ролловидные формы. Форма рудных залежей не всегда соответствует слоям окружающих пород и определяется сложными границами между литологическими типами, влияющими на размещение рудных скоплений. В плоскости расположения и распространения рудных залежей параметры оруденения характеризуются нерегулярной умеренной изменчивостью. Рудные залежи с большой толщиной до 10 метров и повышенным содержанием урана формируют отдельные изолированные области, не образуя четких крупных зон или потоков.

Содержание урана в рудных залежах варьируется от тысячных долей процента до нескольких процентов. Средние значения содержания урана в рудных залежах колеблются от 0,020% до 0,127%, а продуктивность - от 1,9 до 9,13 кг/м<sup>2</sup>. Среднее содержание урана в рудах месторождения составляет 0,056%.

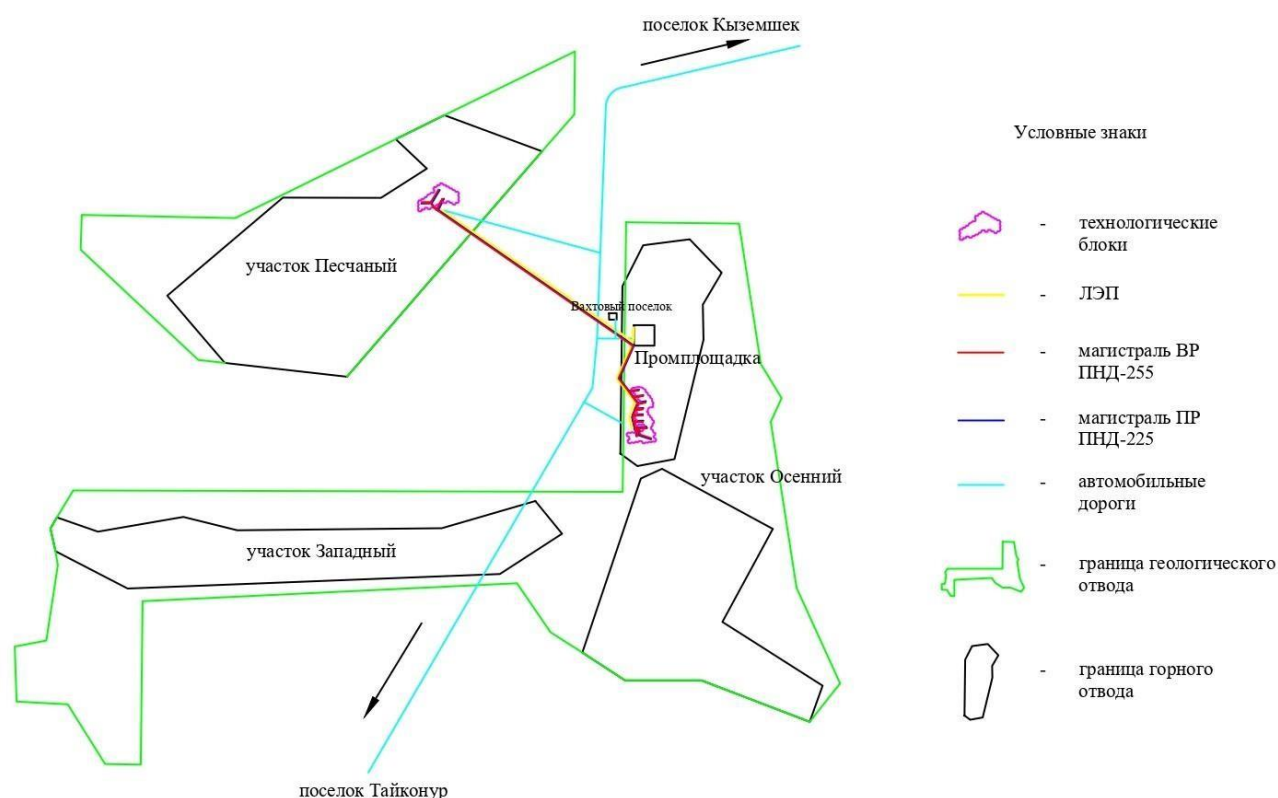
## 2.6 Генеральный план поверхности

Месторасположение Мынкудук находится неподалеку от трассы, соединяющей п. Кыземшек и п. Тайконур. Планируется строительство технологических дорог этапами: от трассы до промплощадки, от вахтового поселка до промплощадки, от трассы до рабочих площадок и внутриблочных дорог.

Промышленный комплекс, занимающий площадь 2 гектара, будет размещен на участке Осенний. Это обосновано его близостью к производственным блокам, что позволит начать производство урана в кратчайшие сроки, а также удобным расположением относительно всех рабочих участков, что облегчит транспортировку технологических растворов. Промышленная зона включает участок для переработки производственного раствора, емкости для отстойника объемом 1000 кубических метров, склад готовой продукции и материалов, здание службы безопасности и административное здание.

Согласно данным метеостанции, преобладает северо-западный ветер на территории. Поэтому вахтовый поселок на 150 человек будет расположен в 1 км к северо-западу от промышленного комплекса.

Рисунок 9 – План рудника на начальный период



## 2.6 Вещественный и химический состав руды

Месторождения обычно ничем не отличаются от окружающих пород и по содержанию урана подразделяются на обычные (0,28-0,12%) и бедные (0,12-0,05%). Монометаллические руды урана делятся только по их геологическому составу, поскольку по другим характеристикам они не отличаются. Существует четыре типа руды:

1) алюмосиликатный:

- в глине и алевролите.
- в глинистом песке и песчанике.
- цемент в виде гравия и конгломератов с песчано-глинистой смесью.

## 2) карбонатный:

- из песчаника и конгломератов с карбонатным цементом.

Эти типы руд не образуют отдельных рудных тел или важных залежей, а наслаиваются друг на друга. Карбонатные руды составляют около 20% от общего объема. По своим фильтрационным характеристикам руда делится на два типа:

- преимущественно песчаный, с высокой фильтрующей способностью ( $C_f \geq 0,5$  м/сут).

- в основном глина с низкой фильтрующей способностью ( $C_f < 0,5$  м/сут).

Химический состав урановой руды включает алюмосиликат, небольшое количество карбоната (менее 2%  $CO_2$ ), небольшое количество сульфида (менее 2% серы) и сожженные растительные остатки. Органическое вещество можно увидеть повсюду, а его содержание колеблется от одной десятой до 5% с точки зрения углерода. Помимо сожженных растительных остатков, гидроксид железа и сульфиды также действуют как адсорбенты. Минералогический состав различных минералов наблюдался в месторождении Мынкудук.

Рудный мусор в основном состоит из кварца, полевого шпата, водоносных горизонтов и фрагментов кремнистых и кислых вулканических пород. Основным компонентом минерала является кварц-кремнезем, который не растворяется в кислой среде. Полезные компоненты представлены минералами, растворимыми в растворе серной кислоты, и эти минералы локализуются в нерастворимых и нерастворимых минералах. Урановые минералы присутствуют в карбонатных глинах и цементах, органических веществах и связаны с железными минералами, такими как пирит, пирит и гидроксиды железа. Кроме того, в рудах есть урансодержащие минералы и урансодержащие минералы.

Руда и окружающие породы состоят из песчано-глинистых частиц с низким коэффициентом фильтрации. Большая доля (3+0) мм колеблется от 56,3% до 85,2%. По сравнению с глинистым компонентом компонент алевролита представляет большую часть минерала, содержащего меньше кремния и больше алюминия. Hydroslude является наиболее распространенным глинистым минералом, и каолинит присутствует в небольших количествах. Монтмориллонит также присутствует в минерале.

Карбонаты играют важную роль в составе цемента, а их содержание не превышает 6-10%. Среднее содержание  $CO_2$  в минерале составляет 1,51%, а карбонаты представлены в основном кальцитом и ромбитом. Рудой месторождения является неравновесие, которое проявляется как систематический переход от равновесия к Урану или Радию.

Минерализация урана распределена по всем литологическим различиям осадочных пород, сконцентрированных преимущественно в супесчаной части. Уран существует в различных формах, включая минералы и минералы. Распределение урановых руд тонко диспергировано, чаще всего в межзернистых глинисто-алевролитных агрегатах.

Распределение урановых руд в руд неоднородно: в месторождениях с

низкой минерализацией Уран существует лишь в небольших количествах и образует редкие выделения, в то время как в богатых районах он образует плотные включения и небольшие агрегаты, иногда полностью заменяя глинистый цемент, частично разбросанный по фрагментам. Урановые минералы, такие как настуран и коффинит, чаще всего встречаются вблизи пирита и пирита. По консистенции равномерная дисперсия, смешанные пятна и текстуры обычно можно наблюдать у обычных минералов, тогда как у богатых минералов-вкрапления, сгустки и цементация. Минералы с другими текстурами, такими как полосы и конгломераты, иногда встречаются.

В глинистых породах, таких как глина и алевролит, Уран в основном связан с глинами, которые обогащены органическими веществами и сульфидами железа. Диапазон содержания органических веществ составляет 0,2-3,5%, а содержание сульфидов-1-5%. Уран существует в основном в виде мелкодисперсных фракций, в основном в форме адсорбции. Урановые минералы, такие как настуран, коффинит и черни, обычно встречаются только в местах обогащения.

Минеральный песчаник - наиболее распространенный тип руды, обычно серый или зеленовато-серый, содержащий органические вещества и сульфиды железа. Уран существует в форме настурана, коффинита и черники и чаще всего встречается в местах обогащения, где также встречаются сульфиды.

Минерально-несущие глины и алевролиты обычно встречаются в виде тонких слоев песчаника, либо над ними, либо под ними. Содержащийся в нем Уран в основном связан с глиной, обогащенной органическим веществом и сульфидом железа. Содержание органических веществ колеблется от 0,2 до 3,5%, иногда достигая очень высоких значений до 19,8%. Уран обычно экспрессируется в мелкодисперсных частях в форме адсорбции.

Песчаники, содержащие минералы различных размеров частиц, являются наиболее распространенными типами минералов. В основном это серые и зелено-серые тона с высоким содержанием сорго (от 0,25% до 7,0%) и сульфидов железа (от 0,5% до 5,0%). Минерализация урана существует в виде настурана, коффинита и Черняков, которые образуют включения и сгустки в областях, богатых сульфидами. Большая часть урана присутствует в виде адсорбции в глиняном цементе и органических каменноугольных отложениях. Содержание урана разнообразно, достигая от 5% до 8% при близлежащем накоплении древесных фрагментов каменноугольной древесины и сульфидов.

Конгломераты, содержащие минералы, а также серые, зеленые и пятнистые конгломераты характеризуются плохим выбором материалов, а также содержат сульфид железа и фрагменты каменноугольной древесины. Распределение минерализации урана неравномерно. Уран присутствует в виде адсорбции в глинистых минералах и органических фрагментах, а также в накоплении настурана, коффинита и черных точек урана в сочетании с сульфидом железа.

Распространены минералы, содержащие карбонат цемента в песчанике и конгломератах, которые характеризуются содержанием кальцита в диапазоне от 5% до 45%. Обычно они имеют состав гидроксидов и

Оксид железа. Уран в этих минералах содержится в коффините, настуране и черном и сочетается с сульфидами железа. Есть также урансодержащие

титановые минералы, такие как лейкоксен, хотя и в небольших количествах.

Руда в глинистых породах характеризуется равномерным распределением урана и низким средним содержанием (в 1,5-2,0 раза ниже среднего уровня). Другие виды минералов схожи по концентрации урана, характеризуются неравномерным распределением минерализации. Место обогащения связано с концентрацией урановых руд вблизи отложений пирита и фрагментов каменноугольной древесины.

Описанные выше природные виды минералов не образуют крупных отдельных отложений, а встречаются в сложном слое, переплетенном между собой. Среднее содержание углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в образце общей толщиной 2739,35 метра составило 1,51%. Кроме того, для алюмосиликатных и карбонатных минералов среднее содержание CO<sub>2</sub> составляет 1,02% и 7,96% соответственно. Эти данные могут быть условно применены ко всему месторождению, поскольку карбонизация является более поздним процессом, а карбонатные минералы отличаются от алюмосиликатных минералов только содержанием CO<sub>2</sub>.

Исследования с использованием анализа нейтронной активации, рентгеновской спектроскопии и химических методов показали, что содержание селена (5-80 г/т), Германия (1-15 г/т) и скандия (2-7 г/т) в минерале месторождения увеличилось. Некоторые образцы показали значительно более высокие концентрации Германия (до 320 г/т) и скандия (до 76 г/т) в диапазоне минералов. Повышенное содержание Германия связано с образцами, богатыми углекислым газом. Связь между увеличением концентрации скандия и любым минеральным составом еще не установлена. Минеральные формы Германия, скандия и селена в минерале еще не определены, хотя предполагается, что селен существует как изоморфная примесь в сульфиде железа, а Германий связан с углекислым газом.

Глинистые минералы, такие как водоносные горизонты, являются обычным компонентом горных пород, окружающих минерал. Содержание Гидрослуда варьируется в зависимости от типа породы, от 3-5% до 15-25%. Водоносные горизонты обычно образуют крипстокристаллические структуры, которые развиваются в основном в обломочных породах и полевых шпатах.

Каолинит широко распространен, но его содержание обычно ниже, чем в грунтовых водах. Наибольшее количество наблюдается в мелкозернистых серых и белых серых породах, до 15-20%, но обычно не более 1-10% в проницаемой части этого участка.

Монтмориллонит, такой как водный камень и каолинит, является ключевым компонентом каменистого глинистого цемента, содержащего минералы. Его содержание колеблется от 0 до 10-15%, а среднее значение различных частей составляет 6-7%.

У зелено-серых, особенно у табачно-зеленых сортов минеральсодержащих пород значительно проявляется смешанная слоистая минерализация хлорит-монтмориллонитового состава, иногда до 5-8%.

Карбонат является важным компонентом цемента. Их содержание колеблется от одной десятой до 20-30%. У проницаемых сортов они не превышают 6-10%, а содержание углекислого газа составляет 4-5%. Основные типы карбонатов включают кальцит и ромбит с добавлением железосодержащих



доломита и пироксена. Карбонаты могут образовывать включения в глинистых цементах, отдельных заполнителях или пойкилитовых цементах, иногда полностью заменяя глинистые минералы. Содержание карбонатов в минеральсодержащих породах сильно варьируется (в пересчете на  $\text{CO}_2$ , от 0,1% до 10-15%). Когда содержание углекислого газа в разновидностях литологических минералов превышает 5-6%, они фактически становятся непроницаемыми и могут считаться "техническим дисбалансом".

Гидроксид железа присутствует в окисленных и частично восстановленных красных породах, чаще всего в верхней части этой части.

Минералы, из которых состоит цемент горных пород, можно классифицировать в зависимости от их активности при взаимодействии с серной кислотой следующим образом: кальцит, железистый доломит, гидроксид железа, смешанный хлорит-монтмориллонит, сидерит, хлорит, гидроксид железа, монтмориллонит, гидрозолит, каолинит и карбонизированное органическое вещество. Наиболее сильно взаимодействующими с серной кислотой являются кальцит (в меньшей степени железистый доломит) и смешанный хлорит-монтмориллонит, которые полностью растворяются при контакте с растворами для выщелачивания. Сидерит, хлорит и гидроксид железа растворяются медленнее. Основные затраты кислоты на фазу подкисления горизонта вытеснения руды связаны с растворением этих минеральных групп. Растворение глинистых минералов происходит медленнее и на протяжении всего процесса выщелачивания. Количество реактивного флюса для этой группы минералов зависит от его количества, активной поверхности и времени контакта с раствором. При длительном выщелачивании потребление кислоты для этой группы минералов может значительно возрасти, в то время как процент потребления кислоты для других минералов незначителен из-за ее небольшого количества.

## **2.7 Рентгенофазовое исследование осадкообразований**

Фазовый состав засор контролировали методом рентгенофазного анализа, который проводился на рентгеновском дифрактометре X'ERT MPD PRO (PANalytical). Условия активации: эмиссия  $\text{CuK}\alpha$ , никелевый фильтр,  $U = 30 \text{ кВ}$ ,  $I = 10 \text{ мА}$ , скорость вращения  $1000 \text{ Имп / с}$ , постоянная времени  $\tau = 5 \text{ с}$ ,  $2\theta = 10-90^\circ$ . Интенсивность дифракционных максимумов оценивали по 100-балльной шкале в процентах от самой высокой линии. Обработка массивов экспериментальных данных и межпланетных расстояний проводилась по формуле Вольфа-Брегга. Фазовый анализ минералогического состава засоряющих материалов определяли в соответствии с рентгенографическими данными Международного кристаллографического общества.

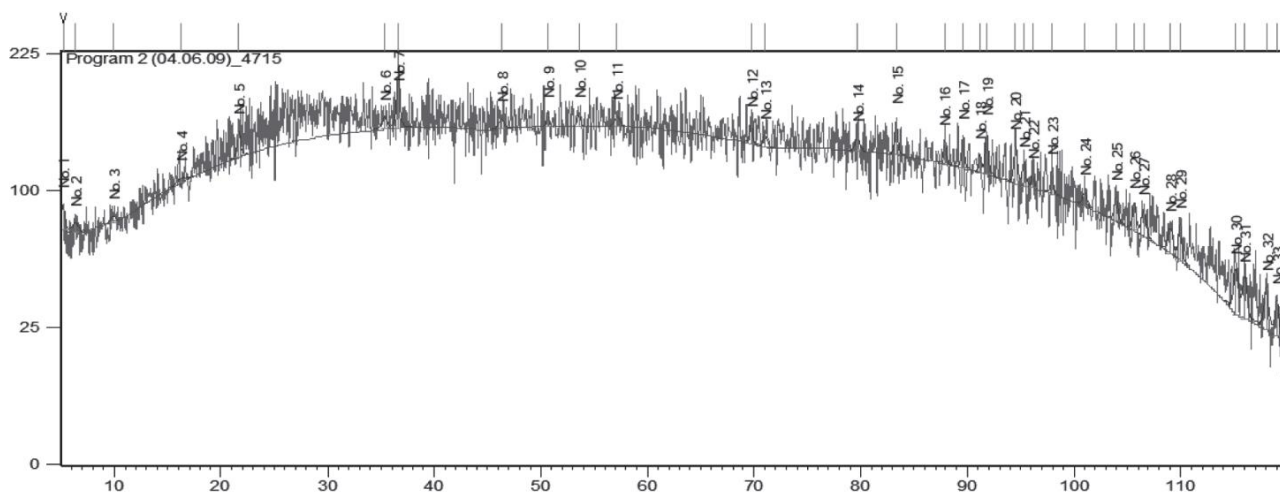


Рисунок 10 – Дифрактограмма кольматанта с месторождения «Мынкудук»

Образцы наполнителя подвергали визуальному осмотру. Они имеют бело-желто-оранжевый цвет, твердый осадок. Для проведения физико-химического анализа наполнители втирали в агатовый раствор до порошкообразного состояния и исследовали методом рентгенофазного анализа. Стабильные отражения рентгеновских лучей на рентгеновском снимке с блокадой образца № 1 показаны на рис.3а. 10 они показывают высокую кристаллизацию химических соединений, образующих отложения. Анализ значений межпланетных расстояний подтверждает существование сложных ферроалиюмосиликатов и гипса в соответствии с полевым шпатлевкой. Радиоаморфное состояние заметно из-за слабых отражений рентгеновских лучей.

Таблица 5 - Минералогический состав кольматанта месторождения «Мынкудук»

Наименование компонента	Химическая формула	Количество, %
Кварц	$\text{SiO}_2$	2
Фосфат алюминия	$\text{Al}(\text{PO}_4)$	11
Оксид железа	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	14
Сульфат магния	$\text{MgS}$	11
Кальций алюминий гидроксид	$\text{CaAl}_2((\text{OH})_8(\text{H}_2\text{O})_2)$	1
Анкерит	$\text{Ca}(\text{Mg Fe Mn})(\text{CO}_3)_2$	51
Доломит	$\text{Ca Mg Fe} (\text{CO}_3)$	6

Результаты количественного минералогического состава забитых объектов приведены в таблице. 5. Из этих данных видно, что основой наполнителя (около 51%) является химическое соединение  $(\text{Ca}(\text{Mg Fe Mn}) (\text{CO}_3)_2)$ , минерал анкерит. Другие стадии засорения минералами, образующими породы, являются доломит,



оксид железа и сульфат магния (6%, 14%, 11%, соответственно). Преобладание ангерита в отложениях вызвано более высоким содержанием карбоната железа в продуктивном горизонте. Характерными являются осаждающие данные химического происхождения, которые образуются из-за выпадения осадков при взаимодействии карбонатных минералов с растворами серной кислоты.

## 2.8 Выводы по главе

Анализ технологии выщелачивания в этой области показал, что при повышении концентрации серной кислоты до 25 – 26 г/л содержание урана в продуктивном растворе увеличивается до 220 мг/л. после снижения кислотности промывочного раствора до уровня 8 -10 г / л наблюдалось снижение содержания урана в продуктивном растворе. Как известно, серная, азотная и соляная кислоты, сода, пищевая сода (бикарбонатные соли) и карбонат (соли и сложные эфиры углекислого газа) аммония используются для выщелачивания урана. Поскольку выщелачивание включает переработку большого количества сырья, стоимость реагентов для выщелачивания во многом определяет стоимость конечного продукта.

На горнодобывающих предприятиях серная кислота ( $H_2SO_4$ ) широко используется при подкислении пласта, и многие эксперименты проводятся для уменьшения потока кислоты, поскольку стоимость реагентов составляет 27-45% эксплуатационных расходов на выщелачивание. Некоторые из них связаны с использованием различных окислителей, таких как: кислород, озон, перекись водорода, хлораты, гипохлориты и хлорамины. Поведение урана в ПСВ во многом зависит от минерального состава месторождения, а также от его типа и возраста. Например, лучше растворяются черные и окисленные минералы, хуже – настуран, уранинит и деготь. В этом случае минералы  $U^{4+}$  (уранинит, настуран, коффинит) эффективно растворяются только в присутствии окислителей, которые способствуют увеличению окислительно-восстановительного потенциала при образовании.

При промывке урана растворами серной кислоты важную роль играет значение окислительно-восстановительного потенциала (OVP) фильтрующих растворов, значение которого определяется соотношением концентраций Fe (III) и Fe (II). Как известно, ионы железа используются в растворе сульфата в процессе выщелачивания урановых руд. Увеличение содержания железа увеличивает окислительно-восстановительный потенциал, что, в свою очередь, усиливает процесс выщелачивания из подземных скважин и снижает удельный поток серной кислоты для выщелачивания и подкисления. Таким образом, выбор оптимального значения AFR и оптимального окислителя для его увеличения может сыграть важную роль.

### **3 Подземное скважинное выщелачивание**

#### **3.1 Основные принципы подземного скважинного выщелачивания**

Подземная выщелачивание урана, начавшееся в 1950-х годах в Соединенных Штатах, стало признанным методом добычи этого ценного ресурса, конкурирующим с традиционным подходом к химической добыче. В течение многих лет Казахстан был ведущей страной в разработке и промышленной эксплуатации урановых месторождений с использованием метода подземной выщелачивания. В Австралии начались работы по подземному выщелачиванию урана на месторождениях Хонимун и Биверли. Информация о запуске подобных проектов также появилась в Китае, а также в таких странах, как Япония, Турция, Египет, Польша и Югославия. Выщелачивание подземных металлов или подземная добыча скважин (ПСВ) - один из геотехнических методов добычи. Он основан на том факте, что минералы переходят в подвижное состояние в недрах посредством термических, массовых, химических или гидромеханических процессов, а затем извлекаются из недр, обычно через скважины. Для извлечения металлов из проницаемых минералов используется метод выщелачивания из подземных скважин (ПСВ), при котором месторождения разрабатываются с использованием сети технологических скважин. Каждая скважина оснащена специальной колонной труб из материала, устойчивого к используемым растворителям и условиям горно-геологической среды, а также фильтром в Рудном интервале.

Некоторые скважины, называемые насосными скважинами, используются для закачки растворителя, в то время как другие, насосные скважины, используются для перекачки воды на поверхность и последующих продуктивных растворов с полезными компонентами, образующимися в процессе фильтрации растворителя через рудообменный слой. из колодцев пласта. от насосных скважин до насосных скважин. Продуктивные растворы (извлечение полезных компонентов, обогащение растворителями и другие этапы) обрабатываются на поверхности, после чего они отправляются обратно через загрузочные отверстия для повторного использования в новом цикле выщелачивания. Этот метод представляет собой схему процесса с замкнутым потоком раствора, которая в идеале не приводит к образованию жидких производственных отходов в процессе разработки месторождений.

После завершения добычи грунтовые воды в замещающем слое руды остаются замещенными " остаточными " технологическими растворами с небольшими концентрациями полезных компонентов и других металлов, которые растворились из-за изменений условий окружающей среды. Однако устранение воздействия не исключает возможности восстановления окружающей среды почти до ее первоначального состояния, что особенно важно при оценке воздействия метода PSV на экосистему. Результаты проведенных исследований, экспериментальных работ и промышленных работ в области выщелачивания из подземных скважин (ПСВ) выявили ключевые особенности

этого метода, его преимущества по сравнению с традиционным методом добычи и его недостатки. К основным преимуществам метода ПСВ относятся:

- социальная привлекательность, поскольку метод обеспечивает безопасные и комфортные условия труда, сводя к минимуму присутствие рабочих на плотине и позволяя им стать контролерами и регуляторами. сокращение инвестиций и сроков строительства в 2-3 раза в связи с отсутствием необходимости возведения сложных объектов и инфраструктуры для добычи, транспортировки и переработки руды, а также создания складов.

- многократное повышение производительности за счет оптимизации процесса и устранения ряда операций.

- снижение себестоимости продукции в 2,0-2,5 раза даже при добыче бедных полезных ископаемых.

- высокая скорость (80-90%) извлечения урана из недр. возможность добычи в сложных геологических и гидрогеологических условиях.

- устранение опасных и дорогостоящих подземных работ, замена бурением скважин с поверхности.

- возможность полной автоматизации процесса добычи и обработки.

- минимальное воздействие на окружающую среду и недра месторождений.

Помимо перечисленных преимуществ, процесс проведения работ с подземной промывкой скважины (ПСВ) оказался более сложным, чем на первый взгляд. Этот метод требует особого внимания и творческого подхода на всех этапах геологической цепочки, от начальной стадии разведки месторождения до производства химических концентратов урана. При выборе растворителя для ПСВ необходимо учитывать форму минерализации урана и химический состав месторождения и окружающих пород. С точки зрения гидрометаллургической переработки урановая руда подразделяется на пять основных минералогических классов, основанных на химических свойствах урановых минералов и их способностях к выщелачиванию:

- 1) руды, содержащие четырехвалентный уран, являются эндогенными минералами (уранинит, настран, уранотолит).

- 2) руды, содержащие экзогенные минералы шестивалентного урана (урановая сажа, каффинит, гидронавтуран, карнотит, тиямунит, отенит, торбернит, уранофан).

- 3) руды, содержащие урановые минералы (давидит, brunellit), которые трудно растворяются.

- 4) руды, содержащие связь между ураном и углеродом.

- 5) фосфатные и другие руды. Наиболее пригодны для переработки подземным способом выщелачивающие скважины относятся к первым 2 классам руд. Руды, содержащие урановые минералы, которые трудно растворяются, не очень подходят для этого метода, поскольку при выщелачивании необходимо поддерживать высокую концентрацию кислоты и температуру. Руды с первичной и вторичной минерализацией (первого и второго классов) могут быть подвержены кислотному и карбонатному выщелачиванию. Определение расхода реагентов при выщелачивании Руды можно разделить на некарбонатные и карбонатнокарбонатные с учетом характера окружающих пород.

### **3.2 Зарубежные наземные комплексы для сорбционной переработки продуктивных растворов подземного выщелачивания**

Многие зарубежные компании используют сорбционные процессы для извлечения урана из продуктивных фотоэлектрических установок. Производительность наземного адсорбционного комплекса на уран колеблется в пределах 113-125 тонн урана в год. Ежечасный расход производственных растворов, называемых наземными комплексами, составляет не менее 45 м<sup>3</sup>/ч. Первый наземный комплекс был запущен в 1963 году компанией Ums End Mauning (США). Они выпускались с 1965 по 1969 год.

Наземный перерабатывающий комплекс PV productive solutions был запущен компанией Association Karbay, Dalko, Edge stil. Компания Atlantic Litchfield запустила подземный комплекс в 1970 году. Год и с 1975 года. До 1976 года. С годами свои наземные комплексы PV также начали использовать компании "Мобил Ойл" и "Вайоминг Минерал". Для добычи урана на всех наземных комплексах используются анионы дивинилбензола из стирола на основе кремнезема марок "Дауекс-1" и "Амберлит ИРА-400" (аналоги советских марок "ам" и "АВ-17"). Переработка продуктивных растворов PV осуществляется, например, в колоннах периодического действия на наземных комплексах Dalko и Stil, а также в колоннах непрерывной адсорбции, например, в рядах на комплексах Uma и Maine, в подземных комплексах, продуктивные растворы обрабатывают после подземного выщелачивания урана сернокислой рудой, а после выщелачивания урана раствором углекислого аммония. Последние принадлежат комплексу предприятий Union Karbayd, Mobil Oyle и Wyoming Mauneral.

Для десорбции урана из насыщенных анионитов используется раствор поваренной соли или нитрата аммония. Концентрация урана в регенерированном материале достигает 10 г/л, и диуранат аммония обычно осаждается из регенерированного материала и транспортируется на урановые заводы, такие как Iusky-Max. Если предприятие-потребитель находится далеко, сгущенная масса диураната аммония фильтруется, сушится, упаковывается и отправляется на другое предприятие, например, arid chemical, для производства гексафторида аммония. В этом случае сушилка является основным источником выбросов в атмосферу.

Это шнекоконтейнерный двигатель с подогревом от рециркулирующего масла, которое нагревается сжиженным газом. 1. Одним из преимуществ такой сушилки является минимальное количество пыли, попадающей в воздух. На некоторых наземных комплексах диуранат аммония предварительно промывался. Например, в комплексе компании "far-end style" сырьевой регенератор сначала проходит через угольный фильтр для удаления различных примесей, в том числе молибдена. Молибден регулярно извлекается из угля и используется в качестве побочного продукта.

### 3.3 Методы вскрытия технологических участков

Рудник Мынкудук относится к типу палеодриногидридных месторождений урана в соответствии с классификацией. Геологическое строение этого участка, наряду с несколькими жилыми участками, относится ко 2-й группе сложности из 4-х, в отличие от участков гидрида урана на юге Казахстана, которые были отнесены к 3-й группе. Отложения Палеодринского месторождения представлены лентовидными и линзоватыми отложениями, которые разделены на геологические блоки. Эти блоки состоят из валовых тел переменной мощности, неравномерно распределенных в плане и расположенных на разных высотных уровнях. Общая прочность промышленной руды стабильно высока, но ее огранка низкая. Эти особенности месторождения Мынкудук требуют особого методологического подхода к вскрытию технических блоков для применения подземного скважинного метода. Работа геологической службы рудника заключается в максимальном раскрытии всех сбалансированных рудных тел, расположенных на участке, для обеспечения эффективной добычи урана подземным скважинным методом в наиболее благоприятных условиях.

Порядок выполнения работ:

1) на этапе проектирования выполняется предварительная выемка и оконтуривание рудного тела с учетом баланса огранки, обеспечивающего единый высокий уровень. Создана карта прочности основания, изогиний и изопродуктов рудных тел. На основе этих данных разрабатываются схемы вскрытия геологических (технических) блоков.

2) основной принцип очередности технического бурения на месторождении заключается в том, что плотность геолого-исследовательской сети постепенно увеличивается. Начните с шага 100x50 м (100 между профилями и 50 между скважинами в профилях) и начните с проектной технологической сети (20x20x25; 25x25; 30x30x25 и т.д.). На последнем этапе бурится насосная скважина. Согласно схеме, техническое бурение выполняется следующим образом:

А) сначала мы бурим нагнетательные скважины (на расстоянии 50 м) между геологоразведочными профилями, чтобы дополнить геологоразведочную сеть сетью размером 50 (или 60)×50 м.б). В колонне первого крюка и колонне 2-го крюка в сочетании с геологоразведочным профилем бурят скважину крюка, и создается общая сеть с геологоразведочными работами. 50 (60)\*25 (20).;

Б) на основании полученной геологической информации инициируется бурение добывающей скважины, и при необходимости, в дополнение к поисковой скважине последовательности зацепления в сочетании с профилем геологических исследований, инициируется переходная техническая скважина. В случае особой геологической сложности ответственные лица Геологического института Вахта могут разрешить бурение насосных скважин. Бурение всегда производится от центра технологического блока к периферии.

3) при строительстве технологического блока одновременно с обучением Создаются подробные модели рудных тел. На плане блока в масштабе 1:500 отображаются такие параметры, как количество скважин, глубина подошвы фильтра, глубина скважины и длина фильтра. Также отображаются данные о



рудном теле, такие как глубина залегания рудной подстилки, давление в рудном слое, содержание урана, прочность поперечного сечения руды, метропроцент.

Рудные интервалы объединяются в рудные разрезы, которые описывают каждый рудный слой. Перед установкой фильтра в техническую скважину следует сравнить геофизические данные этой скважины с данными калотажа (вес, калибровка, естественное сопротивление, теплопроводность, ионный калотаж) соседних скважин, что позволяет точно определить интервал, на который устанавливается фильтр. Такой подход позволяет эффективно строить скважины в рабочей зоне с учетом не только этой зоны, но и соседних данных. Отказ от ежедневного создания и восстановления поперечных и продольных разрезов позволяет сократить рабочее время геологов при сохранении качества работ. В сложных случаях рабочие геологические разрезы могут быть построены в разных направлениях. Перед оценкой запасов было завершено построение геологических разрезов, предпочтительно в единой скоординированной системе с планом для уточнения целостности вскрытия рудного тела до скважины и определения необходимости дополнительного бурения.

4) если рудное тело имеет многослойную структуру, первоочередной задачей является строительство скважин на основном рудном слое, который преобладает в техническом блоке. Параллельно с этим, при поступлении новых данных, выполняется коррекция контуров других рудных уровней. После получения достаточного представления о свойствах рудных тел соседних пластов проектирование и вскрытие этих уровней осуществляется техническими скважинами, которые соединяются с существующими скважинами функционального назначения (независимо от того, откачиваются ли они). Длина фильтра для каждого технологического процесса должна составлять 4-8 метров; если толщина слоя руды превышает 8 метров, то бурятся 2 скважины на разных уровнях.

5) на заключительном этапе создается план технологической установки в масштабе 1:1000, который суммирует данные о скважине (номер, подошвенная глубина фильтра, длина фильтра) и рудном слое (подошвенная глубина руды, усилие сжатия руды в поперечном сечении, общее усилие в поперечном сечении, метропроцент). В плане указаны пределы технического блока, по данным скважины составляется таблица средней производительности, содержания полезных компонентов и метропроцент, которая используется для предоперационных прогнозных расчетов запасов. План также служит основой для создания непроницаемости, гидроизоляции в коренных породах и повышения производительности на каждом рудном уровне.

### **3.5 Выводы по главе**

При разработке сложных гидрогенных месторождений могут использоваться разные схемы расположения скважин. Для повышения эффективности вскрытия и отработки линзообразных, а также многоярусных руд в условиях Мынкудукского месторождения требуется решение следующих задач:



- исследовать влияние различных схем и параметров расположения технологических скважин и определить оптимальную схему вскрытия блоков для повышения эффективности ПСВ урана;
- обосновать применение различных реагентов для интенсификации процесса выщелачивания урана и восстановления производительности скважин;
- провести технико-экономическую оценку предлагаемых технологических решений.

## **4 Методы, условия проведения опытных работ по интенсификации добычи урана**

### **4.1 Окислительно-восстановительные процессы в технологии выщелачивания урана**

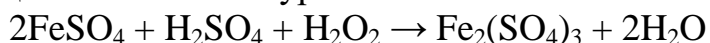
При извлечении урана из руд, содержащих четырехвалентный уран, который плохо растворим в разбавленных растворах серной кислоты, для ускорения процесса фильтрации необходимо добавление окислителя. Возможными окислителями являются, в частности, кислород, перманганат, перекись водорода, соединения, содержащие азот и хлор.

В промышленности широко используются  $MnO_2$  (пирролюзит) и азотная кислота (а также мельчайшие соли трехвалентного железа, хлорат натрия и т.д.). Существуют также методы бактериального выщелачивания урановых руд с использованием автотрофных бактерий. Окислительный потенциал раствора используется для оценки окислительной активности. Применение некоторых окислителей ограничено из-за их высокой стоимости, образования хлоридов, которые вызывают коррозию оборудования и снижают поглощение урана при его извлечении, а также из-за опасности его взрыва.

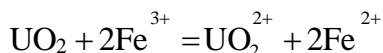
### **4.2 Оптимальные режимы и параметры добычи урана с использованием пероксида водорода**

Подземное выщелачивание заключается в избирательном переходе полезного компонента в жидкую фазу путем контролируемого перемещения растворителя через руду в естественных условиях. В ходе этого процесса оксид железа (III) является одним из эффективных окислителей урана.

Начиная с 2023 года, рудник "Мынукдук" начал использовать перекись водорода для окисления двухвалентного железа до трехвалентного состояния. Перекись водорода непосредственно не влияет на окисление урана. Его задача - окислить растворенное железо, которое в основном находится в форме сульфата железа и составляет более 95% от двухвалентной формы. Это железо образуется в результате плавления и частичного окисления серной кислотой сульфидов железа, содержащихся в горных породах, окружающих месторождения "Мынукдук". Перекись водорода окисляет ионы двухвалентного железа, находящиеся в растворе в трехвалентном состоянии. Это химическое превращение может быть представлено следующим химическим уравнением:



Ионы трехвалентного железа известны своей эффективностью в качестве окислителей оксидов урана. Они повышают окислительно-восстановительный потенциал и окисляют четырехвалентный уран до его шестивалентного состояния.



Применение окислителей при переработке урановой руды позволяет значительно сократить время эксплуатации месторождения и снизить себестоимость урана. На руднике "Мынкудук" используется пероксид водорода в качестве окислителя. Экспериментальное применение пероксида водорода для окисления двухвалентного железа в трехвалентное началось на участке В с 2023 года.

Исходные данные по участку включают:

- средняя глубина скважин составляет около 130 метров.
- глубина залегания подземных вод составляет 12-18 метров от поверхности земли.
- понижение статического уровня при откачке из одного рудоносного слоя составляет от -17 до -25 метров, а из трех рудоносных слоев - от -38 до -42 метров.
- средний удельный вес рудоносных пород составляет 1,85 тонн/кубический метр.
- категория пород по устойчивости составляет 5,7.
- коэффициент неоднородности пород варьируется от 1,2 до 1,3.
- средняя категория пород по буримости составляет 5-6.
- проектный дебит откачных скважин составляет 2,9-3,3 кубических метра в час.
- проектная пропускная способность закачных скважин составляет 0,9-1,6 кубических метра в час.

Средняя мощность рудного тела колеблется от 7 до 9 метров.

Геологические и технические особенности участка В включают следующее:

1) урановые залежи сформировались в палеодолиновых отложениях с циклической структурой, где породы меняются от крупнозернистых конгломератов до мелкозернистых глин.

2) уран поступает из гидротермальных растворов через высоконапорные струи, поднимающиеся из разломной зоны. Это приводит к формированию различных зон, включая зоны гематитизации, лимонитизации и рудообразования.

3) приблизительно половина урана сосредоточена в мелких и средних песках в нижней и верхней частях рудного горизонта, что создает сложности при добыче.

4) рудные слои часто лежат на фильтрующих песчаных слоях или могут быть перекрыты ими, что усложняет процесс добычи.

5) вскрытие рудных тел осуществляется по гексагональной схеме, учитывая их морфологию и гидрогеологические условия.

6) средняя глубина скважин составляет 130 метров.

7) длина фильтров ограничена шестью метрами.

8) в связи с низким содержанием трехвалентного железа в рудном слое необходимо использовать дополнительные окислители для повышения

окислительно-восстановительного потенциала раствора.

Изначально, экспериментально пероксид водорода подавался различными способами, включая точечную подачу непосредственно в сменную емкость.

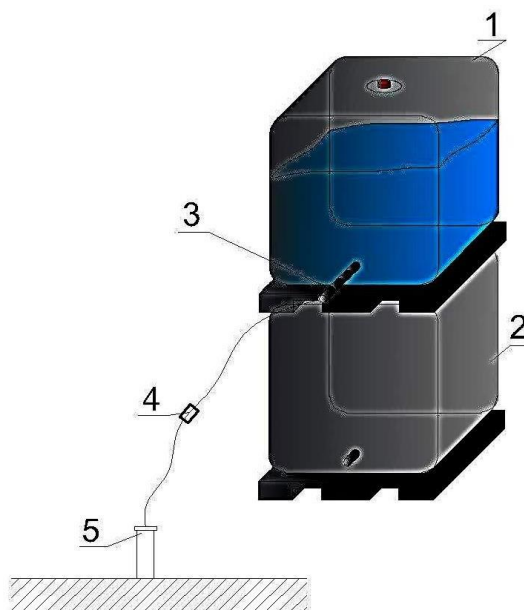


Рисунок 11 - Схема подачи пероксида водорода точечным методом

Эта технологическая схема отличается простотой и низкой стоимостью оборудования, но в то же время она имеет некоторые недостатки при введении реагента в пласт:

- шланг с регулировочным механизмом часто выходит из строя, особенно в холодное время года.
- сложно контролировать расход пероксида водорода, особенно ночью, из за отсутствия расходомеров и аварийных сигнализаций.
- требуются значительные трудозатраты, как человеческие (для контроля и снятия показаний на большой территории), так и транспортные (при замене множества емкостей на полигоне).
- постепенное снижение производительности закачных скважин, иногда до 0,1-0,2 м<sup>3</sup>/час.

Таблица 6 - Снижение приемистости закачных скважин при подаче пероксида водорода точечным методом

№ скв./ Дата приемистость (м <sup>3</sup> /час)	13.06. 2023	17.06. 2023	21.06. 2023	25.06. 2023	29.06. 2023	03.07. 2023	07.07. 2023	11.07. 2023
скв. 1	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	0,9	0,7
скв. 2	3,2	3,1	2,8	2,6	2,2	1,9	1,5	1,1
скв. 3	1,8	1,4	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3

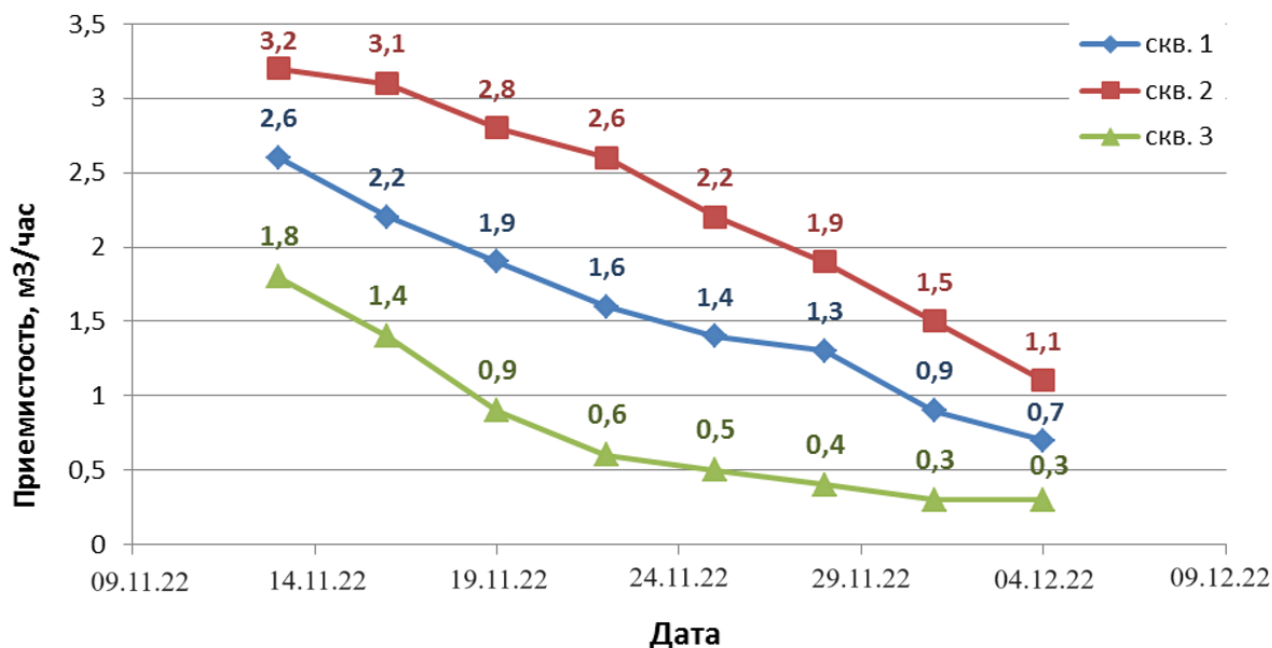


Рисунок 12 - Снижение приемистости закачных скважин при подаче пероксида водорода точечным методом

На основе изучения данных о разработке блоков на участке В было решено провести экспериментальные работы по улучшению процесса с использованием пероксида водорода. Для этого была выбрана ячейка скважины 4.

Предварительные данные о данной скважине до проведения эксперимента приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Параметры откачной скважины 4 до начала опытных работ

Продуктивность, кг/м <sup>2</sup>	Тип скважины	pH	C(U), мг/л	Дебит, м <sup>3</sup> /ч	ОВП, мV	Fe <sup>2+</sup> , г/л	Fe <sup>3+</sup> , г/л	Отработано запасов ячейке, %
3,53	откачная	2,17	26	9,8	312	3,39	-	61,8

Для создания продленной отработочной ячейки в участке, соседней с опытной скважиной 4, была использована система, состоящая из этой скважины (4) в качестве откачной и ближайших к ней скважин (1, 2, 3) в соседних участках в качестве закачных. Эти скважины были выбраны таким образом, чтобы растворы, используемые для выщелачивания, проходили через "мертвую зону".

Перед началом эксперимента на всех скважинах этой системы была выполнена эрлифтная прокачка.

Пероксид водорода подавался на выбранные закачные скважины (1, 2, 3), работающие в качестве закачных, с использованием описанного ранее метода точечной подачи, то есть непосредственно в технологические скважины через "капельницы". Кислотность подаваемого выщелачивающего раствора

составляла 3-4 г/л (определяемая по маточникам сорбции).

Исходные данные по «закачным» скважинам представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Исходные данные по «закачным» скважинам опытной ячейки

№ Сква.	Продук- тивность, кг/м <sup>2</sup>	Режим работы	Приемис- тость, м <sup>3</sup> /ч	Отработано запасов ячейке, %
сква. 1	4,5	закачной	2,8	14,8
сква. 2	4,9	закачной	3,5	6,67
сква. 3	1,6	закачной	1,9	2,1

Учитывая вышеизложенное, была разработана схема подачи пероксида водорода при помощи дозирующего насоса через технический узел закисления (ТУЗ) по линии выщелачивающих растворов (ВР) на каждый блок отдельно.

Принципиальная аппаратная схема представлена на рисунке 13.

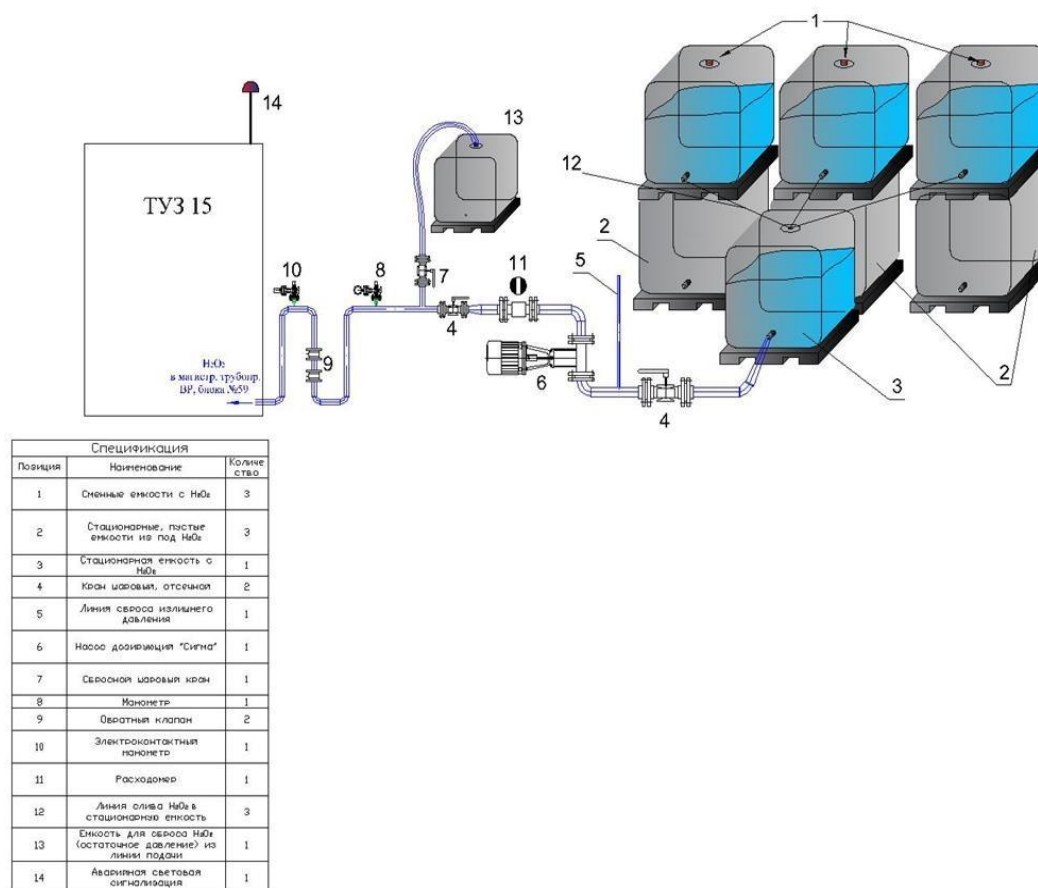


Рисунок 13 - Принципиальная аппаратная схема подачи пероксида водорода



Для исследования с применением пероксида водорода были выбраны два технологических блока: №1 и №2. Эксперимент будет проводиться в два этапа. На первом этапе используются два блока, которые сопоставимы по геологическим и геотехнологическим параметрам (таблица 9).

Таблица 9 - Геотехнологические и геологические параметры экспериментальных блоков № 1, 2

Параметры	Ед. изм	№ техн. блока	
		1	2
Площадь блока	м <sup>2</sup>	23764	27854
Средняя мощность прессования	м	4,5	4,5
Содержание урана, С	%	0,067	0,08
Метропроцент	мс	0,276	0,1457
Удельная объемная масса	т/м <sup>3</sup>	1,72	1,72
Запасы руды, Р	тонна	97,24	85,48
Продуктивность	кг/м <sup>2</sup>	4,59	3,32
Эффективная	м	11,64	12,23
ГРМ	тыс. т	426,5	544,1

Пероксид водорода подавался на блок №2 через линию ВР через ТУЗ.

Серная кислота подавалась на блоки №1 и №2 во время эксперимента с средней концентрацией 10 г/л.

В процессе ПСВ железо (III) служит естественным окислителем, а продуктом его взаимодействия с минералами урана (IV) является железо (II). Значение Eh напрямую связано с соотношением концентраций  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  в ВР. Снижение Eh и расход железа (III) ведут к снижению эффективности процесса.

Окислы-гидроокислы урана (VI) легко взаимодействуют с растворами серной кислоты, но для растворения окислов и силикатов урана (IV) требуется их предварительное окисление.

Растворение основных компонентов руды, соединений урана (IV), требует обменной реакции в системе "уран-железо", что происходит при постоянной регенерации железа (II) в железо (III) или добавлении дополнительного железа (III) в систему, например, в виде сульфата.

На месторождении Мынкудук весь уран находится в четырехвалентной форме, а железо (III) практически отсутствует в исходных растворах, поэтому применяются активаторы процесса, такие как пероксид водорода.

В рамках эксперимента с применением пероксида водорода выделяются определенные объекты контроля, параметры, а также средства и методы контроля (см. таблица 8).

Таблица 10 - Технологический контроль процесса подземного выщелачивания

Позиция	Контролируемые параметры	Периодичность пробоотбора и/или измерения	Средства и методы контроля
Расходная емкость H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Расход раствора	Ежесуточно	Средства КИПиА, съем показаний с расходомеров и абсолютных отметок на
Выщелачивающий раствор (ВР)	Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , ОВП	2 раза в сутки	Химанализ, передача информации в электронную базу данных рудника
Продуктивный раствор (ПР) по УПРР	Концентрация U, ОВП, Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , pH	Ежесуточно	Химанализ, передача информации в электронную базу данных рудника
Продуктивный раствор (ПР) по откачным скважинам	Концентрация U, ОВП, Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , pH	Отбор проб 1 раз в 7-10 суток	Химанализ, передача информации в электронную базу данных рудника

Основные операционные характеристики проведенного эксперимента представлены на рисунке 8 для добычи блока №2 с использованием пероксида водорода и на рисунке 9 для добычи блока №2 без его применения. В таблице №7 приведены расходы химических реагентов и добыча за время эксперимента.

Таблица 11 - Расход химических реагентов и добыча во время эксперимента

Параметры	Ед. изм	№ технол. блока	№ технол. Блока
		1	2
Подано ВР	тыс.м <sup>3</sup>	117,75	220,274
Расход серной кислоты	тонн	300,472	1408,289
Расход пероксида водорода	литр	не подавали	66614
Расход пероксида водорода	кг	не подавали	83264
Удельный расход серной кислоты	кг/кг U	70,6	154,8
Удельный расход пероксида водорода	кг/кг U		9,7
Добыто урана	кг	4273	9110
Поднято ПР	тыс.м <sup>3</sup>	165	263
Средняя концентрация U в ПР	мг/л	28	37

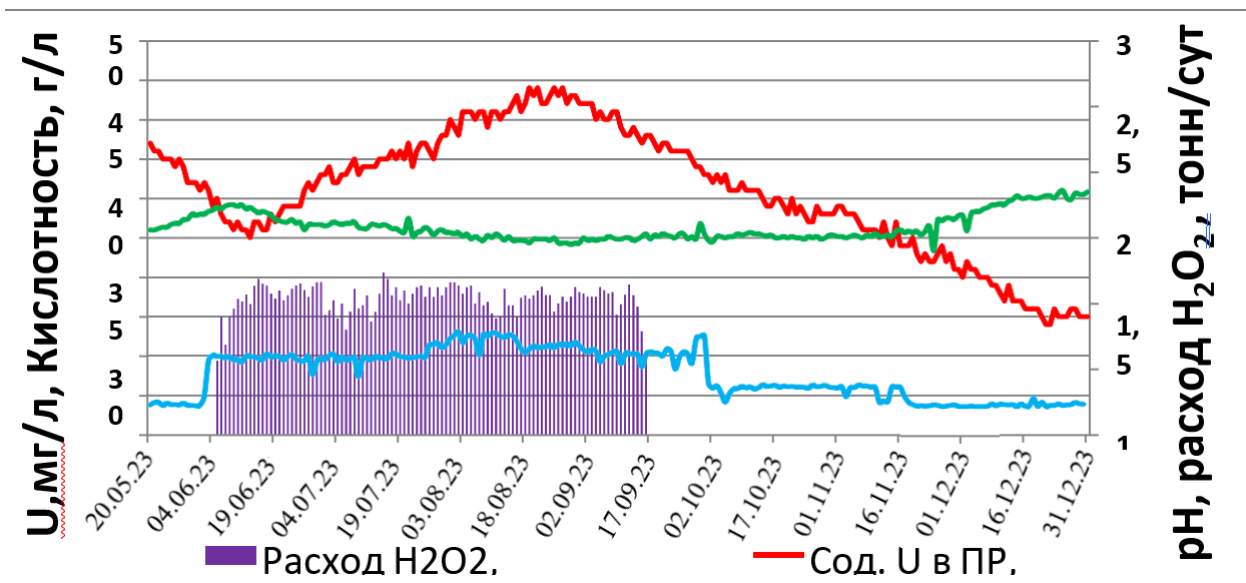


Рисунок 14 - График зависимости содержания урана от кислотности и подачи пероксида водорода на блоке № 1

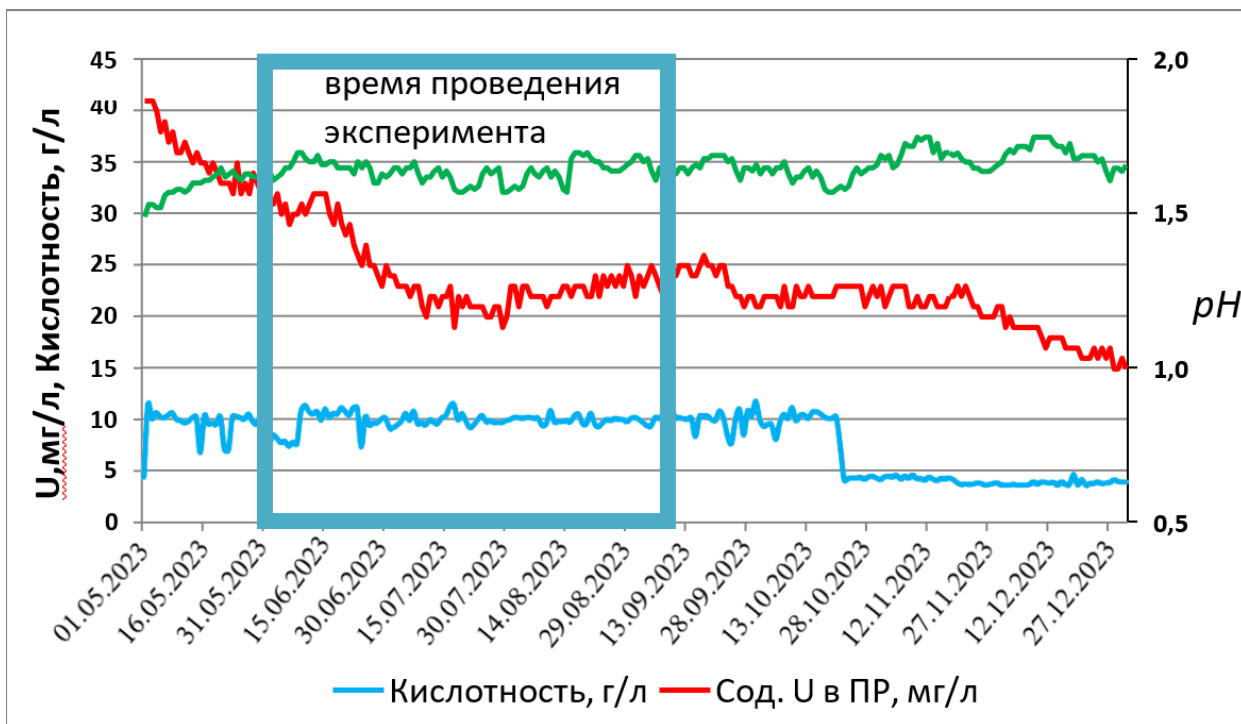


Рисунок 15 - График зависимости содержания от кислотности на блоке № 2

Таблица 12 - Степень отработки блоков с начала эксперимента

Степень отработки		на нач. exper.	на конец exper.	Разница
Техн. Блок № 2	%	51	60	9
Техн. Блок № 1	%	61	64	3

Из представленных графиков видно, что пероксид водорода играет

значительную роль в процессе выщелачивания урана.

В начале эксперимента содержание урана в ПР на блоке №2 составляло 32 мг/л, а к его завершению оно выросло до 44 мг/л. На блоке №1 концентрация урана сначала колебалась от 31 до 33 мг/л, но к концу эксперимента снизилась до уровня 24-25 мг/л. На обоих блоках поддерживалась кислотность на уровне 11 г/л. Объем добычи составил 9112 кг для блока №2 и 4268 кг для блока №1. Степень извлечения урана из недр за время эксперимента составила 9% для блока №2 и 3% для блока №1.

Эти данные подтверждают важность регенерации трехвалентного железа для эффективного выщелачивания урана. Также отмечается, что поддержание соотношения концентраций  $Fe^{3+}/Fe^{2+} \geq 1,0$  в растворе необходимо для обеспечения высокой скорости окисления соединений урана (IV). Отсутствие регенерации железа (II) в железо (III) в оборотных водо-растворных системах приводит к затруднениям в достижении высокой скорости выщелачивания урана.

Для решения проблем при обработке силикатных форм урана на руднике "Мынкудук" вводится пероксид водорода в раствор маточников сорбции непосредственно перед ТУЗом.

Преобладание окисных форм урана (IV) и частично урана (VI) на этом месторождении подчеркивает важность окислительной обстановки и достаточной кислотности растворов для их эффективного растворения. Для растворения коффинита - силикатного урана (IV) - требуется более концентрированный раствор из-за медленной кинетики реакции по сравнению с оксидами, а также для осаждения кремнезема, который может ингибировать реакцию после растворения поверхностного слоя коффинита. Пероксид водорода, используемый как окислитель, показал положительное воздействие на процесс выщелачивания урана. Для обеспечения высокой скорости окисления соединений урана (IV) необходимо поддерживать в растворе соотношение концентраций  $Fe^{3+}/Fe^{2+} \geq 1,0$ . Следовательно, в отсутствие регенерации железа (II) в железо (III) в оборотных ВР невозможно обеспечить высокую скорость выщелачивания настурана.

Эксперимент показал положительное влияние окислителя (пероксида водорода) на процесс ПСВ.

С начала 2023 года применение пероксида водорода в качестве окислителя на стадии активного выщелачивания (период стабильной подачи серной кислоты) на блоке 3 с целью повышения концентрации урана и интенсификации отработки блока.

### **Блок 3**

Запасы блока – **60,056 т.** (47,11 % отработки). ГРМ – 466,72 т.т.

Продуктивность – **3,25 кг/м<sup>2</sup>.**

Дата начала закисления-24.08.23 г.

На месторождении "Мынкудук" при кислотности 10 г/л технологические блоки не функционируют. Акцессорные минералы, подвергнутые активному выщелачиванию, уже полностью обработаны, поэтому подаваемая кислота "частично" растворяет уран, и из ПР выделяется свободная кислота с концентрацией более 3,5 г/л.

Для успешного процесса требуется применение пероксида водорода в

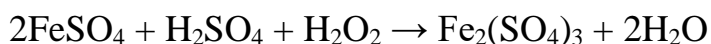
качестве окислителя на месторождении «Мынкудук».

### 4.3 Методика проведения эксперимента

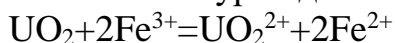
Сущность подземного выщелачивания заключается в избирательном переводе полезного компонента в жидкую фазу путем управляемого движения растворителя по руде в естественных условиях залегания. В период выщелачивания, одним из эффективных окислителем урана является железо (3+).

С 2022 года на руднике «Мынкудук» применяется пероксид водорода в качестве окислителя 2-х валентного железа в 3-х валентное. Пероксид водорода как окислитель напрямую не оказывает влияния на окисление урана. Задача пероксида водорода окислить содержащееся в выщелачивающих растворах растворенное железо, которое находится в виде сульфатов железа, находящегося более чем 95 % в двухвалентной форме, и образуется в большинстве своем в результате растворения и частичного окисления серной кислотой сульфидов железа содержащихся в рудовмещающих породах месторождения «Мынкудук».

Пероксид водорода подвергает окислению содержащиеся в выщелачивающем растворе ионы двухвалентного железа до трехвалентного железа, это химическое превращение можно выразить следующим химическим уравнением:



Известно, что ионы трехвалентного железа являются эффективными окислителями окислов урана, которые повышают ОВП и окисляют четырехвалентный уран до шестивалентного.



Проведение ПСВ урана с применением окислителей позволяет существенно сократить срок отработки месторождения, вследствие чего, достигается существенное снижение себестоимости урана. В качестве окислителя на руднике «Мынкудук» применяется пероксид водорода.

Таблица 13 - Снижение приемистости закачных скважин при подаче пероксида водорода точечным методом

№ скв./ Дата приемистость (м3 /час)	13.06. 2022	17.06. 2022	21.06. 2022	25.06. 2022	29.06. 2022	03.07. 2022	07.07. 2022	11.07. 2022
скв. 1	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	0,9	0,7
скв. 2	3,2	3,1	2,8	2,6	2,2	1,9	1,5	1,1
скв. 3	1,8	1,4	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3

Изучив материалы по отработке блоков на участке А, для проведения экспериментальных работ по доработке блока с применением пероксида водорода была выбрана ячейка скважины 4.

Подача пероксида водорода на блок № 2 проводилась по линии ВР через ТУЗ. Подача серной кислоты на блок №№ 1,2 на время эксперимента осуществлялась с

средней кислотностью 10 г/л.

Всем известно, что при ПСВ урана в качестве природного окислителя выступает железо (III), а продуктом его взаимодействия с минералами урана (IV) является железо (II). При этом значение Eh напрямую связано со значением соотношения концентраций  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  в ВР. По мере расходования железа (III) и падения Eh эффективность процесса резко снижается.

Окислы-гидроокислы урана (VI) легко взаимодействуют с растворами серной кислоты, окислы и силикаты урана (IV) для растворения требуют предварительного окисления до высшей валентности.

Растворение основного компонента руд – соединений урана (IV), требует протекания обменной реакции в системе «уран-железо». Реакция идет только при постоянной регенерации железа (II) в железо (III), либо введения дополнительных количеств железа (III) в систему (например, в виде сульфата).

Как отмечается на месторождение Мынкудык, где, из-за вторичного восстановления рудоносной формации, весь уран находится в четырехвалентной форме, а железа (III) в исходных растворах практически нет. Поэтому приходится применять активаторы процесса - пероксид водорода как окислитель.

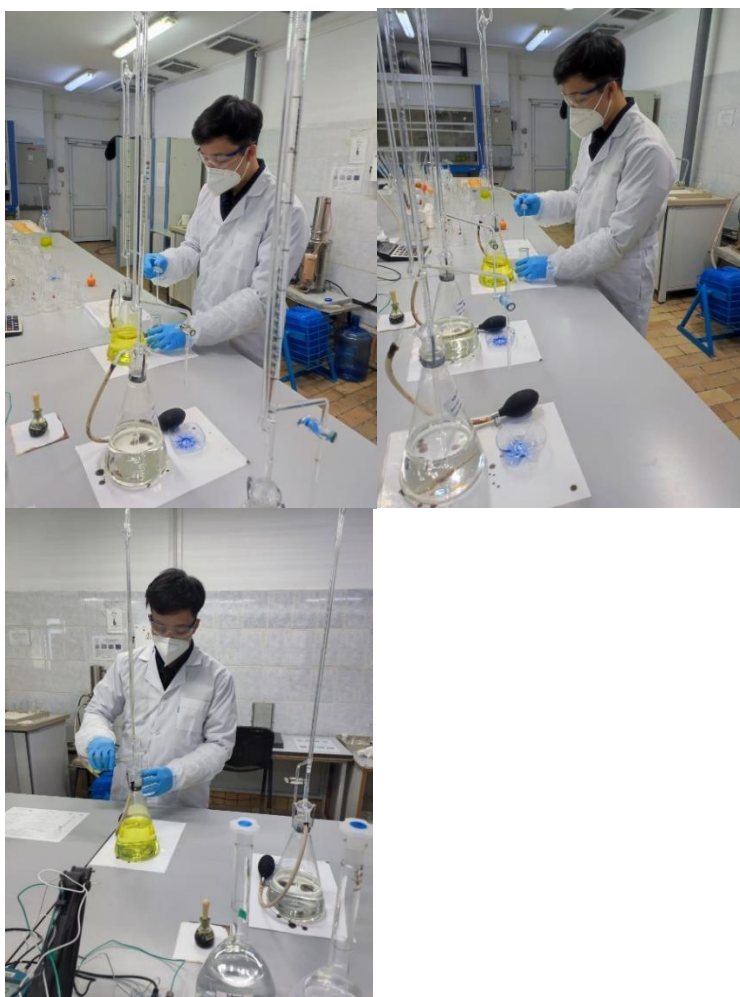


Рисунок 16 – Физико-химическая лаборатория ЦППР

В зависимости от условий выщелачивания и концентрации твердой фазы,



добавление пероксид водорода приводит увеличению общей концентрации кислорода в системе, а также способствует более глубокому выщелачиванию путем непосредственного окисления.

## 5 Охрана труда и техники безопасности

Охрана труда представляет собой систему законодательных актов и связанных с ними социально-экономических, технических, санитарно-гигиенических и организационных мероприятий, направленных на обеспечение безопасности, сохранение здоровья и работоспособности работников в процессе производства.

Условия труда должны быть безопасными, исключая возможность несчастных случаев и минимизирующими риск профессиональных заболеваний. Однако полностью исключить травматизм и профзаболевания на производстве пока не удастся. Несчастные случаи часто происходят из-за недостаточной квалификации работников и применения опасных методов работы.

Эти особенности требуют разработки специальных мероприятий по технике безопасности, которые должны быть тесно связаны с противопожарными требованиями, а также тщательного изучения этих мероприятий всеми сотрудниками промыслово-геофизической службы.

Рациональный режим труда предусматривает такое соотношение труда и отдыха, при котором достигается высокая производительность труда, поддерживается высокая работоспособность работников и создаются условия для полноценного отдыха.

Согласно коллективному трудовому договору, заключенному между компанией и её работниками (инженерно-технологический персонал, операторы), будет применяться вахтовый метод организации труда. Этот метод позволяет сократить непроизводительные затраты времени за счет уменьшения времени, затрачиваемого на дорогу. Смена бригад будет происходить каждые 15 дней. Основным режимом труда предполагается работа по 8 часов с 16-часовым отдыхом. При этом общая продолжительность рабочего времени за учетный период не должна превышать норму, установленную законом РК «О труде» (40 часов в неделю). Сверхурочные работы не должны превышать 2 часов в день для каждого работника. Работы на скважине будут проводиться в 3 смены.

Организация правильного питания является одним из ключевых факторов для сохранения здоровья и трудоспособности работников. Работники на скважине будут обеспечены горячим трехразовым питанием. Для их удобства будет оборудован домик для отдыха с душем, кондиционером, телефонной связью и другими удобствами.

Медицинское обслуживание работников в полевых условиях будут осуществлять санитарные инструкторы из числа постоянного инженерно-технического персонала, которые пройдут специальное обучение на курсах, организованных в сотрудничестве с местными медицинскими учреждениями.

Санитарные инструкторы будут обязаны проводить инструктаж по правилам и методам оказания первой помощи при различных травмах и заболеваниях, а также контролировать соблюдение санитарно-гигиенических норм всеми работниками.

Учитывая специфику работы геологических подразделений в полевых условиях, которая часто не позволяет быстро доставить пострадавшего или

заболевшего сотрудника в медицинское учреждение, сами работники должны обладать знаниями и навыками оказания первой доврачебной помощи. Каждый отряд будет оснащен аптечками с необходимыми средствами для первой помощи.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) являются личным снаряжением работников и используются для предотвращения или уменьшения воздействия опасных и вредных производственных факторов на организм. СИЗ должны обеспечивать оптимальные условия для работы и не быть источниками опасных и вредных факторов.

При работе на скважине каждый сотрудник будет оснащен следующими СИЗ:

- специальными очками, защищающими глаза от пыли, твердых частиц, брызг жидкости, яркого света и других факторов.

- касками, защищающими голову от ушибов, падающих предметов, кусков с обувью, защищающей ноги от скольжения, механических и температурных воздействий, электрического тока, вибраций и других факторов.

- специальными перчатками для защиты рук.

- респираторами для защиты органов дыхания при неожиданных выбросах углеводородных газов.

Учитывая высокую комплексную опасность производства и в целях предотвращения несчастных случаев, предлагается ряд типовых мероприятий по технике безопасности. Основные решения включают:

- герметичную систему сбора и подготовки нефти, газа и воды с технологическим режимом.

- обеспечение герметичности и прочности технологических установок, арматуры и коммуникаций, учитывая направление ветра и карты рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

- оснащение аппаратуры, работающей под давлением, предохранительными клапанами, манометрами, указателями уровня и регуляторами давления в соответствии с правилами устройства и безопасности обслуживания сосудов, работающих под давлением.

- установку факельных и дренажных систем.

- выполнение подвижных частей оборудования в закрытом исполнении и оснащение ограждающими устройствами.

- предусмотрение системы пропарки для подготовки аппаратов к ремонту.

- обеспечение соответствующих грузоподъемных механизмов для ремонта и обслуживания оборудования в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов».

- наличие резервных единиц оборудования для непрерывных операций.

- полная компьютеризация и управление технологическим процессом добычи, подготовки нефти, газа и воды, а также вспомогательных процессов (производство электроэнергии, сжижение газа, выработка тепла) с пультов операторов.

На всех объектах системы ППД, независимо от их состояния или назначения, запрещается производить какие-либо работы при:

- обнаружении запаха газа на рабочем месте.

- шуме и вибрации.
- отсутствии освещения.
- замазученности территории или рабочего места.
- опасности поражения электрическим током.
- взрывоопасности.
- отсутствию или неисправности необходимых защитных средств.
- неблагоприятных метеорологических условиях.

Все движущиеся и вращающиеся части механизмов, двигателей, трансмиссий и насосов имеют надежные, прочные и съемные металлические ограждения. Выступающие элементы вращающихся частей (шпонки валов, болты муфтовых соединений и т.п.) защищены кожухами по всей окружности вращения. Ремонт и осмотр огражденных частей механизмов, а также снятие ограждений допускаются только после полной остановки механизма. Пусковые автоматы агрегатов располагаются на безопасном расстоянии от напорных патрубков. Фланцевые соединения всех трубопроводов, находящихся под давлением, защищены металлическими кожухами. Для предотвращения самозапуска агрегатов при отключении электроэнергии применяются масляные выключатели. Чтобы предотвратить перепуск воды из нагнетательных скважин через манифольды кустовых насосных станций, на выходе насосов устанавливаются обратные клапаны. Электрораспределительные щиты имеют металлические сетчатые ограждения.

Согласно правилам пожарной безопасности, в каждом цехе, лаборатории, подразделении, мастерской и складе должна быть разработана конкретная инструкция по мерам пожарной безопасности. Эта инструкция согласовывается с местным органом пожарного надзора или ведомственной пожарной охраной, утверждается руководителем предприятия, изучается в системе производственного обучения и вывешивается на видном месте. В каждом производственном помещении должны быть пожарный щит, ящик с сухим песком и пожарный водяной вентиль.

Для повышения пожарной безопасности проводятся следующие мероприятия:

- 1) каждый месяц с персоналом каротажного подразделения проводится специальный инструктаж.
- 2) проводятся проверки для выявления и устранения нарушений пожарной безопасности.

## **5.1 Экономическая эффективность предлагаемой технологии**

Экономический эффект рассчитан с учетом снижения расхода серной кислоты за счет сокращения срока отработки запасов блока при условии применения технологии интенсификации ПСВ урана с добавлением пероксида водорода через ТУЗ. Для расчета принят блок с запасом урана 278,7 тонны, среднее содержание урана в продуктивном растворе 112 мг/л.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{ск} - \mathcal{Z}_{пт}, \text{ тг/год}$$

где  $\mathcal{E}_{ск}$  – экономия средств за счет снижения расхода серной кислоты, тг;  
 $\mathcal{Z}_{пт}$  – дополнительные затраты при применении предлагаемой технологии, тг.

Экономия средств за счет снижения расхода серной кислоты:

$$\mathcal{E}_{ск} = (T_б - T_п) Q_{вр} \cdot q \cdot C_{ск} / 1000000 = (17299 - 15915) 130000 \cdot 6,0 \cdot 24600 / 1000000 = 26556192 \text{ тг.}$$

где  $T_б, T_п$  – соответственно время отработки запасов блока при базовой и предлагаемой технологиях, час;

$Q_{вр}$  – расход выщелачивающего раствора на блок, л/час;

$q$  – расход серной кислоты на доукрепление 1 л раствора, г/л;

$C_{ск}$  – цена 1 тонны серной кислоты, тг/т.

Дополнительные затраты при применении предлагаемой технологии:

$$\mathcal{Z}_{п} = C_{пв} + 2C_{кр} + C_{м} + C_{р} = 600000 + 2 \cdot 250000 + 15000 + 15000 = 1\,130\,000 \text{ тг}$$

где  $C_{пв}$  – цена пероксида водорода, тг;

$C_{кр}$  – цена запорного крана, тг;

$C_{м}$  – цена манометра для параллельной линий, тг;

$C_{р}$  – цена расходомера, тг.

Тогда,

$$\mathcal{E} = 26556192 - 1130000 = 25426192 \text{ тенге на 1 блок}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В зависимости от условий выщелачивания и концентрации твердой фазы, добавление перексид водорода приводит к увеличению общей концентрации кислорода в системе, что способствует более глубокому выщелачиванию благодаря прямому окислению.

Месторождение Мынкудук отличается от месторождений Шу-Сарысу и Сырдарьинской провинций тем, что оно характеризуется глубоким вторичным восстановлением, практически полностью устранившим железо ( $Fe^{3+}$ ) из пластовых вод и горно-разведочных материалов (ГРМ).

Урановая минерализация на месторождении Мынкудук обнаружена во всех литологических разностях осадочных пород. Минералы урана представлены коффинитом, настураном, урановыми чернями и редко встречающимися вторичными минералами.

Поведение урана при подземном скважинном выщелачивании (ПСВ) в значительной степени зависит от минерального состава месторождения, его типа и возраста. Лучше всего растворяются урановые черни и окисленные минералы, в то время как настуран, уранинит и смолка растворяются хуже. Минералы, содержащие уран в степени окисления  $U^{4+}$  (уранинит, настуран, коффинит), эффективно растворяются только в присутствии окислителей.

Соединения  $Fe^{3+}$  являются наиболее эффективными окислителями при  $pH=1,0-2,2$ , но из-за склонности к гидролитическому осаждению их использование при  $pH>2,2-2,5$  недопустимо. В частности, при использовании этого окислителя перерыв в подаче кислоты приводит к кольматации пласта. На южных месторождениях при активном выщелачивании средний  $pH$  составляет 1,8 и выше, в то время как на месторождении Мынкудук  $pH$  варьируется в пределах 1,3-1,5.

Кроме отсутствия трехвалентного железа, также велика вероятность влияния температуры растворов на эффективность применения перексид водорода ( $H_2O_2$ ). Скорость разложения  $H_2O_2$  увеличивается вдвое при повышении температуры на  $10\text{ }^{\circ}C$ . На южных месторождениях температура технологических растворов достигает  $30\text{ }^{\circ}C$ , а на месторождении Мынкудук составляет в среднем  $9-13\text{ }^{\circ}C$ . Таким образом, скорость разложения перексид водорода будет как минимум в шесть раз быстрее на южных месторождениях по сравнению с месторождением Мынкудук. Это позволяет предотвратить преждевременное разложение перексид водорода на кислород и воду до того, как она вступит в реакцию с  $Fe^{2+}$  для его превращения в  $Fe^{3+}$ .



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аубакиров Х. Б. О причинах возникновения проблем при отработке уранового месторождения Мынкудук, Геология и охрана недр. - 2(63). - 2022 г.
- 2 Инструкция по подземному скважинному выщелачиванию урана (методические рекомендации).- Алматы, 2006. - 310 с.
- 3 Мамилов В.А. Петров Р.П. Добыча урана методом подземного выщелачивания. -М.- Атомиздат.- 1980.- с. 248
- 4 Носков М.Д. Добыча урана методом подземного выщелачивания.- Северск 2010. - 83с.
- 5 Природные ресурсы России — уран. Информационный интернет -сборник новостей за 2014 год. [http:// vims-geo.ru/wp-content/uploads/2015/01/URAN-ROSSIYA-2014](http://vims-geo.ru/wp-content/uploads/2015/01/URAN-ROSSIYA-2014).
- 6 Постановление Правительства Республики Казахстан от 29 июня 2011 года № 728 «Программа развития атомной отрасли в Республике Казахстан на 2011-2014 годы с перспективой развития до 2020 года».
- 7 Амирова У.К., Урузбаева Н.А. Обзор развития мирового рынка урана. Universum: Экономика и юриспруденция : электрон. научн. журн. 2017. - № 6(39).
- 8 Пастухов А.М. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: Применение искусственных окислителей для интенсификации процесса подземного выщелачивания урана.- Екатеринбург.- 2013.
- 9 Рождественская Ю.В., Балыбина П.А. Отчет о результатах поисково-разведочных гидрогеологических работ с оценкой эксплуатационных запасов подземных вод участка "Мынкудук" Уалихановского района Юго-Казахстанской области для хозяйственно-питьевого водоснабжения рудника Мынкудук за 2007-2008 г.г. – Астана. - книга 1. - 2008. –с.128
- 10 Аубакиров Х.Б. Условия образования Южно-Казахстанской урановорудной провинции. Геология и Металлогения срединного массива – крупной золотоурановой, редкометальной и алмазонасной провинции Центральной Азии.- Алматы.- 2016.
- 11 Пигульский Б.И., Панкратов Е.Л., Полуаршинов Г.П., и др. Отчет по теме: Изучение мезозойских отложений Шат-Бестюбинского района с целью оценки их перспектив на выявление промышленных месторождений. 185-Ср.-Фонды ЦГХК. -инв. - 1782с.-1977.
- 12 Закон Республики Казахстан от 28 февраля 2004 года № 528-ІІО безопасности и охране труда (с по состоянию на 29.12.2006 г.)

**Приложение А**  
**Оттиски публикации по теме магистерской диссертации**

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ**  
**Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**  
**Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева**

**MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**  
**Kazakh national research technical university named after K.I. Satpaev**

Қазақ КСР еңбек сіңірген ғылым қайраткері, Қазақ КСР Ғылым Академиясының  
корреспондент-мүшесі, техника ғылымдарының докторы, профессор **Ибрагим Әбілғазыұлы**  
**ОНАЕВТЫҢ** туғанына 110 жыл толуына арналған  
**«ҰЛЫТАУ-ҚАЗАҚСТАН МЕТАЛЛУРГИЯСЫНЫҢ БЕСІГІ»**  
халықаралық ғылыми – практикалық конференциясының  
**ЕҢБЕКТЕРІ**

**ТРУДЫ**

**Международной научно-практической конференции**  
**«ҰЛЫТАУ-ҚАЗАҚСТАН МЕТАЛЛУРГИЯСЫНЫҢ БЕСІГІ»**  
посвященной к 110-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки Казахской ССР,  
члена-корреспондента Академии Наук Казахской ССР, доктора технических наук,  
профессора  
**Ибрагима Абылғазиевича ОНАЕВА**

**PROCEEDING**

**International scientific and practical conference**  
**"ULYTAU - CRADLE OF METALLURGY IN KAZAKHSTAN"**  
dedicated to the 110th anniversary of the birth of the Honored Scientist of the Kazakh SSR,  
corresponding member of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Doctor of Technical  
Sciences, Professor

**Ibrahim Abylgazievich ONAEV**

18-19 мамыр 2023 жыл, Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, ТМҒ, Мәжіліс залы

18-19 мая 2023 год, КазННТУ им. К.И. Сатпаева, ГМК, Актальный зал

May 18-19, 2023. KazNRTU named after K.I. Satpaev, Mining and metallurgical building,  
Assembly Hall

Алматы, 2023

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА И ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ ОКИСЛИТЕЛЕЙ

Е.Б. Елтай, Л.Т. Бошкаева, Ж. Әділжан, П.Х. Абкеева, М.С. Рахымжан

[eltayerkebulan@gmail.com](mailto:eltayerkebulan@gmail.com)

**Аннотация.** Данная статья включает обзор и анализ литературных данных в поиске эффективных видов новых окислителей для подземного выщелачивания урановых руд глубоких залежей. Наличие трудновскрываемых минералов в руде и снижение проницаемости приведет к снижению степени извлечения урана в продуктивный раствор. Стадийность окисления урана из настурана и различные ОВП в разных стадиях может увеличивать продолжительность выщелачивания при использовании окислителя с недостаточным ОВП, при этом на выщелачивание урана из коффинита больше влияет уровень рН, чем наличие окислителя. Таким образом, в зависимости от минералогического состава руды поиск и применение новых, наиболее эффективных окислителей может позволить интенсифицировать процесс подземного выщелачивания урана и повышать степень его извлечения. В статье также приведены некоторые характеристики новых видов окислителей.

**Ключевые слова:** уран, подземное выщелачивание, окислитель, настуран, коффинит, пероксид водорода, интенсификация, вскрываемость, стоимость, степень извлечение.

В Казахстане практически во всех разработанных месторождениях уран извлекается способом подземного выщелачивания. Несмотря на значительные запасы урана рентабельность использования месторождений зависит от степени вскрытия урановых руд, которая не всегда достигается высокого уровня традиционными способами. Поэтому в настоящее время возникает вопрос о разработке новых подходов для интенсификации процесса выщелачивания урана, особенно в тех месторождениях, где имеются трудновскрываемая часть урановой руды. В связи с этим нами был проведен обзор и анализ способов интенсификации выщелачивания урана по использованию эффективных окислителей [1, 3].

Сернокислотное выщелачивание, широко применяемое в мировой практике урановой промышленности, должно обеспечить высокое извлечение урана – не менее 90-95 % из руд, содержащих урана в среднем 0,1%. Также поддерживается, если при выщелачивании обеспечивается селективное растворение урана при минимальном расходе серной кислоты. Для легко вскрываемых минералов породы остаточную кислотность поддерживают около  $\text{pH} = 1,5\div 1,8$ ; при этой же кислотности извлекают уран из сернокислотных маточных растворов с помощью ионитов. В случае трудно вскрываемых минералов урана конечная кислотность должна быть выше:  $\text{pH} = 0,5\div 0,7$ . При благоприятном минеральном составе руды разбавленными кислотами удаётся перевести в раствор до 90-95% и более урана. Также известно, что разбавленные кислоты хорошо разлагают все вторичные минералы урана, в том числе ванадаты, арсенаты, фосфаты, силикаты и сульфаты урана, а первичные (оксидные) минералы, как уранинит, настуран и черни, имеющие в своем составе в основном четырехвалентный уран, хорошо вскрываются только в присутствии окислителей. Таким образом, в зависимости от химического и минерального состава руды необходимо правильно выбирать вид окислителя [1-3].

В качестве определяющей характеристики при выборе реагента-окислителя служит величина его окислительно-восстановительного потенциала. В идеальных условиях окисление четырёхвалентного урана в кислом растворе возможно любыми окислителями, потенциал которых по отношению к нормальному водородному электроду превышает +0,33 В, а в щелочной среде даже очень слабые окислители должны оказаться действенными. Окислять четырёхвалентный уран способно трёхвалентное железо; весьма заманчиво также окисление урана кислородом (но, иногда для этого требуется повышенное давление и температура). В качестве эффективных окислителей наряду с ними используются также дешёвый природный



пирролизит ( $MnO_2$ ), технические хлораты калия или натрия, перманганат, перекись водорода, азотсодержащие окислители, известны также способы бактериального выщелачивания автотрофными бактериями. Тем не менее, выбор эффективного вида окислителя зависит от ряда технологических и экономических условий, которые определяются минеральным составом руды [1, 4].

В исследуемой нами руде (месторождении Мынкудык, Казахстан) ураноносная часть руды относится к коффинит-настурановым (с содержанием коффинита 15% и настурана – 85%). По мнению авторов работы [3], окисление настурана в кислой среде протекает постадийно:  $UO_2 \rightarrow U_4O_9 \rightarrow U_3O_8 \rightarrow UO_2^{2+}$  (при  $E^0 = -0,221V$ ,  $E^0 = -0,332V$ ,  $E^0 = -0,649V$ , соответственно). Несмотря на то, что настуран может растворяться в присутствии окислителя в слабокислой среде ( $pH=5$ ), если окислитель не способен создать достаточный ОВП, то реакция окисления настурана не может протекать быстро (в одну стадию). То есть степень извлечения урана из настурана может достигать 100 %, но скорость процесса будет низким. В случае с коффинитом присутствие окислителя не требуется, но из-за возможности образования ортокремневой кислоты ( $H_4SiO_4$ ) и пересыщение раствора ею, требуется более высокая кислотность ( $pH=1,5-3$ ) и более низкий ОВП, по сравнению с настураном. В этой связи для обеспечения максимальной степени извлечения урана необходимо учитывать эти факторы. В данной работе рассмотрим несколько видов новых окислителей и оценим их по стоимости и эффективности [4, 5].

Аммиачная пероксидация является одним из новых и перспективных методов окисления при выщелачивании урана. Она основана на использовании аммиака и пероксида водорода в качестве окислителей. Преимуществом этого метода является его высокая эффективность при низких температурах и возможность работы в широком диапазоне pH. Кроме того, аммиачная пероксидация обладает низкой токсичностью и меньшими нагрузками окружающей среде по сравнению с традиционными окислителями, такими как кислород или хлор. Это делает ее более экологически безопасным вариантом для выщелачивания урана. Однако, стоимость аммиачной пероксидации может быть немного выше по сравнению с традиционными окислителями. Во-первых, пероксид водорода, который используется в процессе, имеет относительно высокую стоимость и требует специальных условий хранения и транспортировки из-за его взрывоопасности. Во-вторых, применение аммиака требует специального оборудования и безопасных мер предосторожности, чтобы избежать возможных аварийных ситуаций. Таким образом, необходимость в дополнительных мероприятиях безопасности и специальном оборудовании может повысить общую стоимость процесса аммиачной пероксидации [5].

Другим новым видом окислителя для выщелачивания урана является пероксид хлора ( $ClO_2$ ). Он обладает высокой окислительной активностью и широким диапазоном pH, что позволяет использовать его в различных условиях выщелачивания. Преимуществом пероксида хлора является его более низкая стоимость по сравнению с аммиачной пероксидацией, так как пероксид хлора доступен в больших объемах и имеет более низкую цену на рынке. Следует отметить, что пероксид хлора является токсичным и опасным веществом, требующим строгого контроля при обращении с ним. Кроме того, пероксид хлора может вызывать коррозию некоторых материалов, поэтому требуется особое внимание к выбору совместимых материалов для оборудования. Также пероксид хлора может создавать опасные продукты разложения, особенно при повышенных температурах или в условиях неправильного хранения. Поэтому необходимо строго соблюдать инструкции и рекомендации по безопасному обращению с этим окислителем [4, 6].

Окислитель серы ( $S_2O_8^{2-}$ ) является интересным новым видом окислителя для выщелачивания урана. Он обладает высокой окислительной активностью и может использоваться при различных значениях pH. Преимуществом окислителя серы является его относительно низкая стоимость и доступность. Окислитель серы обладает также хорошей устойчивостью к воздействию света и тепла, что позволяет использовать его в широком диапазоне температур и условий выщелачивания. Но, он может вызывать некоторые

технические проблемы при выщелачивании урана, например, может образовывать отложения и осадки, которые могут затруднить процесс и требовать дополнительных шагов очистки и обслуживания оборудования. Следует учитывать, что окислитель серы может быть менее эффективным при низких значениях pH, поэтому в некоторых случаях может потребоваться использование дополнительных реагентов для поддержания оптимального pH [4].

Помимо вышеупомянутых окислителей, в настоящее время исследуются и разрабатываются и другие новые виды окислителей для выщелачивания урана. Некоторые из них включают окислители на основе пероксида карбоната, пероксида магния и других химических соединений. Эти новые окислители имеют свои собственные преимущества и недостатки, исследования в этой области продолжаются для определения их эффективности, стоимости и возможных применений в промышленном масштабе. Из них, пероксид карбоната ( $\text{CO}_3\text{O}_2^{2-}$ ) может использоваться только в сильнощелочной среде, а пероксид магния ( $\text{MgO}_2$ ) обладает высокой окислительной активностью и стабильностью в широком диапазоне pH. То есть универсальность, относительная безопасность и низкая токсичность – эти качества делает его выгодным. При этом невысокая растворимость его в воде делает не эффективным. В таблице приведены некоторые характеристики новых окислителей [5].

Таблица - Характеристики новых окислителей

Название	Стоимость (долл./кг)	Преимущества	Недостатки
Аммиачная пероксидация	60-70	высокая эффективность, селективность, химическая стабильность	высокая токсичность, высокая стоимость
Пероксид хлора	80-90	высокая активность, селективность	Коррозионная активность, образование опасных продуктов
Пероксосульфат	30-40	низкая стоимость, устойчивость к теплу и свету, возможность использования в широком диапазоне температур и условий выщелачивания, химическая стабильность,	способность к образованию осадков и отложений, неэффективность при низком pH

В целом, новые виды окислителей в перспективе могут быть альтернативой используемым окислителям в процессе выщелачивания урана. Обладая преимуществами и недостатками, новые окислители могут применены при выщелачивании руд определенного месторождения для определения их эффективности.

Таким образом, при использовании подземного выщелачивания для переработки глубоких залежей наблюдается слабопроницаемость и трудновскрываемость урановых руд, за счет чего снижается степень извлечения урана, растут расходы реагентов и увеличивается время для выщелачивания. Для устранения указанных проблем и интенсификации процесса подземного выщелачивания урана в последние годы часто проводятся исследования с целью поиска более эффективных и новых методов проведения данного процесса. Одним из них является поиск новых окислителей, позволяющих обеспечить технико-экономическую эффективность и экологичность процесса подземного выщелачивания урана.

#### Список литературы:

- 1 Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана. -М.: Руды и металлы, 2006. -396с.
- 2 Голик В.И., Заалишвили В.Б., Разоренов Ю.И. Опыт добычи урана выщелачиванием // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - № 4. - С. 11–18.



3 Кеслер А.Г., Носков М.Д., Истомин А.Д., Носкова С.Н. Комплексная физико-химическая модель сернокислотного выщелачивания урана из песчано-глинистых пород инфильтрационных месторождений // Вестник Российской академии естественных наук. - 2013. - № 7. - С. 41-47.

4 Аликулов Ш.Ш., Халимов И.У. Интенсификация параметров подземного выщелачивания урана из слабопроницаемых руд на примере урановых месторождений Узбекистана // ГИАБ. - 2021, №3. С.41-47.

5 Полиновский К. Д. Комплексный подход к решению проблемы интенсификации процесса подземного скважинного выщелачивания урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. № 7. С. 64–73.

6 Литвиненко В. Г., Доржиева А. Г. Влияние кремневых кислот на процесс извлечения урана из рудных пульп анионообменными смолами // Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья, Плаксинские чтения. Томск. -2013. С. 269–272.

### **Уранды сілтісіздендіруді қарқындалу жолдарын талдау және тиімді тотықтырғыштарды іздеу**

**Е.Б. Елтай, Л.Т. Бошкаева, Ж.Әділжан, П.Х. Абкеева, М.С. Рахымжан**

Бұл мақала терең орналасқан кен орындарынан уран кендерін жерасты шаймалау үшін жаңа тотықтырғыштардың тиімді түрлерін іздеу бойынша әдебиет деректеріне шолу мен талдау нәтижелерін қамтиды. Кенде ашылуы қиын минералдардың болуы және өткізгіштігінің төмендеуі уранның өнімді ерітіндіге бөліну дәрежесінің төмендеуіне әкеледі. Уранның настураннан тотығуы сатылы жүреді және әр сатыда әртүрлі ТПП қажет болады. ТПП жеткіліксіз тотықтырғышты пайдалану кезінде шаймалау ұзақтығы артуы мүмкін, ал уранды коффиниттен шаймалау тотықтырғыштың болуына тәуелді емес, бірақ оған рН мөлшері көбірек әсер етеді. Осылайша, кеннің минералогиялық құрамына байланысты жаңа, ең тиімді тотықтырғыштарды іздестіру және қолдану уранды жерасты шаймалау процесін қарқындалтуға және оның ерітіндіге бөліну дәрежесін арттыруға мүмкіндік береді. Мақалада сонымен қатар тотықтырғыштардың жаңа түрлерінің кейбір сипаттамалары берілген.

**Түйін сөздер:** уран, жерасты сілтісіздендіру, тотықтырғыш, шайыр, коффинит, сутегі асқын тотығы, қарқындалу, ашылу мөлшері, құны, бөліну дәрежесі.

### **Analysis of ways to intensify the leaching of uranium and search for effective oxidizers**

**E.B. Yeltai, L.T. Boshkaeva, Zh. Adilzhan, P.Kh. Abkeeva, M.S. Rakhymzhan**

This article includes a review and analysis of literature data in the search for effective types of new oxidizers for underground leaching of uranium ores from deep deposits. The presence of hard-to-open minerals in the ore and the decrease in permeability will lead to a decrease in the degree of extraction of uranium into the productive solution. The stages of uranium oxidation from pitchblende and various redox potentials at different stages can increase the duration of leaching when using an oxidizer with insufficient redox potential, while the leaching of uranium from coffinite is more affected by pH than the presence of an oxidizing agent. Thus, depending on the mineralogical composition of the ore, the search for and application of new, most effective oxidizing agents can make it possible to intensify the process of underground uranium leaching and increase the degree of its extraction. The article also provides some characteristics of new types of oxidizers.

**Key words:** uranium, in-situ leaching, oxidizing agent, pitchblende, coffinite, hydrogen peroxide, intensification, recoverability, cost, recovery rate.



**РЕЦЕНЗИЯ**  
на магистерскую работу  
(наименование вида работы)

**Елтай Еркебулан Бейбітұлы**

(Ф.И.О. магистранта)

7M07204 – Металлургия и обогащение полезных ископаемых

(шифр и наименование специальности)

На тему: Интенсификация выщелачивания урана в месторождении Мынкудык путем использования дополнительного окислителя

Выполнено:

- а) графическая часть на \_\_\_\_\_ слайдах  
б) пояснительная записка на \_\_\_\_\_ страницах

**ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ:**

**1. Соответствие работы специальности и отрасли науки.** Представленная для рецензирования магистерская работа соответствует специальности 7M07204 – Металлургия и обогащение полезных ископаемых и посвящена к исследованию интенсификации процесса выщелачивания сложных гидротенных урановых руд месторождения Мынкудык путем использования окислителя.

**2. Актуальность темы исследования и ее связь с общенаучными и общегосударственными программами (запросами практики и развития науки и техники).** Месторождение Мынкудык по запасам урана в республике занимает 3-е место и является одним из крупных месторождений. Ураноносные минералы в рудах указанного месторождения состоят в основном из 15% коффинита и 85% пастурана, то есть из первичных минералов урана, где уран находится в основном 4-хвалентном виде. В начале разработки месторождения Мынкудык не применяли окислитель. Но, известно, что для максимального перевода урана в раствор необходимо выбрать эффективный окислитель и оптимальные параметры выщелачивания. В связи с этим, изучение процесса серникоислотного выщелачивания урановых руд месторождений Мынкудык с использованием дополнительного окислителя для интенсификации процесса является актуальным.

**3. Степень обоснованности и достоверности каждого результата (научного положения), выводов и заключений, сформулированных в магистерской диссертации.** Результаты, выводы и заключения, представленные в магистерской работе, достаточно обоснованы и достоверны, поскольку в работе исследования по интенсификации процесса выщелачивания урана с помощью окислителя проведены в производственных условиях на скважинах месторождений Мынкудык. Достоверность результатов подтверждена соблюдением требований, предъявляемым к выполнению исследовательских работ.

**4. Степень новизны каждого научного результата (положения), выводы и заключение, сформулированные в диссертации.** Магистерская диссертационная работа посвящена исследованию процесса выщелачивания урановых руд месторождения Мынкудык и интенсификации процесса выщелачивания с применением окислителя на основе пероксида водорода. Автор проводил теоретическое и технологическое исследования по выявлению причин снижения степени извлечения урана в раствор во время скважинного выщелачивания. Определил составы исходной руды и полученного от выщелачивания продуктивного раствора. На основании теоретических и экспериментальных исследований выявил что ранее на месторождении Мынкудык не использовали другие окислители, так как считали, что соединения  $Fe^{2+}$  и



$Fe^{3+}$  могут действовать на окисления урана как эффективный окислитель при  $pH=1,0-2,2$ . Но при  $pH>2,2-2,5$  окисление затормаживается, поскольку при использовании железистого окислителя перерыв в подаче кислоты приводит к кольматации пласта. Автором установлено, что при использовании пероксида водорода на месторождении Мынкудык средняя температура составила  $9-13^{\circ}C$ . При повышении температуры на  $10^{\circ}C$  скорость разложения пероксида водорода вдвое увеличивается. Если поднять температуру до  $30^{\circ}C$ , то это приводит ускорению процесса выщелачивания в шесть раз. Также установлено, что преждевременное разложение пероксида водорода на кислород и водород могут предотвратить ионы  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ .

**5. Оценка внутреннего единства и направленности полученных результатов на решение соответствующей актуальной проблемы теоретической или прикладной задачи.** Представленная для рецензирования работа отличается внутренним единством и направленностью исследований на решение поставленной актуальной научной и прикладной задачи – исследованию процесса выщелачивания урановых руд месторождении Мынкудык и интенсификации процесса выщелачивания с применением окислителя на основе пероксида водорода.

**6. Подтверждение достаточной полноты публикаций основных положений, результатов, выводов диссертации.** По теме работы опубликовано 1 статья, материалы которых охватывают результаты исследовательской работы, соответствуют выводам диссертации. Количество работ является вполне достаточным для соискателей академической степени – магистра технических наук со сроком 2,0 года.

**7. Замечания к работе.** По представленной для рецензирования работе имеется следующее замечание и пожелание:

1. В работе автор не сделал краткие выводы после каждого раздела.
2. Автор также не приводил механизм воздействия пероксида водорода на ионы  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ .
3. Представляло бы интерес определить ориентировочную экономическую эффективность предлагаемой технологии.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОЦЕНКА РАБОТЫ

Несмотря на указанные замечания, считаю, что диссертационная работа Елтай Е.Б. соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, и может быть оценена на «отлично» (92 %), а автор заслуживает присуждения ему академической степени магистра технических наук по специальности 7М07204 – Metallургия и обогащение полезных ископаемых.

### РЕЦЕНЗЕНТ:

Доктор PhD, Ассистент-профессор  
Школы материаловедения и зеленых технологий, руководитель Лаборатории перспективных материалов и технологий АО «Казахстанско-Британский технический университет»

«10» июня 2024 г.



Шарипов Р.Х.

Подпись Шарипова Р.Х. заверяю

Департамент  
по развитию персонала

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Елтай Еркебулан Бейбітұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Интенсификация выщелачивания урана путем использования дополнительного окислителя в условиях месторождения Мынкудук

Научный руководитель: Лайла Бошкаева

Коэффициент Подобия 1: 16.9

Коэффициент Подобия 2: 4.8

Микропробелы: 47

Знаки из других алфавитов: 13

Интервалы: 27

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

2024-06-18

Дата

Заведующий кафедрой

*М. Б.*  
Бяркешин М. Б.  
*(подпись)*



## Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Елтай Еркебулан Бейбітұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Магистерская диссертация

**Название работы:** Интенсификация выщелачивания урана путем использования дополнительного окислителя в условиях месторождения Мынкудук

**Научный руководитель:** Лайла Бошкаева

**Коэффициент Подобия 1:** 16.9

**Коэффициент Подобия 2:** 4.8

**Микропробелы:** 47

**Знаки из здругих алфавитов:** 13

**Интервалы:** 27

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-06-18

Дата



Елеусиз Тажиев

проверяющий эксперт



# СЕРТИФИКАТ

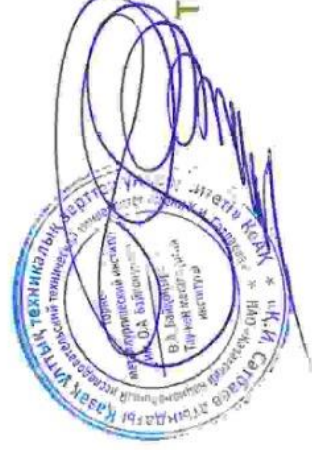
**«ЖЛЫТАУ – Қазақстан металлургиясының бесігі»**  
Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияға

***Е.Б. Елтай, Л.Т. Бонжаева, Ж. Әділжан,***

***Ш.У. Абжеева, М.С. Рахымжан***

**«Анализ способов интенсификации выщелачивание урана  
и поиск эффективных окислителей»**

тақырыбында баяндама ұсынғаны үшін беріледі



**ТКМИ директоры  
Қ.Б. Рысбеков**

2023