

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела

Кафедра геологической съемки, поисков и разведки месторождений  
полезных ископаемых

Джолдасов Рамазан Жанабекулы

«Особенности геологического строения месторождения Восточный  
Мынкудык и совершенствование системы отработки урановых залежей»

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Специальность 7М07218 – Геология и разведка месторождений твердых  
полезных ископаемых

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН  
Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева  
Институт геологии, нефти и горного дела  
Кафедра геологической съемки, поисков и разведки месторождений  
полезных ископаемых

УДК 550.3

На правах рукописи

Джолдасов Рамазан Жанабекулы  
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание академической степени магистра

Название диссертации «Особенности геологического строения месторождения Восточный Мынкудык и совершенствование системы отработки урановых залежей»

Направление подготовки 7М07218 – Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых

Научный руководитель  
Доктор PhD, сениор-лектор каф.  
ГСПиРМПИ

 Кембаев М.К.  
« 26 » марта 2021 г.

Производственный руководитель  
Ведущий менеджер –геотехнолог

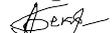
 Марченко В.Н.  
« 28 » марта 2021 г.

Рецензент  
Доктор PhD, СНС ИГН имени  
К.И. Сатпаева

 Р.Т.Баратов  
«26» марта 2021 г.

Нормоконтролер  
канд. геол.-минерал.наук, лектор

 С.К.Асубаева  
«27» марта 2021 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Зав. кафедрой ГСПиР МПИ  
доктор PhD, ассоц.профессор  
 А.А.Бекботаева  
« 29 » марта 2021 г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН  
Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева  
Институт геологии, нефти и горного дела  
Кафедра геологической съемки, поисков и разведки месторождений  
полезных ископаемых  
7М07218 – Геология и разведка месторождений твердых  
полезных ископаемых

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зав. кафедрой ГСПиР МПИ  
доктор PhD, ассоц.профессор  
  
А.А. Бекботаева  
« 29 » марта 2021 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту Джолдасову Рамазану Жанабекулы

Тема: Особенности геологического строения месторождения «Восточный Мынкудук» и совершенствование системы отработки урановых залежей

Утверждённый советом института № 330-М от «11» ноября 2019 г.

Срок сдачи законченной диссертации: «30» марта 2021 г.

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

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации:

- а) построение математическую модель
- б) выбрать оптимальную схему вскрытия и отработка урановых залежей сравнение отработанных блоков
- в) расчёт экономической эффективности разработки
- г) приложения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): а) технологические схемы; б) графики; в) таблицы.

Рекомендуемая основная литература:

1 Пересчет запасов месторождение Мынкудук по кондициям для ПВ, Степногорск, 1988.

2 Язиков В.Г., Забазнов В.Л., Петров Н.Н., Рогов Е.И., Рогов А.Е. / Геотехнология урана на рудниках Казахстана. Алматы, 2001.

3 Язиков В.Г. Особенности изучения геотехнологических свойств руд и геотехнологических условий гидрогенного типа, проектирование комплекса работ при подземном скважинном выщелачивании металлов: учеб. пособие, ТПУ, 2014.

## ГРАФИК

### подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	20.10.2020г	
Общие сведения о районе работ	05.11.2020г	
Геологическая характеристика месторождения	07.12.2020г	
Гидрогеологические и гидрогеохимические особенности месторождения	25.12.2020г	
Оптимизация схем вскрытия при отработке урановых залежей на восточном участке месторождения «Восточный Мынкудук»	12.01.2021г	
Построение математических моделей для оптимизации схем и параметров расположения откачных и закачных скважин при ПСВ урана.	15.02.2021г	
Основные технико-экономические показатели на отработку опытного блока	18.03.2021г	
Заключение	25.03.2021г	

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант (уч. степень, звание)	Сроки	Подпись
Введение	М.К.Кембаев доктор PhD, сениор-лектор	20.10.2020г	
Общие сведения о районе работ		05.11.2020г	
Геологическая характеристика месторождения		07.12.2020г	
Гидрогеологические и гидрогеохимические особенности месторождения		25.12.2020г	
Оптимизация схем вскрытия при отработке урановых залежей на восточном участке		12.01.2021г	

месторождения «Восточный Мынкудук»			
Построение математических моделей для оптимизации схем и параметров расположения откачных и закачных скважин при ПСВ урана.		15.02.2021г	
Основные технико-экономические показатели на отработку опытного блока		18.03.2021г	
Заключение		25.03.2021г	
Нормоконтролер	С.К.Асубаева канд. геол.- минерал.наук, лектор		

Научный руководитель  М.К.Кембаев

Задание принял к исполнению  Р.Ж.Джолдасов

Дата «01» октября 2020 г.

## АҢДАТПА

Қазақстанның уранның негізгі депозитарийлерінің бірі ретіндегі перспективалары бірінші кезекте ЖҰШ әдісін қолдана отырып, уранның қабаттық-инфильтрациялық орындарын игерумен байланысты.

Баяндалғанға байланысты уранның қабаттық-инфильтрациялық кен орындарын ашу және пайдалану схемаларын типтеудің, оңтайландырудың ғылыми негіздерін әзірлеуде бірінші кезектегі қажеттілік анықталады. ЖҰШ тәсілімен уран өндіру процесінің басқа тәсілдермен салыстырғанда өзіне тән ерекшеліктері, артықшылықтары мен кемшіліктері және салдары ретінде өзіне тән проблемалары бар.

Кен орнын игерудің алғашқы жылдарынан бастап ЖҰШ кенішінің өндіру кешені жұмысының тиімділігінің технологиялық ұңғымалардың жай-күйіне өте қатты тәуелділігі анықталды. Шығыс учаскесінің Мыңқұдық кен орындары жағдайында технологиялық ұңғымаларды пайдалану үлкен тереңдікте (320 метрге дейін) ұңғымалардың сүзгілерін жөндеу-қалпына келтіру жұмыстарын жүргізу қажеттілігімен байланысты. Бұл жұмыс ашу схемаларын оңтайландыруды сипаттайды.

Түйінді сөздер: горизонт, ҚТА, ерітінді, настуран, ұялы жүйе.

## АННОТАЦИЯ

Перспективы Казахстана, как одного из основных депозитариев урана, в первую очередь связаны с отработкой пластово-инфильтрационных месторождений урана с применением способа ПСВ.

В связи с изложенным, выявляется первостепенная необходимость в разработке научных основ типизации, оптимизации схем вскрытия и эксплуатации пластово-инфильтрационных месторождений урана.

Процесс добычи урана способом ПСВ имеет свои характерные особенности, преимущества и недостатки в сравнении с другими способами и как следствие, характерные проблемы. Практически с первых лет отработки месторождения, выявлена очень серьезная зависимость эффективности работы добычного комплекса рудника ПСВ от состояния технологических скважин. Эксплуатация технологических скважин в условиях месторождений Мынкудук участка Восточный сопряжена с необходимостью проведения ремонтно-восстановительных работ фильтров скважин на больших глубинах (до 320 метров).

В данной работе описывается оптимизирование схем вскрытия при отработке уранового месторождения Мынкудук участок Восточный.

Ключевые слова: горизонт, ЗПО, раствор, настуран, ячеистая система

## ANNOTATION

Prospects of Kazakhstan, as one of the main depositories of uranium, are primarily related to the development of reservoir-infiltration deposits of uranium using the PSV method.

In connection with the above, it is revealed that there is a primary need to develop the scientific basis for typing, optimizing the schemes for opening and operating reservoir-infiltration uranium deposits.

The process of mining uranium by the PSV method has its own characteristic features, advantages and disadvantages in comparison with other methods and, as a result, characteristic problems. Almost from the first years of the field development, a very serious dependence of the efficiency of the production complex of the PSV mine on the state of the technological wells was revealed. The operation of technological wells in the conditions of the Mynkuduk fields of the Eastern section is associated with the need for repair and restoration work of well filters at great depths (up to 320 meters).

This paper describes the optimization of the opening schemes during the development of the Mynkuduk uranium deposit in the Eastern section.

Key words: horizon, FOZ, solution, nasturan, cellular system

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	11
1 Общие сведения о районе работ	13
1.1 Административная и физико-географическая характеристика района	13
1.2 Геологическая характеристика района	17
1.3 Социально-экономическая характеристика района	19
2 Геологическая характеристика месторождения	21
2.1 Геологические особенности месторождения	21
2.2 Структурно-текстурные особенности месторождения	24
2.3 Гидрогеологические и гидрогеохимические особенности месторождения	25
2.4 Вещественный и минеральный состав руд	27
2.5 Геотехнологические свойства руд	30
2.6 Условия образования	33
3 Оптимизация схем вскрытия при отработке урановых залежей на восточном участке месторождения «Мынкудук»	34
3.1 Опытные работы ПСВ на урановом месторождении восточный Мынкудук	34
3.2 Проектируемые геотехнологические параметры	35
3.3 Построение математических моделей для оптимизации схем и параметров расположения откачных и закачных скважин при ПСВ урана	35
3.3.1 Определение оптимального радиуса $R_0$	38
3.3.2 Определение среднего $V_d$ (действительную скорость) фильтрации плоскорадиального потока по любой линии тока	41
3.3.3 Выбор оптимального значения $Ж:Т$ .....	43
3.3.4 Дебит откачной скважины	43
3.3.5 Приёмистость закачной скважины	44
3.4 Метод построения и реализации оптимизационных моделей.....	45
3.4.1 Определение времени выщелачивания ячейки или блока для гексагональной сети	45
3.4.2 Определение времени закисления ячейки или блока для гексагональной сети	46
3.4.3 Определение расхода кислоты на 1 кг добываемого урана	47
3.4.4 Определение среднего содержание урана в ПР по блоку	47
3.5 Сравнение отработанных блоков	48

4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	59
4.1	Амортизационные отчисления	59
4.2	Стоимость горно-подготовительных работ	60
4.3	Основные технико-экономические показатели на отработку опытного блока	61
4.4	Основные технико-экономические показатели	64
4.5	Организация труда и управление производством	65
	Заключение	67
	Список использованной литературы	68
	Приложение А	70
	Приложение В	71

## ВВЕДЕНИЕ

*Актуальность проблемы.* Особенно в последнее десятилетие были проведены большие работы по разработке и внедрению в промышленных масштабах геотехнологической добычи урана, получившей название метода подземного выщелачивания (ПВ). Подземное выщелачивание — метод добычи урана путем избирательного его растворения химическими реагентами из руд на месте их залегания и последующего извлечения из урансодержащих растворов. На некоторых месторождениях построены предприятия и ведется добыча методом ПВ. На ряде месторождений проведены опытно-промышленные работы по добыче урана этим методом. На некоторых предприятиях метод ПВ стал основным при добыче урана. Нет сомнения, что число таких предприятий в будущем увеличится. Сырьевую базу предприятий, добывающих уран методом ПВ, в настоящее время составляют главным образом бедные месторождения гидрогенного генезиса, залегающие в водопроницаемых песчано-глинистых отложениях депрессионных зон земной коры.

Совершенно очевидно, что возможности способа подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) еще далеко не раскрыты, применение его сегодня основано в первую очередь на сравнительно небольшом (20-25 лет) практическом опыте предыдущих лет.

На казахстанских предприятиях метод ПВ стал основным при добыче урана. Нет сомнения, что число таких предприятий в будущем увеличится. Одновременно были выполнены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, касающиеся различных сторон этого метода добычи от методов поисков и разведки месторождений до получения готовой продукции в цехах переработки урансодержащих растворов. Выполненные работы позволили выявить особенности и закономерности процессов подземного выщелачивания, определить оптимальные границы применения метода ПВ, его преимущества и недостатки по сравнению с традиционными способами добычи. Разработаны требования к разведке месторождений, включая проведение опытных работ и основы проектирования предприятий ПВ, а также основные вопросы охраны окружающей среды. Сконструированы и внедрены в производство многие виды оборудования, аппаратов, механизмов, материалов и приборов измерения, предназначенных для метода ПВ. Наряду с этим многие проблемы и вопросы нуждаются в решении и совершенствовании. Решение их несомненно будет способствовать дальнейшему улучшению технико-экономических показателей предприятий, применяющих метод ПВ. Несмотря на новизну метода и нерешенность ряда вопросов, выполненные исследования и накопленный предприятиями опыт позволили установить, что метод ПВ обладает рядом больших технических, экономических и социальных преимуществ по сравнению с традиционными методами применительно к

водородными месторождениями, представленными проницаемыми рудными телами.

В связи с изложенным, выявляется первоочередная необходимость в разработке научных основ типизации, оптимизации схем вскрытия и эксплуатации пластово-инфильтрационных месторождений урана. Следует отметить, что в настоящее время метод ПВ не может быть применен для всех типов урановых месторождений. Расширение границ использования этого прогрессивного метода, поиски путей и средств его применения для других типов месторождений (не только урановых) являются одной из главных задач недалекого будущего.

**Цель работы-** геологическая характеристика и изучение геотехнологическую типизацию и схему вскрытия месторождения, анализ критериев оптимальности выбрать оптимальную схему вскрытия для отработки урановых залежей на руднике «Восточный Мынкудук».

**Задачи работы:**

1. Анализ критериев оптимальности на месторождении Восточный Мынкудук:

- геотехнологические особенности и условия отработки месторождения
- расчет оптимального радиуса ячейки для гексагональной и рядной схемы вскрытия

- сравнительные расчеты времени закисления и времени выщелачивания ячейки для гексагональной и рядной схем вскрытия

**Научная новизна работы:**

- простые аналитические зависимости для определения оптимальных по двум критериям значений параметров для любых схем расположения технологических скважин: радиус ячейки и время отработки блока;

**Личный вклад автора.** Анализ горно-геологических условий и современного состояния добычи урановой руды месторождения, сбор статистических данных изменения математической модели, сравнительный анализ и обработка результатов и выводы.

Область применения: расчеты могут применяться при вскрытии запасов для опытно-эксплуатационных блоков месторождения Восточный Мынкудук (Южный Казахстан).

Работа основывается на отчетных материалах, которые получены в ходе производственной практики на руднике

**Публикаций** по диссертаций опубликовано 1 статья.

**Объем и структура работы,** диссертация состоит из 71 стр.

## 1 Общие сведения о районе работ

### 1.1 Административная и физико-географическая характеристика района

Месторождение Мынкудук (рудник «Мынкудук» филиала «Степное - РУ») - расположено в юго-западной части плато Бетпак-Дала и по административному делению входит в Южно-Казахстанскую область Республики Казахстан, где оно охватывает близширотный участок рудоносных фронтов зоны пластового окисления (далее - ЗПО) на протяжении около 65 км. Рудоносная полоса месторождения тяготеет к юго-западному склону Уванасского вала, осложненному системой пологих антиклинальных поднятий (рис 1.).

Орографический район представляет собой аккумулятивную равнину, образовавшуюся в неоген-четвертичное время, и относится к зоне пустынь.

Поверхность плато в районе работ представляет собой песчано-глинистую, полого наклонную к югу и юго-западу пустынную равнину, осложненную локальными горстовыми поднятиями палеозойского фундамента (Кыземшек), а также бессточными такырными и дефляционными котловинами, отдельными увалами (Кутантас, Тогускен), и скоплениями эоловых песчаных бугров. Абсолютные отметки меняются от 220 до 280 метров. Гидрографическая сеть непосредственно на территории района работ отсутствует. Здесь отмечается система мелких промоин временных водотоков, базисом которых служат замкнутые бессточные котловины. Наиболее крупные водные артерии расположены за пределами пустыни, на западной окраине - низовья реки Сары-Су, на южной – реки Чу [1].

Климат пустыни резко континентальный, со значительными годовыми и суточными колебаниями температуры воздуха, суровой зимой, жарким летом, короткой весной, малой облачностью, незначительным количеством осадков и сухим воздухом. Абсолютный максимум температуры наиболее жарких месяцев июня-июля +43 +46°C, абсолютный минимум -35 -37°C. Характерным явлением для района являются почти непрерывно дующие ветры. Преобладающее направление ветров восточное, северо-восточное, юго-западное.

Атмосферные осадки в этой части пустыни выпадают зимой в виде снега, а в весенне-осенний период в виде редких одиночных ливневых дождей.

Население, в основном, сконцентрировано в долине реки Чу и предгорьях хребта Каратау.

Месторождение открыто партией № 27 Волковской экспедиции в 1973 г. По каротажу добытого керна из первых буровых скважин, пройденных в зоне фронта окисления, было установлено всего лишь двухкратное превышение фона радиоактивности песчаных отложений в основании верхнемелового разреза. Последующими детализационными скважинами

было выявлено кондиционное оруденение. В ходе поисково-оценочных работ, проведенных в 1973—1975 г.г. на флангах-рудноносной полосы, определились значительные масштабы месторождения, которые были подтверждены сначала его предварительной, а с 1977 г. детальной разведкой. В 1977—1979 г.г. на Восточном участке месторождения совместно с комбинатом «Южполиметалл» были успешно проведены натурные опытные работы по подземному выщелачиванию урана, окончательно определившие промышленную значимость этого уникального объекта. В 1981 г. отчет с подсчетом запасов по месторождению был защищен с отличной оценкой. К настоящему времени детальная разведка месторождения завершена [1].

Открытие Мынкудукского месторождения в самом начале периода систематических поисковых работ стало возможным благодаря разработке и внедрению новой поисковой концепции, основанной на представлениях о приуроченности уранового оруденения к региональным «ролловым» фронтам пластового окисления, не связанным с современными контурами Чу-Сарысуйской депрессии и окружающих ее поднятий.

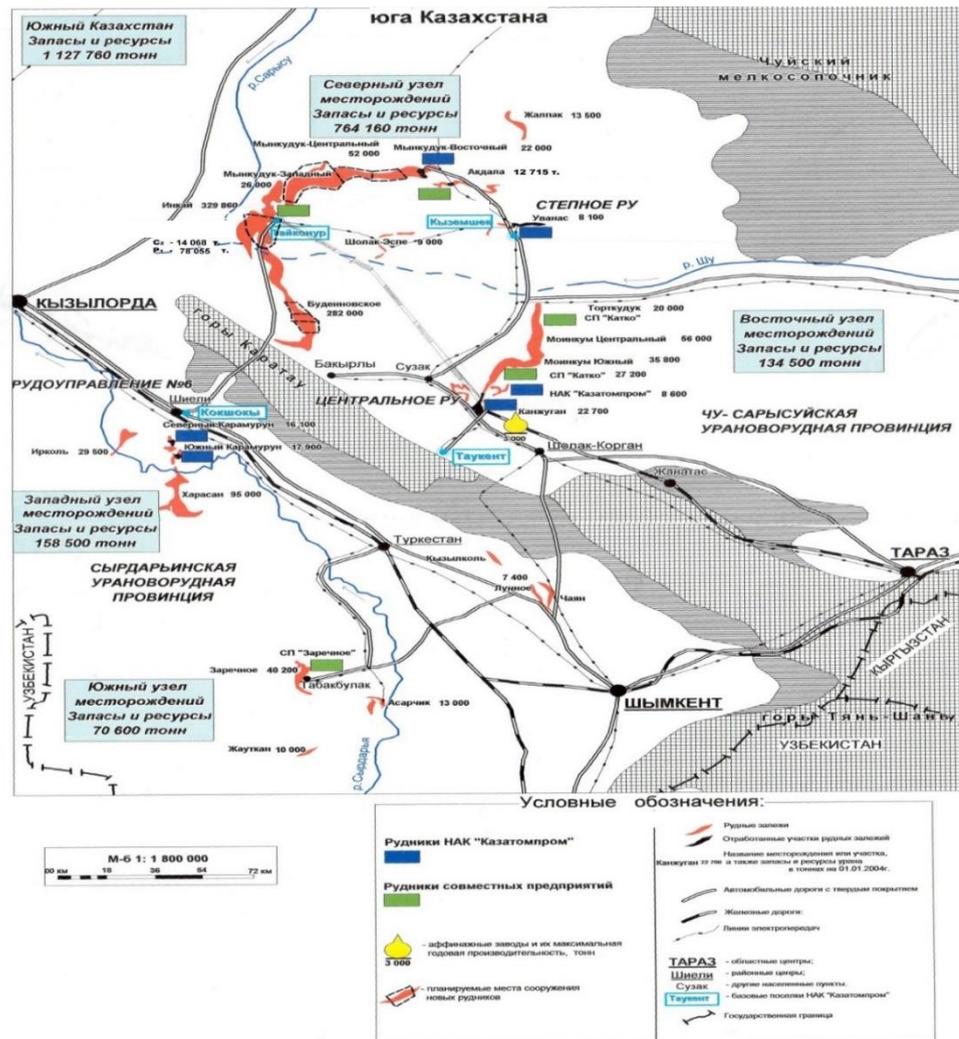


Рисунок 1 - Обзорная карта ураноносной провинции (по материалам отчета АО «Волковгеология»)

На месторождении пробурено около 2,5 млн. метров буровых скважин. Близширотные участки рудоносного фронта ЗПО в горизонтах мела разделяются несколькими резкими «изгибами» близмеридионального направления, которым соответствуют либо перерывы оруденения, либо контрастное изменение его морфологии. Указанные изгибы являются границами нескольких рудных участков, занимающих определенное структурное и стратиграфическое положение. В Мынкудукском горизонте локализовано оруденение участков Восточного, Лагерного, Центрального, Осеннего и Западного, в Инкудукском - Орталык и Песчанного, Жалпакском – Акдала. Выделенные участки могут рассматриваться как самостоятельные месторождения, причем некоторые из них (Восточный, Центральный, Акдала) – как крупные объекты.

Картограмма расположения горного отвода месторождения «Мынкудук» представлена на рисунке 2.

Разработка месторождения методом ПВ через систему скважин оказывает несравнимо меньшее отрицательное воздействие на окружающую среду, особенно на поверхность земли. Отсутствуют оседание и нарушение земной поверхности, отвалы забалансовых руд и пустых пород, а также хвостохранилища. На всех переделах, включая вскрытие и подготовку рудных тел к отработке, отсутствует пылеобразование. Несоизмеримо сокращаются объёмы перерабатывающего производства за счёт исключения из технологической схемы громоздких операций рудоприёмки и рудоподготовки. Технологический процесс переработки продуктивных растворов является замкнутым циклом и не имеет сбросовых растворов, что минимизирует отходы производства и исключает строительство экологически опасных хвостохранилищ.

Пластово-инфильтрационные месторождения урана в Чу-Сарысуйской депрессии связаны с региональными зонами пластового окисления в водоносных горизонтах палеогена и мела соответственно.

Пластово-инфильтрационные месторождения урана в Чу-Сарысуйской депрессии связаны с региональными зонами пластового окисления в водоносных горизонтах палеогена и мела соответственно. Месторождения располагаются на территории Чу-Сарысуйской депрессии в пределах одноименного артезианского бассейна [1].

Эксплуатация месторождения Мынкудук начата с 1987 года.

На гидрогенных месторождениях урана, в т.ч. на месторождении Мынкудук применяется система отработки способом подземного скважинного выщелачивания с бурением технологических скважин с дневной поверхности. Добыча урана с получением готовой продукции предприятия (желтый кек,  $UO_2SO_4$ ) осуществляется на месторождении Мынкудук рудником ПВ-19.

Вскрытие продуктивного горизонта производится бурением и сооружением технологических скважин с поверхности земли с обсадкой их полиэтиленовыми трубами с установкой фильтров в интервале

продуктивного горизонта. Глубина скважин при эксплуатации месторождения Восточный Мынкудук в среднем 330 метров. После прокачки скважин и достижения ими проектных параметров эксплуатации, скважины обвязываются трубопроводами для подачи в продуктивный пласт выщелачивающих растворов и отбора из пласта продуктивных растворов.

Последовательность вскрытия рудных тел, система бурения технологических скважин, графики развития работ, схема блокировки и залежей рудных тел показаны в проекте добычного полигона.

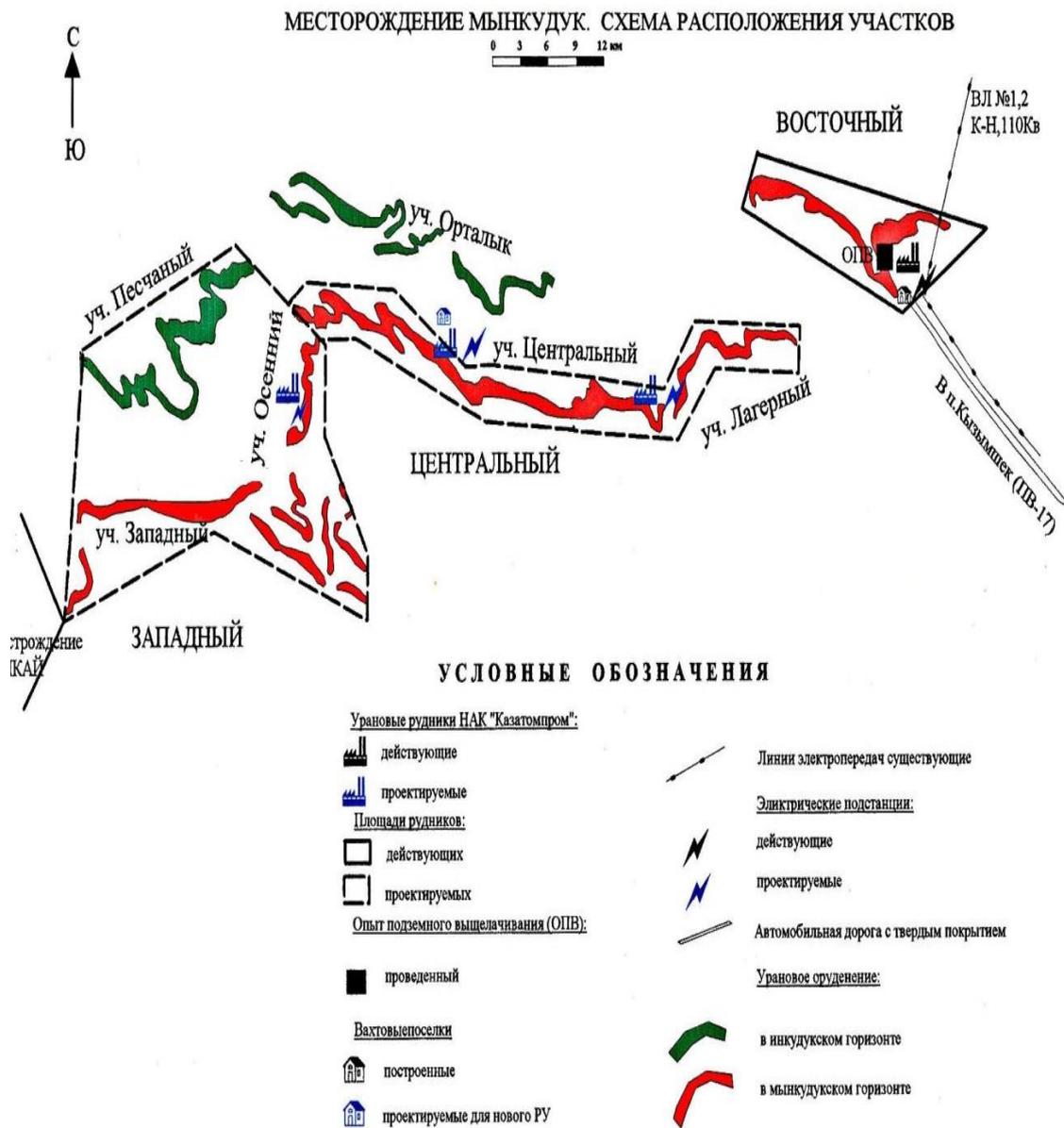


Рисунок 2- Картограмма расположения горного отвода месторождения «Мынкудук»

Подачу выщелачивающих растворов (ВР) в недра осуществляют свободным наливом через закачные скважины с концентрацией серной кислоты от 5 до 25г/л, в зависимости от степени отработки технологического

блока. Различают три режима подачи серной кислоты: закисление – средняя концентрация 25г/л, активное выщелачивание – 8-12г/л и довыщелачивание – 5-6г/л. Расход серной кислоты определяется в основном свойствами минералов выщелачиваемых пород.

Отбор растворов из откачных скважин осуществляется с помощью погружных насосных установок [1].

Продуктивные растворы (ПР) по напорным коллекторам поступают при необходимости в промежуточные пескоотстойники, откуда насосами по магистральным трубопроводам перекачиваются в ёмкость продуктивных растворов технологического участка переработки продуктивных растворов.

## 1.2 Геологическая характеристика района

Перспективность Шу-Сарысуйской депрессии на обнаружение пластово-инфильтрационных месторождений урана подтвердилась в 1961-1964 г.г., когда ПГО «Волковгеология» начало планомерные поисковые работы на территории.

В результате проведенных работ были выявлены ряд рудопроявлений и м-ние Уванас. Однако, несмотря на масштабы оруденения, из-за высокой обводненности и низких содержаний месторождение было признано непригодным для традиционного способа отработки; дальнейшие поиски были прекращены.

Ключевую роль в возобновлении поисков сыграло внедрение технологии отработки залежей урана подземным скважинным выщелачиванием (ПСВ). После успешного проведения в 1969-1970 г.г. натурального опыта по ПСВ на м-нии Уванас, такой тип месторождений с бедными и убогими, глубокозалегающими, сильно обводненными рудами стал расцениваться как весьма рентабельный для отработки.

Уже с 1970 г. в этом районе были продолжены поисковые работы, рудопроявление Жалпак было переведено в разряд промышленных месторождений, а в южной части депрессии было выявлено крупное м-ние Канжуган. Эти месторождения локализованы в палеогеновых отложениях, в относительной близости к палеозойским горстовым образованиям.

В результате анализа всех полученных материалов была выдвинута концепция о приуроченности урановых месторождений к региональным рудоносным «ролловым» фронтам пластового окисления, распространившихся далеко вглубь артезианских бассейнов от воздымавшихся между эоценом и миоценом неотектонических субплатформенных поднятий, в частности, Каратауского горстантиклинория.

Новые представления о древнем, допозднеплиоценовом, возрасте рудообразования и масштабе оруденения позволили пересмотреть

поисковые критерии и методику поисковых работ, что и привело к выявлению крупнейшей урановорудной Шу-Сарысуйской провинции.

В дальнейшем выбор поисковых площадей и ориентировка сети разведочного бурения основывалась на результатах регионального картирования границ ЗПО, что и позволило в сжатые сроки открыть в позднемеловых отложениях месторождения Мынкудукской рудной полосы.

Месторождение Мынкудук выявлено в 1973 г. экспедицией № 27 ПГО «Волковгеология». В течение двух лет поисково-оценочными работами определились значительные масштабы месторождения. В 1976 г. начата предварительная оценка, а с 1977 г. – детальная разведка.

Одновременно экспедиция № 27 в 1974-1979 гг. проводила поисковые работы на юго-западном продолжении Мынкудукской рудной полосы, которые привели к открытию крупных месторождений: 1976-1978 гг. – Инкайского, а в 1979 г. – Будёновского.

Район м-ния Мынкудук приурочен к крупной структуре второго порядка – Шу-Сарысуйской впадине. Она расположена между Казахским щитом с севера и востока и Каратауским горстантиклинорием с юго-запада, а на юго-востоке отделена Уланбель-Таласской седловиной от Восточно-Моинкумского склона. Северная граница впадины не имеет четкого выражения. Она характеризуется весьма пологим, около 15', региональным погружением отложений чехла в юго-западном направлении, где выделяется Сузакский прогиб с общей мощностью чехла 800 м. Юго-западный борт прогиба, обращенный к Каратаускому антиклинорию, значительно круче северо-восточного, углы падения пород достигают здесь нескольких градусов, а в зоне Главного Каратауского разлома – нескольких десятков градусов.

Начало формирования Шу-Сарысуйской впадины относится к позднему мелу. В туронский век обширная площадь претерпевает медленное погружение, причем амплитуда опускания участков дифференцировано распространялась по блоково-пликативным структурам. В континентальных условиях погружение Сузакского прогиба приводит к заложению обширной речной сети, ориентированной по оперяющим разломам северо-восточного направления. Формировались мелкообломочные речные осадки: пески, алевроиты, глины с незначительным включением растительного детрита.

Сенонский период характеризуется пульсирующими, относительно резкими прогибами суши, с унаследованным развитием речной сети. В приносимом материале преобладают грубообломочные породы, которые формируют разнозернистые пески с гравием и галькой.

К концу кампан-маастрихта стабилизация в развитии участка приводит к формированию осадков преимущественно глинистого состава, которые, в основном, приурочены к верхней части горизонта.

В палеогене вся площадь района месторождения становится дном моря. В это время формируются глубоководные разности пород, преимущественно глины.

Региональная тектоническая обстановка района контролируется глубинными каледонскими разрывными нарушениями. Это Главный Каратауский, Аксумбинский, Жуантюбинский разломы северо-западного направления и их северо-восточные оперяющие ветви. В мезокайнозойском чехле унаследованы только Мынчукурский и Арандинский разломы. Их консидементационная активность в течение мела, палеогена и миоцена отражается в изменении мощности отложений в разрезах разделяемых ими блоково-пликативных структур. Нарушения в чехле проявлены флексурами, затухающими вверх по разрезу.

В целом же рудовмещающие и перекрывающие их горизонты на месторождении залегают практически горизонтально.

Месторождение располагается в платформенной части Шу-Сарысуйской депрессии, за пределами зоны влияния структур Каратауского направления, поперечных по отношению к общей ориентировке фронта ЗПО. Этим в конечном итоге определяется несложная тектоническая структура м-ния Мынкудук, относительно простая и выдержанная морфология рудных залежей.

### **1.3 Социально-экономическая характеристика района**

Центральная и северная часть Чу-Сарысуйской депрессии до недавнего времени относилась к экономически не освоенным районам. Все горнодобывающие предприятия и выросшие на их базе промышленные центры сосредоточились в обрамлении депрессии на палеозойских массивах. В северном обрамлении депрессии расположены такие крупные, давно действующие горнорудные предприятия, как Джекказган и Каратал с добычей и переработкой медных и железо-марганцевых руд, рудники на полиметаллическом месторождении Жейрем.

Основные промышленные предприятия района связаны с уранодобывающей отраслью. Способом ПСВ отрабатываются месторождения: «Уванас», «Мынкудук», «Южный Мынкудук», «Западный Мынкудук», «Канжуган», «Моинкум», «Инкай». Продолжает строиться базовый поселок Таукент.

Ближайшей железнодорожной станцией является Созак, строящийся в районе Таукента. Протяженность ветки Жанатас-Созак 73км. Расстояние от месторождения «Восточный Мынкудук» до станции Созак 115км.

Населенные пункты расположены, главным образом, в предгорной части хребта Каратау: Сузак, райцентр Чулак-Курган и др. В долине р.Чу находится несколько каракулеводческих хозяйств: Жуантобе, Тасты, Чуйский. Участок вахтового поселка находится в 500м севернее участка

промплощадки. Связаны они между собой и поселком Тайконур грунтовой автодорогой. Ближайшим населённым пунктом участка Восточный Мынкудук является поселок Кыземшек с населением порядка 3000 человек, расположенный в 60 км к юго востоку. В районе месторождения Мынкудук постоянно проживающих жителей нет. Основная масса жителей поселка Кыземшек работают на рудниках НАК «Казатомпром». Остальная часть жителей либо занята предпринимательской деятельностью, либо содержит скот и занимается огородничеством в объемах, обеспечивающих проживание семьи, либо нигде не работает и не учится. Таким образом, основная занятость населения Сузакского района - урановая промышленность Центрального и Степного рудоуправлений (п.п.Таукент и Кыземшек), от которой в районный бюджет поступает порядка 70% отчислений.

Как отмечается статистическими данными, численность населения по Сузакскому району растет, однако в 1999 году наблюдался резкий отток населения по всем возрастным группам, и только в 2000г наблюдалась стабилизация. Начиная с 1998 года, резко сократилась рождаемость, уменьшилось число женщин фертильного возраста, сократился естественный прирост населения. Самыми неблагоприятными с точки зрения демографии стали 1999 – 2000гг. Однако в 2000г наметились положительные тенденции, которые во многом связаны с тем, что в пп. Таукент и Кыземшек с 1998г зафиксирован рост населения. В то же время остается низкий уровень рождаемости и естественный прирост населения, так в п.Сызган и п.Шолаккорган численность населения сократилась до уровня 1996г. Уровень рождаемости сократился и составил порядка 19 человек на 1000 жителей, что составляет 70% от рождаемости в 1998г, наметился отток женского населения. Данные отрицательные тенденции компенсируются приростом населения в поселке Кыземшек, где количество женщин, подростков и детей увеличилось практически в два раза.

## 2 Геологическая характеристика месторождения

### 2.1 Геологические особенности

Мынкудукский рудный район, также как и остальная территория Чу-Сарысуйской депрессии, характеризуется трехъярусным строением. В его вертикальном разрезе выделяются:

а) складчатый фундамент, представленный дислоцированными протерозойскими и раннепалеозойскими образованиями;

б) промежуточный структурный этаж (ПСЭ) или литифицированный осадочный слой, образованный средне-познепалеозойскими формациями;

в) платформенный чехол, представленный мезозойско-кайнозойскими отложениями.

*Складчатый фундамент* ( $PR_{1-2} - PZ_1$ ) на месторождении залегает на глубине 2-4 км (в отдельных тектонических блоках, взброшенных по зонам разломов, вскрывается буровыми скважинами под отложениями чехла, на глубинах 300-400 м). Кристаллические образования фундамента представлены двуслюдяными полевошпат-кварцевыми сланцами. Помимо этого, в составе складчатого фундамента распространены кембрийские (Є) и ранне-среднеордовикские ( $O_{1-2}$ ) терригенные образования, прорванные раннепалеозойскими основными и ультраосновными интрузиями.

Промежуточный структурный этаж (ПСЭ) представлен комплексом слабодислоцированных субплатформенных осадочных формаций.

В основании разреза – фаменская ( $D_3fm$ ) терригенно-галогенная красноцветная формация, которая повсеместно перекрывается отложениями раннекаменноугольной ( $C_1v$ ) морской терригенно-карбонатной формации, в составе которой преобладают сероцветные известняки, песчаники, алевролиты и аргиллиты. Выше, с угловым несогласием, залегают континентальные отложения мощностью до 1500 м, которые подразделяются на две свиты: нижнюю – джесказганскую ( $C_{2-3dg}$ ) и верхнюю – жиделисайскую ( $P_1gd$ ). В составе обеих свит преобладают красноцветные осадочные отложения. Жиделисайская свита отделяется от джесказганской условно, по преобладанию в разрезе алевролитов и аргиллитов над песчаниками, гравелитами и конгломератами. Северо-восточнее Мынкудукского района, в Тесбулакской впадине, жиделисайская свита несогласно перекрывается сероцветными алевролитами, аргиллитами мергелями кингирской свиты ( $P_1kn$ ). [2].

*Мезозойско-кайнозойский структурный этаж (платформенный чехол)*. Подразделяются на три комплекса: юрский – предплатформенный, мел-палеогеновый – платформенный, неоген – четвертичный – платформенно – суборогенный. Отложения юрского (I) предплатформенного комплекса на территории Мынкудукского района не установлены.

*Мел–палеогеновый платформенный комплекс.* Представлен континентальными терригенными отложениями позднего мела; континентальными и морскими образованиями палеоцена и эоцена.

*Поздний мел - нижний палеоцен ( $K_2-P_1^1$ ).* Образования позднего мела несогласно залегают на размытой поверхности ПСЭ. В основании разреза, в понижениях, выделяют сохранившиеся от размыва реликты красноцветных плотных глин с включением гальки и гравия, с прослоями разнозернистых глинистых песков. Их мощность не превышает 10-15 м. Они условно (по аналогии с Кызылкумами) отнесены к сеноману ( $K_2sm$ ).

Вышележащие позднемеловые – нижнепалеоценовые отложения подразделяются на три самостоятельных горизонта: мынкудукский (ранний турон)  $K_2t_1(mk)$ , инкудукский (поздний турон-сантон)  $K_2t_2-st(in)$  и жалпак-бюртускенский (кампан-нижний палеоцен)  $K_2km-P_1^1(gp+bt)$ .

*Мынкудукский горизонт.* Является основным рудовмещающим горизонтом на месторождении Мынкудук. Представлен пачкой сероцветных и пестроцветных аллювиальных, реже озерно-аллювиальных отложений. Подразделяется на два подгоризонта: нижний – представленный стрежнево-русловыми гравийными песками, которым подчинены прослой гравия, нередко с галькой, песчаных глин и алевропеллитов; верхний – где преобладают мелко-среднезернистые зеленоватые пески, прослой зеленых и серых глин. Мощность горизонта возрастает с северо-востока на юго-запад от 20-40 м до 70-100 м. На участке работ колеблется в пределах 40-50 м.

*Инкудукский горизонт.* С размывом залегают на отложениях мынкудукского горизонта. Отличается грубозернистым составом и низкой степенью сортировки материала. В разрезе выделяют три цикла. Породы горизонта подвергнуты региональному «глеевому» восстановлению. Мощность горизонта от первых метров до 100-120 м, на участке работ – 40-45 м.

*Жалпак-бюртускенский горизонт.* С перерывом залегают на инкудукском горизонте. Подразделяется на два подгоризонта: жалпакский и бюртускенский. В составе нижнего жалпакского подгоризонта преобладают серые разнозернистые косослоистые полевошпат-кварцевые пески с примесью гравия, гальки. Нередко в них присутствует углефицированный детрит. Подчиненное значение занимают линзы и прослой серых и темно-серых глин с нечеткой слоистостью. Мощность подгоризонта 15-25 м. Верхний бюртускенский подгоризонт представлен преимущественно первично красноцветными, иногда горчично-бурыми разнозернистыми и мелкозернистыми песками с прослоями пестроцветных глин и известковистых песчаников. Мощность подгоризонта – 20-40 м.

*Палеоген ( $P_1^2-P_2^3$ ).* Представлены континентальными (палеоцен) и морскими (эоцен) образованиями. В разрезе палеогена выделены четыре горизонта (снизу вверх): уванасский ( $P_{1uv}$ ), уюкский ( $P_2^1uk$ ), иканский ( $P_2^2ik$ ), интымакский (тасаранско-чеганский) ( $P_2^3it$ ).

*Уванасский горизонт.* Распространен в юго-западной части Мынкудукского района. В северной и северо-восточной частях его отложения были эродированы перед трансгрессией интымакского (тасаранско-чеганского) моря. На месторождении «Мынкудук» (участок «Восточный») – эти отложения отсутствуют, на других участках месторождения вскрыты на глубинах 130-175 м. Представлен в нижней части сероцветными разнозернистыми песками с прослоями темно-серых гумусированных глин и алевролитов. В средней части горизонта преобладают осветленные среднезернистые пески, а в верхней – зеленые и пестроцветные глины. Мощность горизонта варьирует от первых метров до 70-80 м. [2].

*Уюкский горизонт.* Отложения горизонта распространены в юго-западной части Мынкудукского района. Представлены, главным образом, глинами. В нижней части – морскими светло-коричневыми «шоколадными» глинами, в верхней части – серыми и зеленовато серыми глинами. На участке работ («Мынкудук – Восточный») отложения этого горизонта полностью эродированы.

*Иканский горизонт.* Распространен лишь в южной части района. По составу отложений (серовато-зеленые глины, иногда опоковидные) почти не отличаются от уюкского горизонта. Мощность достигает 40-50 м.

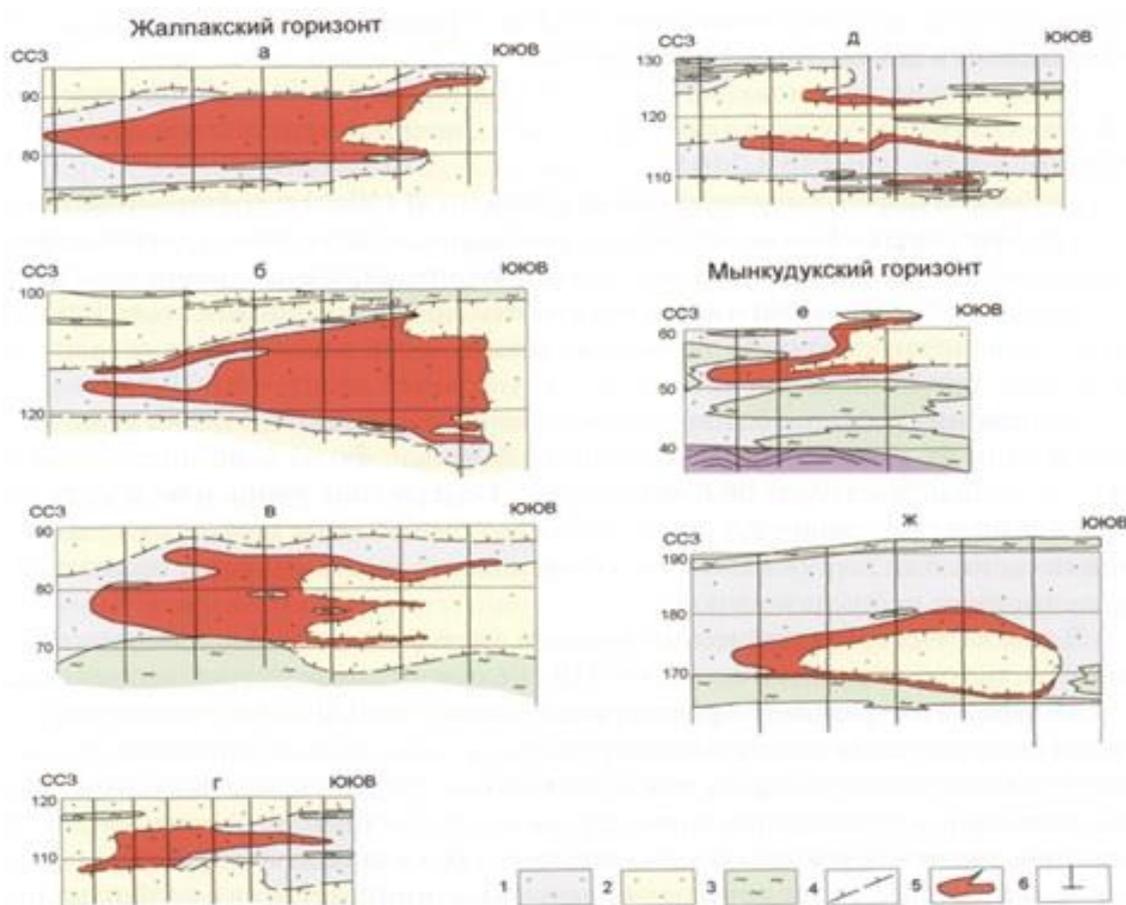
*Интымакский (тасаранско-чеганский) горизонт.* На северо-востоке района залегает на описанных выше отложениях с размывом и угловым несогласием. Здесь в составе горизонта появляются прибрежно-морские и подводно-дельтовые песчаные отложения. На остальной части района он представлен глинами зеленовато-серыми, серыми, голубовато-зелеными, прерывисто-слоистыми. Мощность изменяется от нескольких метров до 150 м. На участке работ мощность этих отложений достигает 45-50 м.

*Неоген-четвертичный комплекс.* Залегает на отложениях позднего эоцена с размывом и угловым несогласием. Выделяются два подкомплекса: платформенный миоцен-среднеплиоценовый и платформенный четвертичный.

*Миоцен-среднеплиоценовый платформенный подкомплекс* представлен бетпакдалинской и асказансорской свитами. Среди миоценовых отложений бетпакдалинской свиты ( $N_1^{1-3}$  bt ) выделяются две пачки: нижняя, сложенная кирпично-красными и красно-бурыми слабоизвестковистыми глинами, розовыми и буровато-розовыми, обычно мелкозернистыми песками полимиктового состава и верхняя, представленная неоднородным литологическим составом пород (пески, гравий, глины, песчаники) с пестрыми окрасками грязно-желтых, бурых и палевых тонов, плохой окатанностью и сортировкой материала. Мощность миоценовых отложений в Сузакском прогибе достигает 180-200 м, а к северу уменьшается до полного выклинивания. Асказансорская свита ( $N_2^{1-2}$  as) представлена окисленными желтыми, ржаво-бурыми разнозернистыми кварцевыми песками с прослоями гравелитов, песчаников и глин. Мощность отложений асказансорской свиты

на плато Бетпак-Дала не превышает 10-20 м. Свита образована в условиях речной системы.

*Четвертичный платформенный подкомплекс.* Представлен всеми отделами. Его отложения образуют маломощный покров на плато Бетпак-Дала, выполняют долины рек Сарысу и Чу, сухих логов, такырные и солончаковые котловины. Среди них наибольшим распространением пользуются аллювиальные пески, супеси, суглинки, гравийники, эоловые пески, алевриты, глины. Мощность отложений от долей метра до 10-20 м.



1 - проницаемые песчаные отложения; 2 — окисленные отложения; 3 — непроницаемые глинистые отложения; 4 — граница ЗПО; 5 — урановорудные залежи; 6 — буровые скважины.

Рисунок 3- Морфологические типы рудных залежей месторождения Восточный Мынкудук

## 2.2 Структурно-текстурные особенности

В песчаных и гравийно-песчаных породах уран накапливается в межзерновом поровом пространстве. При этом он концентрируется, главным образом, в сообщающихся порах глинисто-алевритового заполнителя, используя для осаждения поверхности обломочных зерен, как

алевритовой, так и песчаной размерности. Подавляющая часть урана находится в легко извлекаемой форме. Руды имеют, главным образом, дисперсную и тонковкрапленную текстуру и интерстиционную структуру, редко в богатых рудах структура цементная или псевдоморфнофузеновая.

Совсем незначительная часть урана (доля процента) концентрируется в рудах в виде псевдоморфоз по обугленному растительному детриту, а также в кавернах, микротрещинах и микропорах песчаных и гравийных зерен и галек. Обугленный растительный детрит на м-нии Мынкудук является накопителем урана, хотя и не таким активным, как на месторождениях Торткудук, Канжуган, Уванас, Жалпак.

Незначительное участие углефицированных растительных остатков в накоплении урана следует рассматривать как благоприятный фактор с точки зрения отработки месторождения способом ПСВ. [5].

В песчаных, гравийных зернах и в гальках полевошпат-кварцевых пелитизированных обеленных пород (фельзитов, микромагматитов, роговиков, песчаников, серицит-кремнистых сланцев, дацитов) доля урана ещё меньше.

### **2.3 Гидрогеологические и гидрогеохимические особенности**

Мынкудукский рудный район располагается в пределах Чу-Сарысуйского артезианского бассейна, приуроченного к одноименной депрессии. В разрезе мезо-кайнозойского чехла выделяются два водоносных комплекса: комплекс грунтовых вод в неоген-четвертичных отложениях и комплекс артезианских и напорных вод в поздне меловых и палеоцен-эоценовых горизонтах.

*Неоген-четвертичный комплекс грунтовых вод.* Характеризуются пестрым составом подземных вод и широким диапазоном минерализации. На территории района преобладают слабо-солончатые, хлоридно-сульфатные натриевые воды, хотя и они под современными озерными котловинами нередко сильно минерализованы. Питание и гидродинамика комплекса грунтовых вод определяется поверхностными стоками.

*Комплекс артезианских и напорных вод.* Выделяется два подкомплекса: палеоцен-эоценовых и поздне меловых отложений, разделенных между собой относительно выдержанной пачкой алеврито-глинистых пород. Региональным нижним водоупором для рудовмещающего водоносного комплекса меловых отложений являются палеозойские осадочные породы ПСЭ. Мынкудукский и инкудукский продуктивные горизонты выдержанными глинистыми водоупорами не разделяются, в то время как жалпакский горизонт обычно отделяется от нижележащих водоносных песков песчано-глинистыми или глинисто-гравийными прослоями. Палеогеновые водоносные горизонты, в отличие от меловых, разделяются выдержанными водоупорами. Региональным верхним водоупором для всего

комплекса служат морские глины интымакского (тасаранско-чеганского) горизонта. Все воды комплекса являются напорными.

Месторождение Мынкудук расположено на высоком северо-восточном крыле Западно-Чу-Сарысуйского артезианского бассейна, в зоне влияния, в основном, двух потоков: «чуйского» и «таласского». На площади месторождения в меловых горизонтах распространены воды – сульфатно-хлоридные натриевые с минерализацией 3,3-6,1 г/л. Основной рудовмещающий водоносный мынкудукский горизонт с вышележащим инкудукским горизонтом образуют единую пьезометрическую поверхность, которая устанавливается на отметках 60-80 м от поверхности земли с увеличением на запад. Направление движения подземных вод с юго-востока на северо-запад.

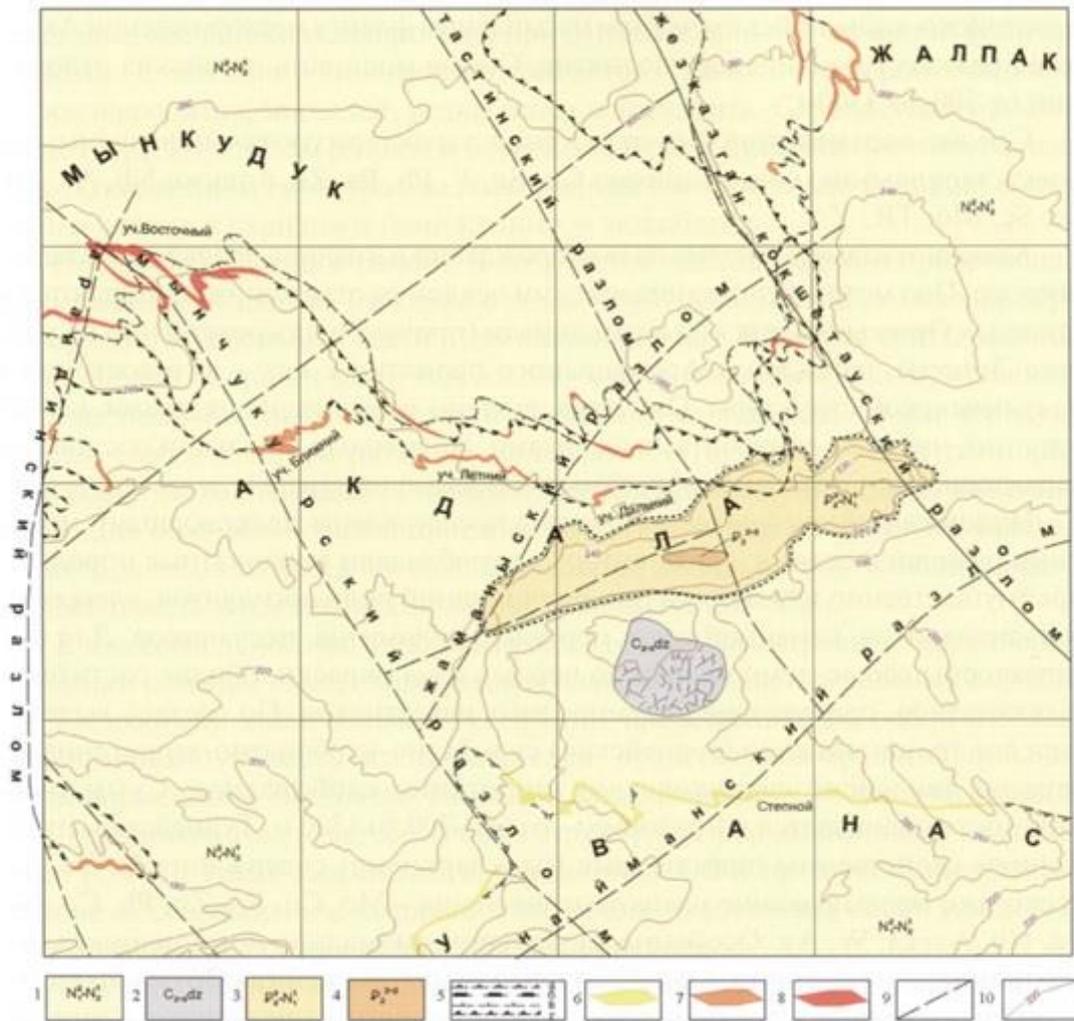
На месторождении комплекс представлен следующими водоносными горизонтами: водоносный горизонт грунтовых вод спорадического распространения в отложениях тогузкенской толщи (ранее выделялся как асказансорский горизонт); бетпакдалинский водоносный горизонт.

Характеризуется пестрым составом подземных вод и широким диапазоном общей минерализации. На территории месторождения преобладают слабо-солончатые, хлоридно-сульфидные натриевые воды. Питание и гидродинамика комплекса грунтовых вод определяется поверхностными стоками. Воды распространены спорадически или отсутствуют. Линзы грунтовых вод тогузкенской толщи, в основном, приурочены к участкам развития современных такыров, аккумулирующих атмосферные и талые воды, водупором для этих вод служат линзы и прослой бурых глин в верхах бетпакдалинской свиты.

Бетпакдалинский водоносный горизонт, приуроченный к нижней части свиты, распространен на всей площади месторождения. Воды безнапорные или слабонапорные. Горизонт слабообводненный, проницаемость пород низкая. Питание осуществляется за счёт атмосферных осадков [5].

Грунтовые воды в неогеновых отложениях отделяются от комплекса напорных и артезианских вод меловых и палеогеновых горизонтов региональным верхним водупором – интымакским (тасаранско-чеганским) горизонтом.

Интымакский водоносный горизонт пользуется незначительным площадным распространением к востоку от Арандинского разлома. Представлен тонко-мелкозернистыми песками с малой водообильностью и низкими фильтрационными свойствами, удельные дебиты составляют тысячные и десятые доли л/сек. Воды сильно солончатые, сульфатно-хлоридно натриевые с минерализацией 4,5÷6,8 г/дм<sup>3</sup>. Питание горизонта осуществляется за счёт подтока из водоносного комплекса меловых отложений.



1 — отложения тогускенской свиты; 2 — отложения лжезказганской свиты; 3 — отложения бетпақдалинской свиты; 4 — морские глины интымакской свиты, § — границы выклинивания зоны пластового окисления: а — уванасском, б- жалиакском, в— инкудукском, г— мынкудукском; 6-8 — рудные тела в уванасском, жалиакском и мынкудукском горизонтах; 9 — разрывные нарушения в домезозойских отложениях; 10 — изогинсы кровли неогеновых отложений

Рисунок 4 - Геологическая карта месторождения Восточный Мынкудук и прилегающих районов со снятым чехлом четвертичных отложений

## 2.4 Вещественный и минеральный состав руд

На месторождении Мынкудук оруденелыми являются все выделенные в рудоносных горизонтах лито-фациальные типы пород: около 60 % всего урана связано со среднезернистыми и мелкозернистыми песками и переходными между ними разновидностями; примерно 40 % – с разнозернистыми гравийными песками и песчаным гравием; только 0,5 %

приходится на глинистые породы – глины, алевролиты, паттумы (технологически забалансовое оруденение).

Наиболее благоприятными для концентрации урановой минерализации являются первично восстановленные серые и зеленовато-серые отложения, содержащие углефицированный растительный детрит (первый геохимический тип) и эпигенетически восстановленные зеленовато-белесые породы (второй тип).

Обломочный материал, как в рудных, так и нерудных песчаных и гравийно-песчаных отложениях чаще всего плохо сортирован по крупности и представлен кварцем, полевыми шпатами, обломками кремнистых и кислых вулканогенных пород, редкими чешуйками мусковита, биотита и фрагментами обугленной растительной органики. От суммы всех обломочных частиц кварц составляет в среднем  $68 \div 72$  % (при вариациях от 10 до 90 %). Он особенно характерен для мелко-среднезернистых разновидностей песков. Для песчано-гравийных отложений и для крупных ( $>1$ мм) классов разнозернистых песков характерно более высокое содержание обломков кремнистых пород разнообразного состава. Их количество варьирует в пределах  $3 \div 60$  % (в среднем около 20 %). Содержание зерен полевых шпатов, представленных микроклином и кислыми плагиоклазами, изменяется в пределах  $7 \div 33$  % (в среднем около 10 %) от суммы обломочного материала.

Обугленный растительный детрит встречается в виде мелких фрагментов высших растений: стеблей, листьев, коры, корней, которые представлены гелифицированной структурной (ксилен, ксиловитрен) и бесструктурной тканью. Клеточные полости структурных тканей выполняются глинистым веществом, пиритом, сфалеритом, урановыми минералами. В зоне окисления пиритизированные растительные остатки замещаются гидроокислами железа. [5].

Акцессорные минералы, преимущественно входящие в состав тяжелой фракции класса  $0,25 \div 0,1$  мм, для всех типов песчаных пород одинаковы и составляют в среднем около 0,1 % от веса породы. Это лейкоксен, турмалин, ставролит, гранат, андалузит, дистен, эпидот, апатит, карбонатистый фторапатит, анатаз, циркон, сфен, рутил, глауконит, магнетит. [3].

Поровым заполнителем или «цементом» в рудных и нерудных песчаных отложениях служит рыхлый глинисто-алевритовый материал полимиктового состава. Его среднее суммарное количество варьирует от 8 до 20 %. Преобладающий тип «цемента» – поровый, пленочный, крустификационный. Он представляет собой обломочный материал алевритовой размерности, связанный пористым агрегатом из тонкодисперсного кварца и глинистых минералов.

Глинистая составляющая (фракция  $<0,005$  мм) порового заполнителя песчаных и песчано-гравийных руд не превышает  $5\div 9$  %. Она представлена каолинитом, монтмориллонитом и гидрослюдами.

Урановые руды от рудовмещающих пород, как правило, не отличаются, за исключением их относительно богатых разновидностей с видимой урановой минерализацией. Песчано-гравийные отложения, пески мелко-среднезернистые являются полевошпат-кварцевыми. Обломочный материал состоит из кварца (70-86 %, иногда до 92 %), полевых шпатов (7-18 %), обломков кремнистых пород, мусковита и биотита, углистого детрита, желваков песчаников с пиритовым, реже сидеритовым и баритовым цементом. Акцессорные минералы (в среднем 0.1 %): ильменит, лейкоксен, турмалин, ставролит, гранат, андалузит, циркон, дистен, апатит, в единичных знаках – рутил и сфен. Поровый заполнитель – рыхлый каолинит-монтмориллонитовый глинисто-алевролитовый материал (5-20 %), в котором значительное место принадлежит тонкодисперсному кварцу.

Условия локализации уранового оруденения и его качество в значительной мере определяются *геохимическим типом пород*:

Диагенетически восстановленные пески, глины, алевропелиты, содержащие углефицированные растительные остатки. Приурочены преимущественно к нижнему подгоризонту. Среднее содержание железа около 1 % (0.35-2.05 %), доля сульфидного железа, в среднем, равна 0.09 %. Содержание Сорг. меняется от 0.021 до 0.098 % (среднее – 0.04 %),  $\text{CO}_2$  – 0.1-0.3 %. Наиболее благоприятны для уранонакопления.

Зеленые, зеленовато-серые, зеленовато-белесые диагенетически и эпигенетически восстановленные пески, глины, алевропелиты. Диагенетически восстановленные породы могут содержать тонкорассеянные остатки углефицированной органики. Эпигенетически восстановленные под воздействием глеевых процессов породы чаще более крупнозернистые и более проницаемые. В разрезе преобладают в составе верхнего подгоризонта. Мало благоприятны для уранонакопления.

Первично окисленные красноцветные и пестроцветные отложения, не подвергнутые эпигенетическому восстановлению. Среднее содержание железа около 4 % с преобладанием трехвалентной формы (свыше 2 %). Не благоприятны для уранонакопления. [5].

Эпигенетически окисленные (главным образом проницаемые) породы. По минеральному составу руды месторождения являются коффинит-настурановыми. В общем балансе настуран составляет 58 %, коффинит – 42 % (на участке Восточном – настуран - 50 %, коффинит – 50 %). Роль настурана увеличивается от Восточного участка (1:1) к Западному (5:2). Уран накапливается в межзерновом поровом пространстве рыхлого глинисто-аливритового заполнителя песчаных и гравийно-песчаных руд, образуя вместе с насыщающей поры водой единую, весьма неустойчивую систему. Очень малая доля урана (сотые доли процента) концентрируется в углистом растительном детрите. По содержанию урана преобладают бедные и убогие

руды (0.02-0.10 %), реже рядовые (0.10-0.30 %). Руды месторождения силикатные, бескарбонатные (содержание  $\text{CO}_2$  – десятые доли процента), редко слабо карбонатные (2-4 %), в виде локальных маломощных спорадически развитых линз. Низкое содержание Сорг.(обычно 0.04-0.05 %). Руды маложелезистые: среднее содержание валового железа обычно не более 1 % (при средней доле сульфидного – 0.07 %).

## 2.5 Геотехнологические свойства руд

Залежь 1 (черт. № СтРУ 066000 2002 ТХ). В плане имеет форму асимметричного «ролла», передовая часть которого представляет собой сложное сочетание расположенных на разных уровнях мынчудукского горизонта рудных тел. Ширина максимального раздува этой части – 1,7 км. Отмечается значительная изрезанность контура залежи в плане. Восточное крыло, постепенно сужаясь, прослеживается в широтном направлении и выклинивается. Западное – представлено узким (100-250 м) отрезком рудоносной полосы, ориентированной на юго-восток и сливающимся с залежью 2, с которой образует единое клиновидное окончание. В поперечных разрезах отмечаются и простые, и сложные ролловые формы рудных тел, связанных с выклиниванием передового языка ЗПО в нижней и средней частях горизонта. При этом мощность мешковых частей изменяется от 5 до 24 м, а крыльевых – от 3 до 9 м. Залежь 1, помимо главного роллового тела, включает подчиненные тела, приуроченные к сероцветным отложениям нижней части горизонта, а также представленные отторгнутым верхним крылом. Залежь 2 (черт. № СтРУ 066000 2002 ТХ). Связана с северо-восточной границей крупного языка окисления, развитого вдоль зоны Мынчукурского разлома. В плане – это протяженное, близко к линейному рудное тело, которое на юго-востоке сливается с залежью 1, в северо-западной части, на участке сочленения Мынчукурского и Арандинского разломов, замыкается с резким изменением ориентировки с близширотной на юго-восточную. Залежь состоит из главного роллового тела и нескольких подчиненных тел. Ширина залежи варьирует от 75-100 м (при простых ролловых телах) до 300-500 м (в юго-восточной части залежи, при слиянии двух встречных роллов) и до 350-550 м (на северо-западном участке замыкания залежи). В поперечных разрезах выделяется разнообразие морфологических форм: от простых роллов с короткой и достаточно мощной (15-21 м) мешковой частью и утолщенными (до 9 м), но не протяженными крыльями; сдвоенными встречными роллами; роллами с удлиненной мешковой частью (на северо-западном замыкании залежи), мощностью 5-20 м; останцовыми (отторгнутое верхнее крыло) и другими сателлитными телами. [6].

**Минералогический состав руд.** Урановые руды от рудовмещающих пород, как правило, не отличаются, за исключением их относительно богатых

разновидностей с видимой урановой минерализацией. Песчано-гравийные отложения, пески мелко-среднезернистые являются полевошпат-кварцевыми. Обломочный материал состоит из кварца (70-86 %, иногда до 92 %), полевых шпатов (7-18 %), обломков кремнистых пород, мусковита и биотита, углистого детрита, желваков песчаников с пиритовым, реже сидеритовым и баритовым цементом. Акцессорные минералы (в среднем 0,1 %): ильменит, лейкоксен, турмалин, ставролит, гранат, андалузит, циркон, дистен, апатит, в единичных знаках – рутил и сфен. Поровый заполнитель – рыхлый каолинит-монтмориллонитовый глинисто-алевролитовый материал (5-20 %), в котором значительное место принадлежит тонкодисперсному кварцу. Условия локализации уранового оруденения и его качество в значительной мере определяются геохимическим типом пород: диагенетически восстановленные пески, глины, алевропелиты, содержащие углефицированные растительные остатки. Приурочены преимущественно к нижнему подгоризонту. Среднее содержание железа около 1 % (0,35-2,05 %), доля сульфидного железа, в среднем, равна 0,09 %. Содержание Сорг. меняется от 0,021 до 0,098 % (среднее – 0,04 %), CO<sub>2</sub> – 0,1-0,3 %. Наиболее благоприятны для уранонакопления. Зеленые, зеленовато-серые, зеленовато-белесые диагенетически и эпигенетически восстановленные пески, глины, алевропелиты. Диагенетически восстановленные породы могут содержать тонкорассеянные остатки углефицированной органики. Эпигенетически восстановленные под воздействием глеевых процессов породы чаще более крупнозернистые и более проницаемые. В разрезе преобладают в составе верхнего подгоризонта. Мало благоприятны для уранонакопления. Первично окисленные красноцветные и пестроцветные отложения, не подвергнутые эпигенетическому восстановлению. Среднее содержание железа около 4 % с преобладанием трехвалентной формы (свыше 2 %). Не благоприятны для уранонакопления. Эпигенетически окисленные (главным образом проницаемые) породы. По минеральному составу руды месторождения являются коффинит-настурановыми. В общем балансе настуран составляет 58 %, коффинит – 42 % (на участке «Восточном» – настуран - 50 %, коффинит – 50 %). Роль настурана увеличивается от Восточного участка (1:1) к Западному (5:2). Уран накапливается в межзерновом поровом пространстве рыхлого глинисто-аливритового заполнителя песчаных и гравийно-песчаных руд, образуя вместе с насыщающей поры водой единую, весьма неустойчивую систему. Очень малая доля урана (сотые доли процента) концентрируется в углистом растительном детрите. По содержанию урана преобладают бедные и убогие руды (0,02-0,10 %), реже рядовые (0,10-0,30 %). Руды месторождения силикатные, бескарбонатные (содержание CO<sub>2</sub> – десятые доли процента), редко слабо карбонатные (2-4 %), в виде локальных маломощных спорадически развитых линз. Низкое содержание Сорг. (обычно 0,04-0,05 %). Руды маложелезистые: среднее содержание валового железа обычно не более 1 % (при средней доле сульфидного – 0,07 %).

Участок «Восточный».

**Залежь 1.** Среднее содержание урана 0,031 % (кат. C1+C2) при средней мощности 7,51 м (средняя продуктивность – 3,95 кг/м<sup>2</sup>).

**Залежь 2.** Среднее содержание урана 0,029 % (кат. C1+C2) при средней мощности 8,38 м (средняя продуктивность – 4,13 кг/м<sup>2</sup>).

Руды месторождения Мынкудук на участке «Восточный» являются мономинеральными. Концентраций, превышающих установленные минимально-промышленные значения каких-либо элементов, не выявлено. Обнаруженные в зоне уранового оруденения спорадические весьма незначительные повышения содержания некоторых халькофильных элементов могут представлять лишь геохимический интерес. Максимальные концентрации Ni, Co, Zn, Cu, Pb лишь по отдельным пробам (на стадии детальных разведочных работ) составили 0,01-0,07 %, в целом же они в рудных залежах и околорудных породах близки, либо ниже кларковых.

Как и на других месторождениях рассматриваемого типа, изучались попутные компоненты рудной формации: селен, рений, скандий, иттрий, редкие земли. [6].

**Селен.** На стадии детальных геологоразведочных работ выполнен анализ распределения концентраций селена в пробах с содержанием более 0,01 %. Концентрации селена более 0,01 % не обнаружены.

**Рений.** Содержания рения в рудных телах не установлены.

**Скандий.** Его концентрации в рудных залежах характеризуется фоновыми значениями для мел-палеогеновых отложений Чу-Сарысуйской урановорудной провинции (средние: 2,8 – 4,8 г/т). При этом его концентрации закономерно возрастают от крупнозернистых песчаных разностей к мелкозернистым, достигая максимальных значений в непроницаемых глинистых породах. Изменения концентраций скандия в ряду рудоконтролирующей эпигенетической зональности не наблюдается.

Таким образом: скандий на рассматриваемом участке месторождения отнесен к элементам с неясными условиями миграции и накопления на геохимических барьерах. Иттрий и редкоземельные элементы. В урановорудной массе залежей мынкудукского горизонта сумма редкоземельных элементов, включая иттрий, составляет в среднем 100,5 г/т (в том числе иттрий – 22,5 г/т). Концентрации этих элементов в песчаных и глинистых разновидностях пород сопоставимы, хотя в последних они немного выше. В профиле эпигенетической зональности закономерности локализации редкоземельных элементов и иттрия не определены; отмечается небольшой дефицит их в зоне окисления и незначительное (5-10 %) накопление в зоне оруденения.

На настоящий момент, исходя из экономической целесообразности: детальных разведочных работ с утверждением запасов в ГКЗ, технологии извлечения из недр, сорбции на смолах и их десорбция, и других факторов – организация этих работ является крайне нерентабельной и на участке «Восточный» не планируется.

## 2.6. Условия образования

Перспективность Шу-Сарысуйской депрессии на обнаружение пластово-инфильтрационных месторождений урана подтвердилась в 1961-1964 г.г., когда ПГО «Волковгеология» начало планомерные поисковые работы на территории.

В результате проведенных работ были выявлены ряд рудопроявлений и м-ние Уванас. Однако, несмотря на масштабы оруденения, из-за высокой обводненности и низких содержаний месторождение было признано непригодным для традиционного способа отработки; дальнейшие поиски были прекращены.

Ключевую роль в возобновлении поисков сыграло внедрение технологии отработки залежей урана подземным скважинным выщелачиванием (ПСВ). После успешного проведения в 1969-1970 г.г. натурального опыта по ПСВ на м-нии Уванас, такой тип месторождений с бедными и убогими, глубокозалегающими, сильно обводненными рудами стал расцениваться как весьма рентабельный для отработки.

Уже с 1970 г. в этом районе были продолжены поисковые работы, рудопроявление Жалпак было переведено в разряд промышленных месторождений, а в южной части депрессии было выявлено крупное м-ние Канжуган. Эти месторождения локализованы в палеогеновых отложениях, в относительной близости к палеозойским горстовым образованиям.

В результате анализа всех полученных материалов была выдвинута концепция о приуроченности урановых месторождений к региональным рудоносным «ролловым» фронтам пластового окисления, распространившихся далеко вглубь артезианских бассейнов от воздымавшихся между эоценом и миоценом неотектонических субплатформенных поднятий, в частности, Каратауского горстантиклинория.

Новые представления о древнем, допозднеплиоценовом, возрасте рудообразования и масштабе оруденения позволили пересмотреть поисковые критерии и методику поисковых работ, что и привело к выявлению крупнейшей урановорудной Шу-Сарысуйской провинции.

В дальнейшем выбор поисковых площадей и ориентировка сети разведочного бурения основывалась на результатах регионального картирования границ ЗПО. Месторождение Мынкудук выявлено в 1973 г. экспедицией № 27 ПГО «Волковгеология». В течение двух лет поисково-оценочными работами определились значительные масштабы месторождения. В 1976 г. начата предварительная оценка, а с 1977 г. – детальная разведка.

Одновременно экспедиция № 27 в 1974-1979 г.г. проводила поисковые работы на юго-западном продолжении Мынкудукской рудной полосы, которые привели к открытию крупных месторождений: 1976-1978 г.г. – Инкайского, а в 1979 г. – Будёновского.

### **3 Оптимизация схем вскрытия и отработка урановых залежей на восточном участке месторождения мынкудук**

Целью данной работы является определение оптимальных схем вскрытия при отработке урановой залежи 2 на Восточном участке месторождения Мынкудук.

Для решение поставленной задачи необходимо рассмотреть и рассчитать геотехнологические параметры отработанных технологических блоков, сравнить схемы вскрытия.

Представлена следующая последовательность работы:

- построение математической модели с расчётом основных геотехнологических параметров;
- сравнение по схемам вскрытия двух отработанных технологических блоков.

#### **3.1 Опытные работы ПСВ на Восточном участке уранового месторождения Мынкудук**

Для выбора оптимальной схемы вскрытия в сравнении были выбраны технологические блоки №1а (ячеистая система с гексагональной схемой вскрытия) и 2а (линейная система вскрытия с рядной схемой).

Урановое месторождение «Мынкудук» относится к группе гидрогенных месторождений. Генезис месторождения пластово-инфильтрационный. Месторождение приурочено к песчано-глинистым отложениям. Распределение балансовых руд по литологическим типам следующее (в %): глинистые пески и песчаники - 12, грубообломочные породы с песчано-глинистым цементом - 9,2, грубообломочные породы с карбонатами - 2,1, глины и алевролиты 8,5. Взаимоотношение отмеченных типов руд сложное, самостоятельных тел они не образуют. Руды месторождения в целом алюмосиликатные слабо карбонатные (содержание карбонатов до 2%). По запасам месторождение крупное. Представлено проницаемыми рудами, которые могут быть отработаны способом ПВ.

Основными особенностями подобных месторождений и участков, определяющими методику разведки, являются:

- глубина залегания рудных залежей;
- морфология рудной залежей и лентообразная форма в плане;
- определение статистического и динамического уровня подземных вод;
- результаты работы действующих технологических блоков полигона, добычных скважин месторождения Мынкудук;
- выделение рудоносного горизонта наличием либо отсутствием в нем водоупоров;

- коэффициент фильтрации;
- изменчивость содержания урана;
- изменчивость мощности рудных тел.

### 3.2 Проектируемые геотехнологические параметры

В качестве критерия оптимизации для решения поставленной задачи принимаются затраты на сооружение и эксплуатацию сети скважин и при разработке конкретного эксплуатационного участка (ЭУ).

Наиболее перспективными схемами расположения скважин принимаем

$$X_1 = \{x_{1,1}; x_{1,2}; \dots; x_{1,j}\}, \quad (3.1)$$

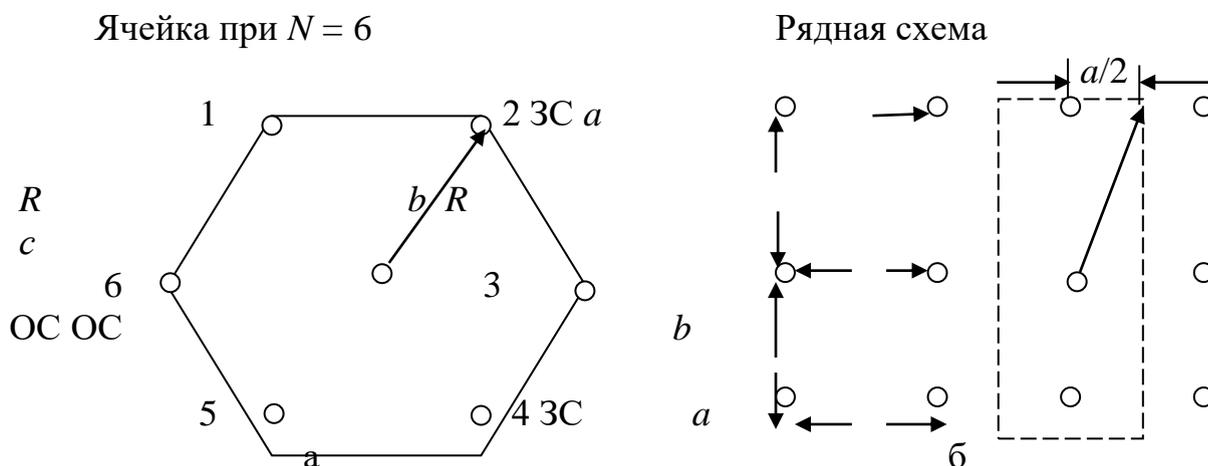
где  $x_1, j$  показаны на рис.6.

### 3.3 Построение математических моделей для оптимизации схем и параметров расположения откачных и закачных скважин при ПСВ урана

В принципе все известные и применяемые при промышленной отработке схемы расположения скважин можно свести к двум типам: ячеистые – сотовые и линейные (рядные).

В любых схемах главными параметрами являются –  $R$ , радиус ячейки и ее площадь; для линейной - дополнительно соотношение сторон  $b/a$ , которое, как правило, равно единице, т. е.  $b = a$  (рис. 6 а, б).

В рядных схемах главными параметрами являются также размеры  $a$  и  $b$  или  $\theta = \frac{2b}{c}$ .



$R_o$	– оптимальный радиус ячейки, м;
$R_l$	– приближенный радиус ячейки, м;
$R_c$	– радиус скважины, м;
$H$	– глубина скважины, м;
$\rho_{\Pi}$ и $\rho_{\text{В}}$	– плотность пород пласта и воды, т/м <sup>3</sup> ;
$F$	– отношение Ж: Т;
$A$	– расстояние между закачными скважинами;
$B$	– расстояние между рядами;
$C$	– расстояние между откачными скважинами;
$X$	– отношение расстояния между рядами к расстоянию между откачными скважинами в ряду;
$\square$	– Коэффициент пропорциональности отношение скорости выщелачивания к средней скорости фильтрации раствора;
$Q_{отк}$	– дебит откачной скважины, м <sup>3</sup> /час;
$Q_{зак}$	– приемистость закачной скважины, м <sup>3</sup> /час;
$T_{э}$	– время эксплуатации, лет;
$T_{зак.}$	– время закисления, дней;
$C_{ср}$	– среднее содержание урана в продуктивных растворах, мг/дм <sup>3</sup> ;
$C_{max}$	– максимальное содержание урана в продуктивных растворах,
$S_k$	– показатель скин-эффекта;
$C_1$	– параметр, определяющий кинетику процесса выщелачивания урана в ячейке, равный $0,368/C_1\$$ ;
$C_{скв}$	– стоимость 1 пог. м технологической скважины, долл. США/м;
$C_{э}$	– суточные эксплуатационные расходы по руднику, долл. США/сут).

Рис 3.1 – Основные параметры а) гексагональной и б) рядной схемой расположения технологических скважин

Таблица 3.1 – Геотехнологическая характеристика блок 201-5

№	Наименование	Параметры	Ед. измер.	Блок 201-5
1	Запасы урана	$P$	т	81593
2	Площадь блока	$S$	тыс. м <sup>2</sup>	74176
3	Рудная мощность	$M$	м	3.22
4	Среднее содержание урана	$C$	%	0.018
5	Удельная продуктивность	$m_U$	кг/м <sup>2</sup>	1,1
6	Продуктивность в метропроценте	$Mc$	м <sup>0</sup> %	0.058
7	Плотность пород рудного горизонта	$\rho_n$	т/м <sup>3</sup>	1,70
8	Коэффициент фильтрации в рудной части горизонта	$K_{\phi}$	м/сут	1.5
9	Коэффициент эффективной пористости	$K_n$		0,23
10	Глубина разработки пласта до нижнего	$H$	м	224

	водоупора			
11	Эффективная мощность продуктивного горизонта	$M_{\text{э}}$	м	14,5

прод. таблицы 3.1

12	Горнорудная масса блока	$Q_{ГРМ}$	тыс. т	1828
13	Плотность растворов	$\rho_{p-p}$	т/м <sup>3</sup>	1.01
14	Коэффициент извлечения	$K_{\text{изв.}}$	%	90
15	Напор на закачных скважинах	$S_n$	м вод. ст.	50-70
16	Депрессия на откачных скв.	$S_o$	м вод. ст.	20
17	Радиус технологической скв.	$R_c$	м	0,045

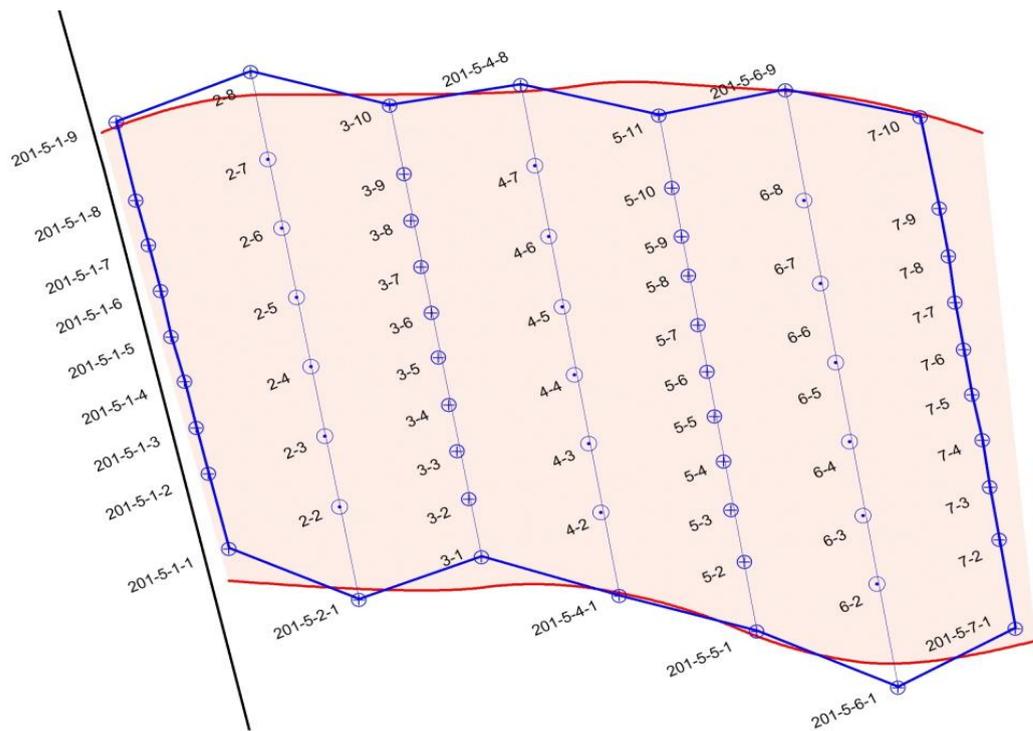


Рисунок 3.2 – Рядный метод вскрытия технологического блока 201-5.

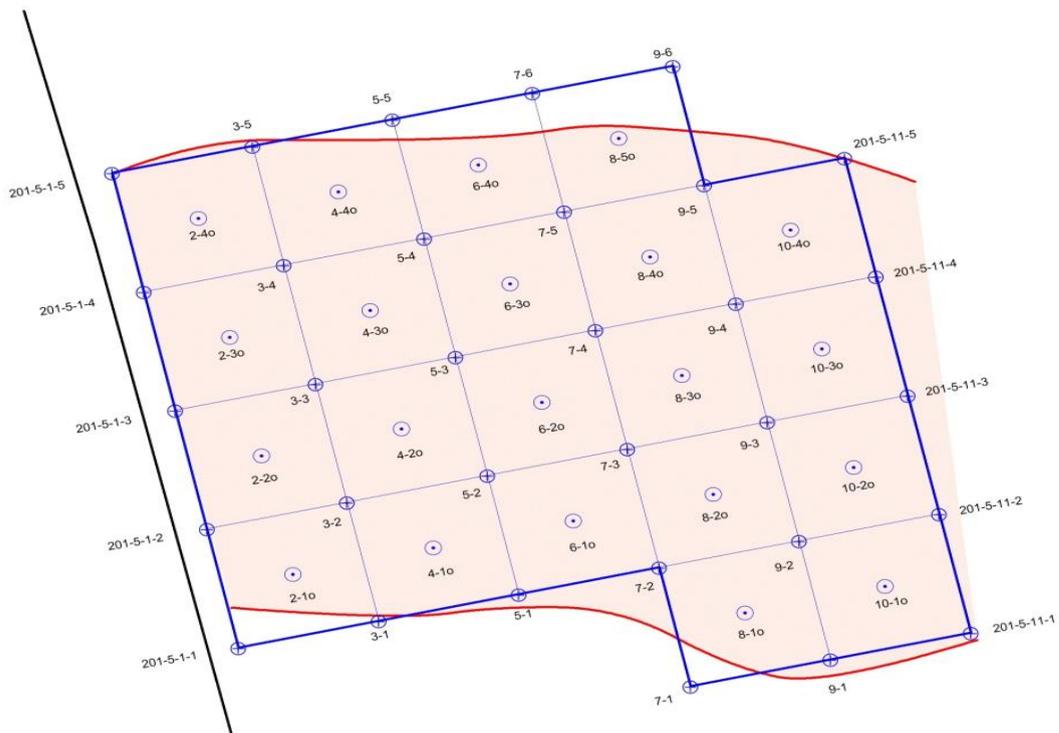


Рисунок 3.3 – Квадратный метод вскрытия технологического блока 201-5

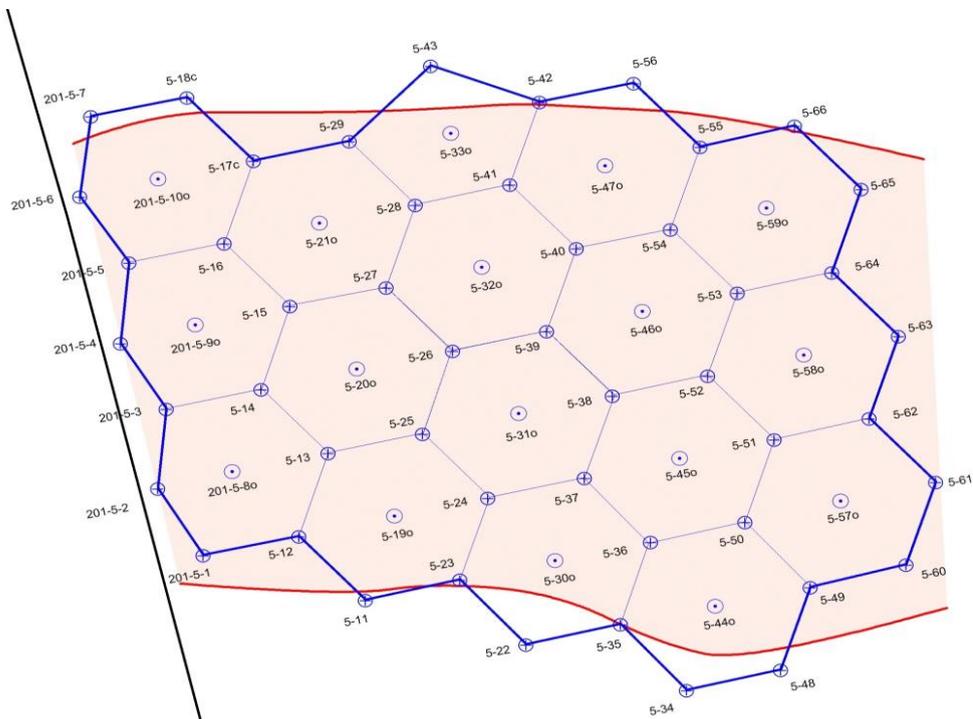


Рисунок 3.4 – Гексагональный метод вскрытия технологического блока 201-5

### 3.3.1 Определение оптимального радиуса $R_0$

В функциях цели параметры  $A_j$  и  $B_j$ , не зависящие от радиуса и площади ячейки, имеют следующий вид, приведённый ниже.

Здесь принято допущение, что функция

$$a_j = \ln \left( \ln R / R_c \right) \quad (3.2)$$

является практически постоянной величиной и не влияет на окончательный результат. Рассмотрим это на простом примере. Пусть  $20 \leq R \leq 60$  м, при  $R_c = 0,045$  м.

Диапазон 20÷80 м для радиуса ячейки практически охватывает все оптимальные решения для существующих условий рудников ПСВ урана для месторождений Казахстана, но в данной работе были выбран диапазон 30÷45 м. Вычислим два крайних значения:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \ln \left( \ln 35 / 0,045 \right) = 1,89 \\ a_2 &= \ln \left( \ln 40 / 0,045 \right) = 1,91 \\ a_3 &= \ln \left( \ln 45 / 0,045 \right) = 1,93, \\ \bar{a} &= \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} = 1,91. \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Нижнее значение  $a_1$  отличается от среднего всего на 5 % и верхнее –  $a_2$  от среднего также на 5 %. Учитывая это обстоятельство можно принимать для упрощения расчётов:

$$a_j = \ln \left( \ln R / R_c \right) \cong 1,91 \quad (3.4)$$

Гексагональная ячейка:

$$A_1 = \frac{S_{\text{пл}}(n_r + 1) \cdot C_{\text{скв}} \cdot H}{2,6} \quad (3.5)$$

$$B_1 = \frac{160 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot f_{\text{п}} \cdot C_3}{\rho_{\text{в}} \cdot \beta_{\text{п}} \cdot \bar{K}_{\text{ф}} \cdot (n_r \cdot S_{\text{н}} + S_{\text{о}}) \cdot \ln \left( \ln R / R_c \right)} \quad (3.6)$$

Условие:  $S_{\text{м}} = 74146 \text{ м}^2$ ;  $H = 224 \text{ м}$ ;  $C_{\text{скв}} = 29 \text{ \$США}$ ;  $K_{\text{ф}} = 1,7 \text{ м/сут}$ ;  $f = 2,1$ ;  $\beta = 0,2$ ;  $S_{\text{н}} = 70 \text{ м}$ ;  $S_{\text{о}} = 10 \text{ м}$ ;  $n = 2,6$ ;  $\ln \left( \ln R / R_c \right) = 1,89$ ;  $\rho_{\text{п}} = 1,7 \text{ т/м}^3$ ;  $C_3 = 4,1 \cdot 10^3$

Решение:

$$A_1 = \frac{74146 \cdot 3,6 \cdot 29 \cdot 224}{2,6} = 666 \ 903345$$

$$B_1 = \frac{160 \cdot 1,7 \cdot 2 \cdot 4,1 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 1,7 \cdot 1,7 \cdot (2,6 \cdot 70 + 20) \cdot 1,91} = 247$$

Решение уравнения 4 и 5 даёт следующий результат для оптимального радиуса ячейки:

$$R_o = \sqrt[4]{\frac{A_j}{B_j}} = \sqrt[4]{\frac{S_{\text{бл}}(n_{\Gamma} + 1) \cdot C_{\text{СКВ}} \cdot H \cdot \beta_{\Pi} \cdot \rho_{\text{В}} \cdot \bar{K}_{\Phi} \cdot (n_{\Gamma} \cdot S_{\text{Н}} + S_o)}{225 \cdot \rho_{\Pi} \cdot f_{\Pi} \cdot C_{\text{э}}}} = \sqrt[4]{\frac{666\,903\,345}{247}} = 40,5$$

(3.7)

R=40м, R<sub>o</sub>=40,5 м;

R=45м, R<sub>o</sub>=41,6м.

Квадратная ячейка:

$$A_2 = \frac{S_{\text{бл}}(n_{\kappa} + 1) \cdot C_{\text{СКВ}} \cdot H}{2} = \frac{74146 \cdot 3,6 \cdot 29 \cdot 224}{2} = 944382772$$

(3.8)

$$R_o = \sqrt[4]{\frac{A_j}{B_j}} = \sqrt[4]{\frac{944382772}{269}} = 43,3 \text{ м}$$

(3.9)

R=40м, R<sub>o</sub>=43,3м;

R=45м, R<sub>o</sub>=44,4м.

Рядная ячейка, общий случай:

$$R_o = \sqrt[4]{\frac{S_{\text{бл}}(n+1) \cdot C_{\text{СКВ}} \cdot H \cdot \beta \cdot \bar{K}_{\Phi} \cdot (n \cdot S_{\text{Н}} + S_o) \cdot (\xi^2 + 0,25)^2 \cdot \ln\left(\ln \frac{R_1}{R_c}\right)}{172,8 \cdot f \cdot \rho_{\Pi} \cdot C_{\text{э}} \cdot (\xi^2 + 0,25)^2 \cdot 2\xi}}$$

(4.0)

Условие:  $S_{\text{М}} = 74146 \text{ м}^2$ ;  $H = 224 \text{ м}$   $C_{\text{СКВ}} = 29 \text{ \$США}$ ;  $K_{\Phi} = 1,5 \text{ м/сут}$ ;  $f = 2,1$ ;  $\beta = 0,2$ ;  $S_{\text{Н}} = 70 \text{ м}$ ;  $S_o = 20 \text{ м}$ ;  $n = 2,6$ ;  $\ln\left(\ln \frac{R_1}{R_c}\right) = 1,89$ ;  $\rho_{\Pi} = 1,7 \text{ т/м}^3$ ;  $C_{\text{э}} = 4,1 \cdot 10^3$

Решение:

$$\xi = \frac{b}{c} = 40/20 = 2, ; \eta = \frac{b}{a} = 2;$$

$$R_o = \sqrt[4]{\frac{74146 \cdot (2,6+1) \cdot 29 \cdot 224 \cdot 0,2 \cdot 1,5 \cdot (2,6 \cdot 70 + 20) \cdot (2^2 + 0,25)^2 \cdot \ln\left(\ln \frac{40}{0,045}\right)}{172,8 \cdot 3 \cdot 1,65 \cdot 2,1 \cdot 10^3 \cdot (2^2 + 0,25)^2 \cdot 2 \cdot 0,8}} = 38,6$$

$R=40\text{м}, R_o=38,6, \text{ м};$

$R=45\text{м}, R_o=39,7 \text{ м};$

$b$  – расстояние между откачным и закачным рядом, м;

$c$  – расстояние между откачными скважинами в ряду, м;

$a$  – расстояние между ЗС в ряду, м

$$b = \frac{R_o \xi}{\sqrt{\xi^2 + 0,25}} = \frac{38,6 \cdot 2}{\sqrt{2^2 + 0,25}} = 37,4; \quad (4.1)$$

$$c = \frac{R_o}{\sqrt{\xi^2 + 0,25}} = \frac{38,6}{\sqrt{,2^2 + 0,25}} = 18,7; \quad (4.2)$$

$$a = \frac{R_o \xi}{\eta \sqrt{\xi^2 + 0,25}} = \frac{38,6 \cdot 2}{2 \cdot \sqrt{,2^2 + 0,25}} = 18,7. \quad (4.3)$$

### 3.3.2 Определение среднего $V_d$ (действительную скорость) фильтрации плоскорадиального потока по любой линии тока

Скорость фильтрации является некоторой фиктивной величиной, так как движение раствора происходит по сообщающимся порам. В этой связи действительная скорость потока будет:

$$\bar{V}_o = \frac{1,157 \cdot K_\phi \cdot (n \cdot S_n + S_o) \cdot \ln\left(\frac{\ln R}{R_c}\right)}{10^2 \cdot R \cdot \bar{K}_n}, \text{ м/сут.} \quad (4.4)$$

Гексагональная ячейка:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \ln\left(\frac{\ln 40,5}{0,045}\right) \approx 1,92 \\ a_2 &= \ln\left(\frac{\ln 41,6}{0,045}\right) \approx 1,921 \\ a_3 &= \ln\left(\frac{\ln 42,5}{0,045}\right) \approx 1,924 \\ \bar{a} &= \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} = 1,92. \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} a_1 &= \left(\frac{\ln 40,5}{0,045}\right) = 6,8 \\ a_2 &= \left(\frac{\ln 41,6}{0,045}\right) = 6,82 \\ a_3 &= \left(\frac{\ln 42,5}{0,06}\right) = 6,85 \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

Квадратная ячейка:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \ln\left(\ln^{43,3}/0,045\right) = 1,93 \\ a_2 &= \ln\left(\ln^{44,3}/0,045\right) = 1,93 \\ a_3 &= \ln\left(\ln^{44,8}/0,045\right) = 1,93 \\ \bar{a} &= \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} = 1,93 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} a_1 &= \left(\ln^{43,3}/0,045\right) = 6,86 \\ a_2 &= \left(\ln^{44,3}/0,045\right) = 6,89 \\ a_3 &= \left(\ln^{44,8}/0,045\right) = 6,90 \end{aligned} \right\}$$

(4.6)

Рядная ячейки:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \ln\left(\ln^{38,6}/0,045\right) = 1,91 \\ a_2 &= \ln\left(\ln^{39,7}/0,045\right) = 1,91 \\ a_3 &= \ln\left(\ln^{40,8}/0,045\right) = 1,92 \\ \bar{a} &= \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} = 1,91 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} a_1 &= \left(\ln^{38,6}/0,045\right) = 6,75 \\ a_2 &= \left(\ln^{39,7}/0,045\right) = 6,78 \\ a_3 &= \left(\ln^{40,8}/0,045\right) = 6,80 \end{aligned} \right\}$$

(4.7)

Условие:  $K_{\Phi} = 1,5$  м/сут;  $n = 2,6$ ;  $\bar{K}_{\Pi} = 0,17$ ;  $S_{\text{H}} = 50$  м вод. ст.;  $S_0 = 12$  м;  $R_0 = 40,5$  м, радиус гексагональной или любой другой ячейки,  $R_c = 0,045$  м.

Решение: по радиусу ячейки – кратчайшей линии тока получим:

Решение:

$$\bar{V}_{\partial} = \frac{1,157 \cdot 1,5 \cdot (2,6 \cdot 70 + 12) \cdot \ln\left(\ln^{40,5}/0,045\right)}{10^2 \cdot 20 \cdot 0,23} = 1,40 \text{ м/сут}$$

для гексагональной ячейки:

$R_0 = 40,1$  м  $V_{\partial} = 1,40$  м/сут.

$R_0 = 41,6$  м  $V_{\partial} = 1,41$  м/сут.

для квадратной ячейки:

$R_0 = 43,3$  м  $V_{\partial} = 1,43$  м/сут.

$R_0 = 44,3$  м  $V_{\partial} = 1,45$  м/сут.

для рядной ячейки:

$R_0 = 38,6$  м  $V_{\partial} = 1,35$  м/сут.

$R_0 = 39,7$  м  $V_{\partial} = 1,35$  м/сут.

### 3.3.3 Выбор оптимального значения Ж:Т

Выбор оптимального Ж:Т значения – одна из важных задач опытных работ для последующей обработки.

Основным элементом КТК являются математические модели, описывающие процессы, протекающие при добыче урана методом подземного скважного выщелачивания (ПСВ).

В случае  $\gamma_n = 1,7 \text{ г/см}^3$  значения  $f$  и  $\beta$  находятся друг с другом в следующем соотношении:

Таблица 3.2 – соотношения между геотехнологическим параметром Ж:Т и коэффициентом  $\beta$

$\beta$	0,75	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,12	0,10
f	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0

Приведённый анализ осуществлён на базе широко известных теперь опытных данных, полученных многими исследователями на лабораторных моделях, в которых реализуется одномерный фильтрационный поток растворителя, характеризующийся одинаковой скоростью фильтрации, как по длине, так и в поперечном сечении потока.

Оценка возможных вариаций значений параметра Ж:Т ( $f$ ) для проектируемого опытно-промышленного участка (в зависимости от изменения коэффициента фильтрации прифильтровой зоны) проведена по формулам:

$$f = \frac{M_{жс}}{M_m} = \frac{\pi \cdot P_{p-p}}{\alpha \cdot p_n \cdot \beta} \quad (4.8)$$

где  $M_{жс} = 2,6$ ,  $M_m = 0,25\phi \cdot (3)$ ;  $P_{p-p} = 1,01 \text{ т/м}^3$ ;  $P_n = 1,7 \text{ т/м}^3$ ;

$$f = \frac{M_{жс}}{M_m} = \frac{3,14 \cdot 1,01}{2,6 \cdot 0,3 \cdot 1,7} = 2,34 \approx 2,3$$

### 3.3.4 Дебит откачной скважины

При изменении данных  $S_K$  от 0 до 2,5 (при этом коэффициент фильтрации в прифильтровой зоне, радиусом 0,2 метров в 2 раза меньше  $K_f$  рудовмещающего пласта) Ж:Т варьируется в пределах от 2,2 до 3,0.

Определим производительность откачной скважины:

$$Q_{oc} = \frac{1,157 \cdot 2\pi \cdot K_{\phi} \cdot M_{\text{э}} \cdot (n \cdot S_{\text{н}} + S_{\text{о}})}{10^2 \left( \ln \frac{R_{\text{о}}}{R_{\text{к}}} + S_{\text{к}} \right)}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (4.9)$$

Условие:  $n=1,8$ ;  $K_{\phi}=1,5$  м/сут;  $M_{\text{э}}=7,5$  м;  $S_{\text{н}}=70$  м;  $S_{\text{о}}=12$  м;  $R_{\text{о}}=40,5$  м;  $R_{\text{к}}=0,045$  м;  $S_{\text{к}}=1,8$ .

Решение:

$$Q_{oc} = \frac{1,157 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 7,5 \cdot (1,47 \cdot 70 + 12)}{10^2 \left( \ln \frac{40,5}{0,045} + 2,4 \right)} \approx 12,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

для гексагональной ячейки:

$R_{\text{о}}=40,5$  м  $Q_{oc}=12,6$  м/сут.

$R_{\text{о}}=44,8$  м  $Q_{oc}=12,1$  м/сут.

для квадратная ячейка:

$R_{\text{о}}=43,3$  м  $Q_{oc}=11,1$  м/сут.

$R_{\text{о}}=44,3$  м  $Q_{oc}=10,79$  м/сут.

для рядной ячейки:

$R_{\text{о}}=38,6$  м  $Q_{oc}=8,71$  м/сут.

$R_{\text{о}}=39,7$  м  $Q_{oc}=9,1$  м/сут.

### 3.3.5 Приёмистость закачной скважины

Закачки являются рабочим реагента в пласт, определяется объёмом смеси, закачиваемой в пласт в единицу времени.

$$Q_{\text{зс}} = \frac{1,157 \cdot 2\pi \cdot K_{\phi} \cdot M_{\text{э}} \cdot S_{\text{н}}}{10^2 \left( \ln \frac{R_{\text{о}}}{R_{\text{к}}} + S_{\text{к}} \right)}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (5.0)$$

Условие:  $S_{\text{н}}=50$  м;  $K_{\phi}=1,5$  м/сут;  $M_{\text{э}}=7,5$  м;  $R_{\text{о}}=41,6$  м;  $R_{\text{к}}=0,045$  м;  $S_{\text{к}}=2,4$ .

Решение:

$$Q_{\text{зс}} = \frac{1,157 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 7,5 \cdot 50}{10^2 \left( \ln \frac{42,5}{0,045} + 2,4 \right)} = 4,43 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

для гексагональной ячейки:

$R_{\text{о}}=42,5$  м  $Q_{\text{зс}}=4,43$  м/сут.

$R_{\text{о}}=40,5$  м  $Q_{\text{зс}}=4,45$  м/сут.

для квадратная ячейка:

$R_{\text{о}}=44,8$  м  $Q_{\text{зс}}=4,3$  м/сут.

$R_{\text{о}}=44,3$  м  $Q_{\text{зс}}=4,28$  м/сут.

для рядной сети:

$R_{\text{о}}=38,6$  м  $Q_{\text{зс}}=4,5$  м/сут.

$R_{\text{о}}=40,8$  м  $Q_{\text{зс}}=4,47$  м/сут.

Некачественные глинистые растворы и отсутствие технических

мероприятий по повышению приёмистости закачных и увеличению дебита в откачных скважинах может привести к кольматации фильтрационных зон, что может повлиять на производительности скважин.

### 3.4 Метод построения и реализации оптимизационных моделей

#### 3.4.1 Определение времени выщелачивания ячейки или блока для гексагональной сети

*Для гексагональной схемы вскрытия:*

$$T_3 = \frac{160 \cdot R_o^2 \cdot \rho_n \cdot f}{\beta \cdot \bar{K}_\phi \cdot (nS_n + S_o) \cdot \ln\left(\ln \frac{R_o}{R_c}\right)}, \text{сут.} \quad (5.1)$$

Условие:  $R_o = 45$  м;  $\rho_n = 1,7$  т/м<sup>3</sup>;  $f = 2$ ;  $\beta = 0,2$ ;  $\bar{K}_\phi = 1,5$  м/сут;  $n = 2,6$ ;  $S_n = 70$  м;  $S_o = 12$  м;  $R_c = 0,045$  м.

Решение:

$$T_3 = \frac{160 \cdot 42,5^2 \cdot 1,7 \cdot 2,2}{0,2 \cdot 9,5 \cdot (2,6 \cdot 70 + 12) \cdot \ln\left(\ln \frac{42,5}{0,045}\right)} = 1395 \text{ сут.}$$

$R_o = 42,5$  м,  $T_3 = 1395$  сут.

$R_o = 40,6$  м,  $T_3 = 1335$  сут.

*Для квадратной схемы вскрытия:*

$$T_3 = \frac{174 \cdot R_o^2 \cdot \rho_n \cdot f}{\beta \cdot \bar{K}_\phi \cdot (nS_n + S_o) \cdot \ln\left(\ln \frac{R_o}{R_c}\right)}, \text{сут.} \quad (5.2)$$

Условие:  $R_o = 44,3$  м;  $\rho_n = 1,70$  т/м<sup>3</sup>;  $f = 2,0$ ;  $\beta = 0,2$ ;  $\bar{K}_\phi = 1,5$  м/сут;  $n = 2$ ;  $S_n = 70$  м;  $S_o = 12$  м;  $R_c = 0,045$  м.

Решение:

$$T_3 = \frac{174 \cdot 43,3^2 \cdot 1,5 \cdot 2}{0,2 \cdot 9,5 \cdot (2 \cdot 70 + 12) \cdot \ln\left(\ln \frac{43,3}{0,045}\right)} = 1889 \text{ сут.}$$

$R_o = 44,3$  м,  $T_3 = 1920$  сут.

$R_o = 43,3$  м,  $T_3 = 1889$  сут.

*Для рядной схемы вскрытия:*

$$T_3 = \frac{144 \cdot R_o^2 \cdot \rho_n \cdot f}{\beta \cdot \bar{K}_\phi \cdot (nS_n + S_o) \cdot \ln\left(\ln \frac{R_o}{R_c}\right)}, \text{сут.} \quad (5.3)$$

Условие:  $R_0=38,6$ ;  $\rho_{п}=1,7\text{т/м}^3$ ;  $f = 2$ ;  $\beta = 0,2$ ;  $\bar{K}_\phi = 1,5$  м/сут;  $n = 2$ ;  $S_H = 50\text{м}$ ;  $S_0=10\text{м}$ ;  $R_c = 0,06\text{м}$ .

Решение:

$$T_3 = \frac{144 \cdot 37,6^2 \cdot 1,7 \cdot 2}{0,2 \cdot 9,5 \cdot (2 \cdot 70 + 12) \cdot \ln\left(\ln \frac{38,6}{0,045}\right)} = 1254 \text{ сут.}$$

$R_0=37,6\text{м}$ ,  $T_3=1254$  сут.

$R_0=38,6\text{м}$ ,  $T_3=1322$  сут.

### 3.4.2 Определение времени закисления ячейки или блока для гексагональной сети

$$T_3 = \frac{160 \cdot R_0^2 \cdot \bar{K}_n}{\bar{K}_\phi \cdot n \cdot S_H \cdot \ln\left(\ln \frac{R_0}{R_c}\right)}, \text{сут.} \quad (5.4)$$

Условие:  $R_0=41,6$ ;  $\bar{K}_n=0,23$ ;  $K_\phi = 1,5$  м/сут;  $n=2,6$ ;  $S_H = 70\text{м}$ ;  $S_0=12$  м;  $R_c=0,045$

Решение:

$$T_3 = \frac{160 \cdot 41,6^2 \cdot 0,23}{1,5 \cdot 2,6 \cdot 70 \cdot \ln\left(\ln \frac{41,6}{0,045}\right)} = 121 \text{ сут.}$$

$R_0=41,6$ , м,  $T_3= 121$  сут.

$R_0=40,6\text{м}$ ,  $T_3= 118$  сут.

*Для квадратной схеме:*

$$T_3 = \frac{174 \cdot R_0^2 \cdot \bar{K}_n}{\bar{K}_\phi \cdot n \cdot S_H \cdot \ln\left(\ln \frac{R_0}{R_c}\right)}, \text{сут.} \quad (5.5)$$

Условие:  $R_0=43,3$  м;  $\bar{K}_n=0,23$ ;  $K_\phi = 1,5\text{м/сут}$ ;  $n=2,6$ ;  $S_H = 50\text{м}$ ;  $S_0=10$  м;  $R_c=0,06$

Решение:

$$T_3 = \frac{174 \cdot 43,3^2 \cdot 0,23}{1,5 \cdot 2,6 \cdot 50 \cdot \ln\left(\ln \frac{43,3}{0,045}\right)} = 142 \text{ сут.}$$

$R_0=43,3,4\text{м}$ ,  $T_3= 142$  сут.

$R_0=44,3\text{м}$ ,  $T_3= 145$  сут.

Для рядной схемы вскрытия при  $b=2a$ , где  $b$  расстояние между рядами ОС и ЗС,  $a$ —расстояние между ОС в ряду

$$T_3 = \frac{144 \cdot R_o^2 \cdot \bar{K}_n}{\bar{K}_\phi \cdot n \cdot S_n \cdot \ln\left(\frac{\ln R_o}{R_c}\right)}, \text{сут.} \quad (5.6)$$

Условие

$\bar{K}_n = 0,23$ ;  $S_n = 70$  м;  $n = 2,6$ ;  $R_c = 0,045$  м;  $K_\phi = 1,5$  м/сут;

Решение:

$$T_3 = \frac{144 \cdot 38,6^2 \cdot 0,23}{1,5 \cdot 1,6 \cdot 70 \cdot \ln\left(\frac{\ln 38,6}{0,045}\right)} = 95 \text{ сут.}$$

$R_0=38,6$ м,  $T_3= 95$  сут.

$R_0=39,7$ м,  $T_3= 97$  сут.

Расчёт расхода кислоты в зависимости от эффективной мощности пласта ( $M_3$ ) и средней продуктивности в ячейке ( $m/M_3$ ) на 1 кг добываемого урана используем следующее соотношение

### 3.4.3 Определение расхода кислоты на 1 кг добываемого урана

$$K = 172e^{-1,1 \frac{\bar{m}}{M_3}}, \text{ кг/кг.} \quad (5.7)$$

Условие:  $\bar{m} = 1,1$  кг/м<sup>2</sup>;  $M_3 = 14$ , м.

Решение:

$$K = 172e^{-0,1 \cdot 0,157} = 81 \text{ кг/кг.}$$

### 3.4.4 Определение среднего содержание урана в ПР по блоку

$$C_{cp} = \frac{P \cdot \varepsilon \cdot 1000}{Q_{ГРМ} \cdot f} =, \text{ мг/дм}^3 \quad (5.8)$$

Условие:  $P=81$ , т;  $Q_{ГРМ}=1828$  тыс. т;  $f=1,1$ ;  $\varepsilon=90\%$ .

$$C_{cp} = \frac{81 \cdot 0,9 \cdot 1000}{1828 \cdot 1,1} = 43,7 \text{ мг/дм}^3$$

Делая расчёт, привожу итог: оптимальной схемой вскрытия для рудника «Мынкудук» по расчётам согласно данным блока № 3а является – рядная сеть, оптимальный радиус является  $R_0=38,6$ . При вскрытии запасов в краевых частях опытных блоков, в случае изменения границ рудных тел (выклинивания или продолжения), следует изменять принятую схему вскрытия. По расчётам можно определить[6], что квадратная сеть и

гексагональная сеть не является оптимальной по всем показателям.

Таблица 3.3 – Расчёт основных геотехнологических показателей опытного блока

№	Основные показатели по блоку	Рядная схема	Гексагональная схема	Квадратная схема
1	Оптимальный радиус ячейки	38,6	41,6	44,3
2	Количество скважин (n)	1.8	2,6	2
3	Время закисления блока	95	131	142
4	Время выщелачивания блока	1254	1395	1889
5	Время отработки блока	3	4	5
6	Среднее содержание U в ПР	35,2 мг/дм <sup>3</sup>		
7	Удельный расход кислоты на 1 кг урана	187 кг/кг		

### 3.5 Сравнение отработанных блоков

Для сравнения мной были выбраны два отработанных блока, которые представлены гексагональной схемой 30x30x45м блок 37-2 и рядной схемой 20x20x45м блок 205-1, из этих схем необходимо выбрать самый оптимальный вариант для поднятия эффективности добычи минерала и снижение себестоимости. Все данные были взяты по факту.

При сравнении будут выбраны данные по:

- бурение;
- степени отработки;
- электроэнергия;
- расход кислоты;
- проведению ремонтно-восстановительных работ.

Для рудника Мынкудук степень извлечение руды является 90%, так как месторождение Мынкудук по классификации ГКЗ относится к палеодолинному типу, гидрогенных урановых месторождений, а по сложности геологического строения (наряду с некоторыми жильными месторождениями) – к 3-й (из 4-х) группе (в отличие от южных гидрогенных урановых месторождений Казахстана, относимых ко 2-ой группе, в этих месторождениях степень извлечения составляет 90%).

Ниже проведён анализ сравнения отработанных блоков по степени отработки при гексагональной блок 205-1 (ГРМ – 1005 тыс.тонн, запасы 95 т, количество скважин: 13 откачных и 40 закачных скважин) и рядной схемой блок 37-2 (ГРМ – 954 тыс.тонн, запас Р – 110 т, количество скважин: 14

откачных и 43 закачных скважин). Время обработки 205-1 блока 24 месяца (750 суток), а 37-2 блока 34 месяца (1020 суток) это показывает не эффективность обработки блоков по гексагональной схемой вскрытия, так как она на 26.4 % выше по времени чем рядная схема. Среднее 1 п.м. бурение стоит 12527.25 тг., в денежном эквиваленте она составляет – 18 000 000 /41 860\$.

Таблица 3.4 – Геотехнологических параметры блоков 205-1 и 37-2

№ п/п	№ техн. Блока	Количество скв. при сооружении				Сред. глуб. скв. (соор) М	Стоимость 1 п. М				Обще сумма млн ТГ
		Отк. скв.	Зак. скв.	Наб. скв.	Экр. скв.		Сумма млн				
							Отк.	Зак.	Наб.	Экр.	
							12527,46	6987,51	6987,51	4634	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	205-1	13	40	1	11	250	40,7	69,9	19,22	12,7	142,5
2	37-2	14	44	2	10	268	47,00	82,4	18,73	12,4	160,5

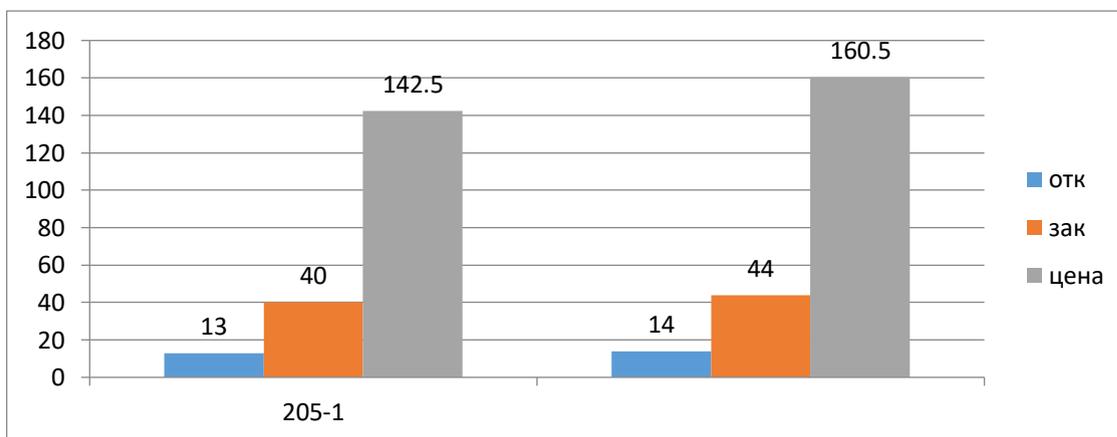


Рисунок 3.5 – Стоимость расхода на бурение

### Технологический блок 37-2

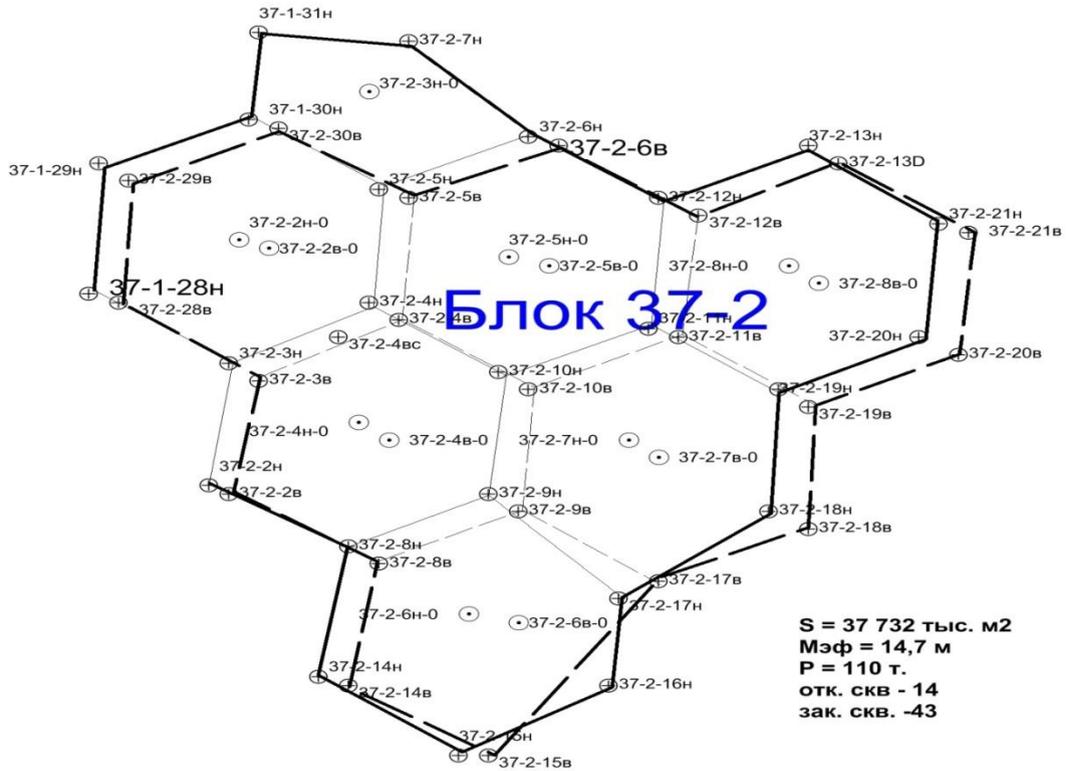


Рисунок 3.6 – Схема вскрытия технологического блока 37-2



Рядная схема (линейная схема) – представляет собой чередование рядов откачных и закачных скважин . Она удобна и эффективна при эксплуатации вытянутых и узких в плане залежей или небольших по площади изолированных рудных тел. Отрицательные стороны – использование её на широких залежах практически невозможно без некоторого завышения Ж:Т, а также необходимости дополнительных мероприятий таких, как изменение потоков, периодические остановки отдельных панелей для соблюдения баланса растворов, блокирование обоих концов откачных рядов закачными скважинами и т.д.

Гексагональная (ячеистая) схема вскрытия наиболее эффективна при отработке широких рудных залежей. Она позволяет эффективно управлять процессом ПСВ, легко расширяется в любую сторону, отличается равномерностью отработки рудного горизонта, наиболее напряжённым гидродинамическим режимом и т.д. Недостаток - для узких, прихотливых залежей мало эффективна.

При изучении материалов на исследуемом месторождении для выбора схемы расположения технологических скважин основными показателями были приняты производительность (м<sup>3</sup>/ч) и частота кольматации скважин.

В ходе исследования были собраны статистические данные работы технологических скважин при гексагональной (таблица 2.1) и рядной схемах (таблица 2.2) расположения.

Таблица 3.5 – Снижение дебита из-за кольматации при гексагональной схеме, блок 37-2

дата	Скв 1	Скв 2	Скв 3	Скв 4	Скв 5	Скв 6	Скв 7	Скв 8	Скв 9
01.04.2018	4,2	9,8	8,9	н/з	5,8	3,4	5,4	н/з	7,1
02.04.2018	4,2	7,8	9	н/з	5,7	3,4	5,3	н/з	7,1
03.04.2018	4,2	7,8	9	н/з	5,7	3,4	5,3	н/з	7,1
04.04.2018	4,2	7,8	9	хрвс	4	н/з	5,3	4,8	7,1
05.04.2018	н/з	7,8	9	5,2	н/з	н/з	5,3	4,7	7,1
06.04.2018	н/з	5,2	9	3	хрвс	н/з	5,3	4,6	5,9
07.04.2018	н/з	7,8	9	3	8	4	5,3	4,5	6,1
08.04.2018	3,2	5,3	9,6	н/з	7,9	8,9	5,2	4,5	5,8
09.04.2018	3,2	н/з	9,6	хрвс	7,9	8,9	5,2	4,6	5,3
10.04.2018	4	н/з	8,5	6	7,9	8,9	5,2	4,6	5,3
11.04.2018	4	хрвс	8,5	6	7,9	8,9	5,2	4,6	5,3
12.04.2018	4,8	7,8	9,6	4,5	6,8	8,9	5,2	4,6	5,3
13.04.2018	4,5	7,6	8,8	4,3	6,3	8,9	5,2	4,6	5
14.04.2018	4,1	7,2	9,6	4,1	5,7	9	5,1	4,1	4,8
15.04.2018	3,8	5,6	9,6	3,9	5,4	9	5	4,1	4,7
16.04.2018	3,8	5,2	9,7	3,8	3,2	9	5,1	4,8	4,5
17.04.2018	3,8	7,8	9,7	3,7	3,2	9	5,1	4,3	3,7
18.04.2018	3,8	7,8	9,7	3,5	3,2	9	5,1	4,3	3,7
19.04.2018	3,5	7,8	9,7	3,5	3,2	9	5,1	4,3	рвр

20.04.2018	3,1	4	8,6	3,4	нз	9	5,1	3,9	нз
21.04.2018	3,1	3,9	9,7	3,3	нз	9	5,1	3,9	хрвс
22.04.2018	3	3,5	8,5	3	хрвс	9	5	3,7	нн
23.04.2018	2,1	нз	8,6	нз	8,3	9,1	5	нз	6,6
24.04.2018	нз	хрвс	8,5	нз	8,3	9,1	5	нз	6,5
25.04.2018	нз	8,4	9,1	нз	8,2	8,9	4,9	нн	6,3
26.04.2018	нз	8,6	8,5	нз	8,2	8,9	4,9	4,1	6,1
27.04.2018	нз	8,6	8,5	нз	8,2	8,9	5	4,1	6,1
28.04.2018	3	9,1	8,2	нз	8,2	9	5	нз	5,3
29.04.2018	3	8,7	10,3	хрвс	8,1	9	5	нз	5,1
30.04.2018	3	8,6	9,6	3,3	8	9	5	хрвс	4,7

Таблица 3.6 – Снижение дебита из-за кольматации при рядной схеме блок 205-1

дата	Скв 1	Скв 2	Скв 3	Скв 4	Скв 5	Скв 6	Скв 7	Скв 8
01.04.2018	7,7	8,8	8,4	7,8	6,4	8	7,6	7
02.04.2018	7,7	8,8	8,4	7,8	6,4	8	7,6	7
03.04.2018	7,7	8,6	8,3	7,8	6,3	8	7,6	7
04.04.2018	7,6	8,7	8,5	7,9	6,3	8	7,6	6,8
05.04.2018	7,6	х/о	8,5	7,8	6,2	8	7,7	6,7
06.04.2018	7,6	х/о	8,5	7,8	6,2	8	7,7	6,7
07.04.2018	хрвс	8,8	8,4	7,1	6,1	8	7,6	6,8
08.04.2018	8	8,6	8,5	7,1	6,1	8	7,5	6,8
09.04.2018	8,3	8,7	8,5	7,1	6,1	8	7,5	6,8
10.04.2018	8	8,6	8,5	7,1	5,9	8	7,5	6,6
11.04.2018	7,7	8,5	8,5	7,1	5,9	8	7,5	6,6
12.04.2018	7,6	8,4	8,5	7,1	5,9	8	7,5	6,6
13.04.2018	7,5	8,3	8,5	7,1	5,9	8,1	7,5	6,6
14.04.2018	7,3	7,5	8,5	7,1	5,9	8	7,5	6,6
15.04.2018	6,3	7,3	8,5	7,1	5,9	8	7,5	6,6
16.04.2018	6,2	6,8	8,5	6,7	5,7	8	7,5	6,8
17.04.2018	6	6,5	8,4	6,7	5,7	8	7,5	6,8
18.04.2018	5,9	6,3	8,3	6,7	5,7	8	7,5	6,8
19.04.2018	5,8	6,5	8,3	6,7	5,7	8	7,5	6,8
20.04.2018	5,7	6,8	8,5	6,7	5,6	8	7,6	6,4
21.04.2018	5,8	7	8,4	6,5	5,6	8	7,5	6,4
22.04.2018	5,7	7,2	8,4	6,5	5,6	8	7,5	6,4
23.04.2018	5,6	7,5	8,4	6,5	5,6	8	7,5	6,4
24.04.2018	5,5	7,4	8,4	6,5	5,4	8	7,5	7,5
25.04.2018	5,6	7,2	8,4	6,5	5,4	8	7,5	7,5
26.04.2018	5,7	7,3	8,4	6,5	5,4	8	7,5	7,5
27.04.2018	нз	7,5	8,4	6,5	5,4	8	7,5	7,5
28.04.2018	хрвс	7	8,4	6,5	5,4	7,9	7,9	7,5

29.04.2018	8	7,2	8,4	6,5	5,4	7,9	7,9	7,5
30.04.2018	8,5	7	8,4	6,5	5,4	7,9	7,9	7,5

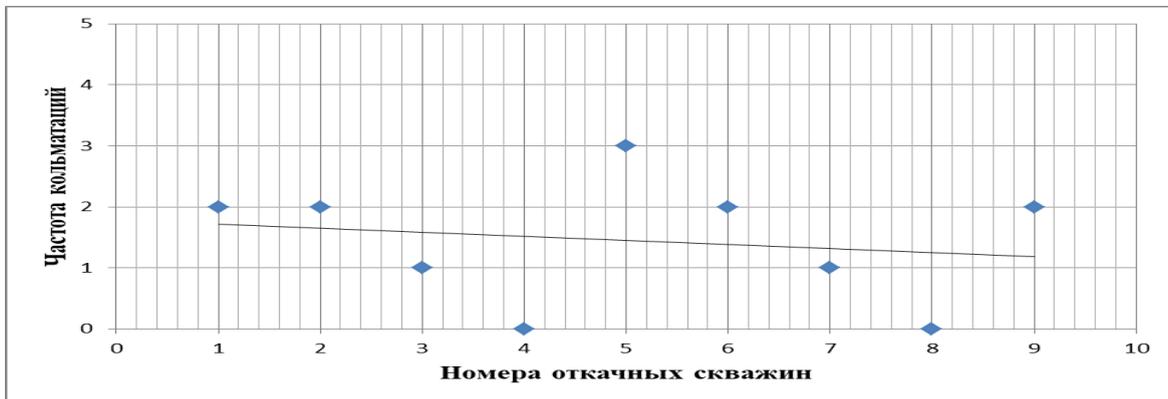


Рисунок 3.8– Гексагональное расположение откачных скважин

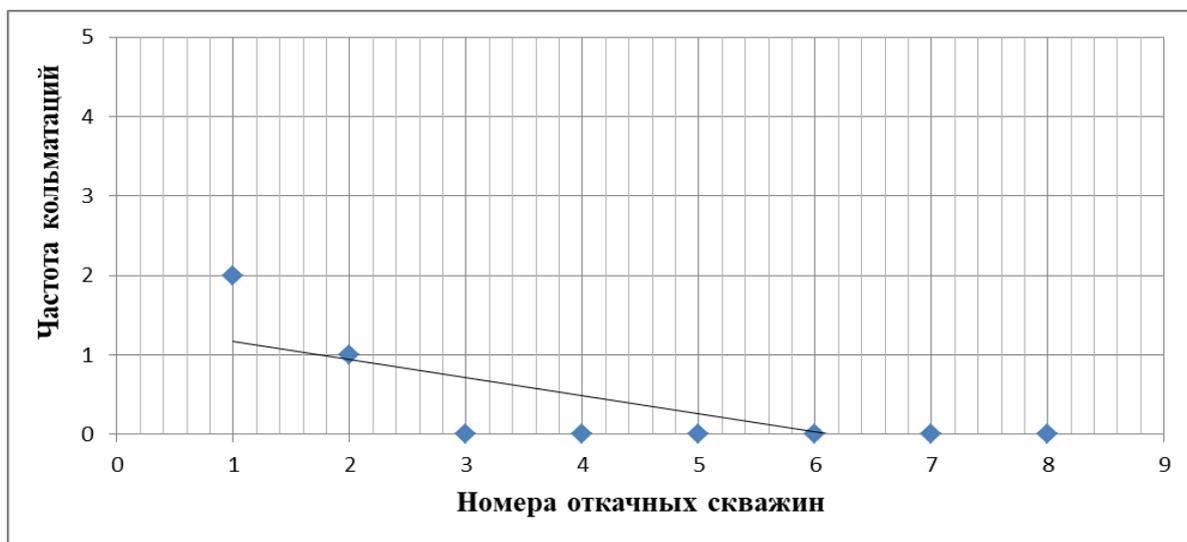


Рисунок 3.9 – Рядное расположение откачных скважин

Как показывают наблюдения, при гексагональной схеме расположения скважин в течение 1 месяца наблюдается снижение дебита семи скважин (рисунок 2.3) от 4% до 61%, а в двух скважинах из девяти скважин кольматации не было. В остальных скважинах частота кольматации в среднем составляет 2 раза, иногда 3 раза с продолжительностью межремонтного цикла их работы до 30 дней.

При применении рядной схемы расположения за тот же период (рисунок 2.4), наблюдается снижение дебита 2-х скважин максимум до 6%, а в шести скважинах остановки работы не было. Частота кольматации в среднем составляет 1 раз, с продолжительностью межремонтного цикла их работы 30 дней.

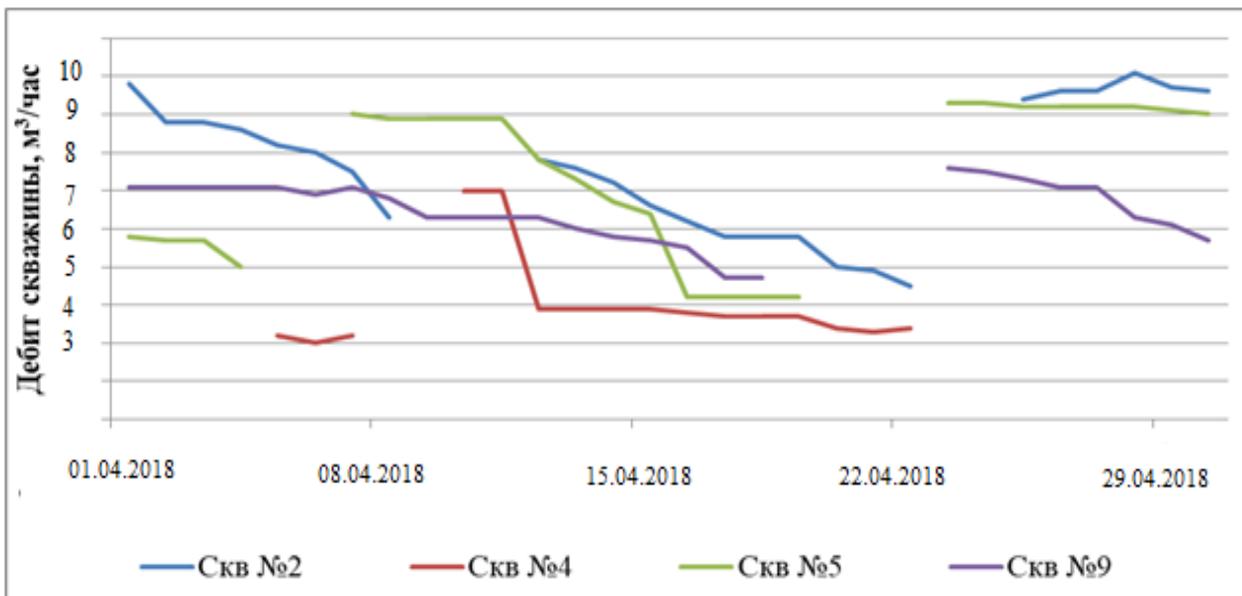


Рисунок 4 – Снижение дебита при гексагональной схеме расположения скважин

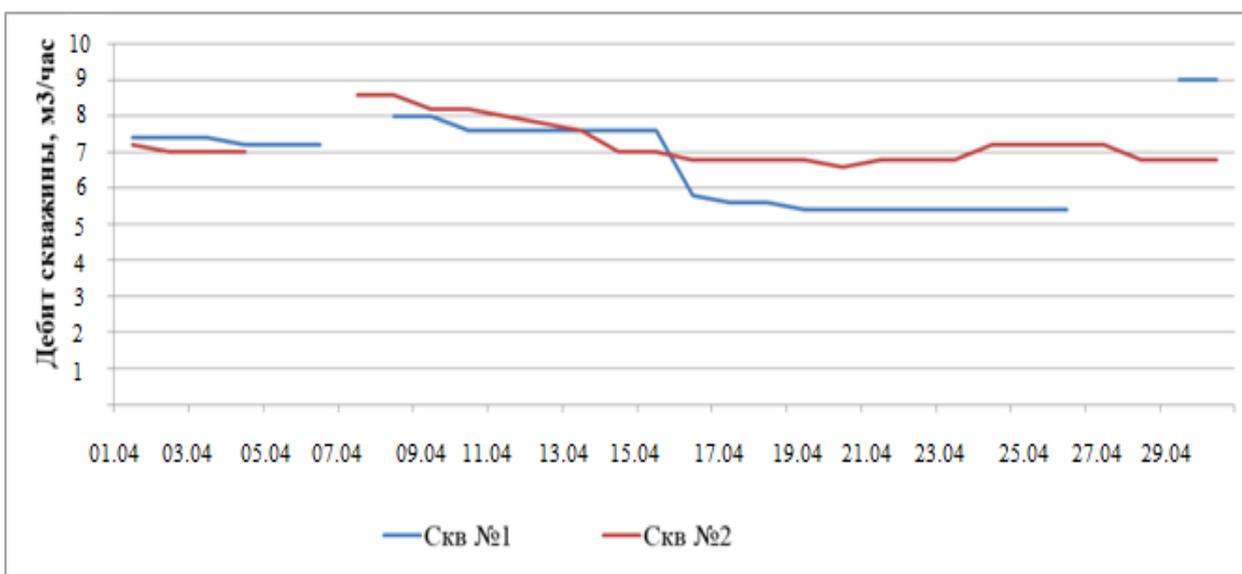


Рисунок 4.1 - Снижение дебита при рядной схеме расположения скважин

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что при горно-геологических условиях данного месторождения эффективным с точки зрения сохранения необходимого дебита скважин

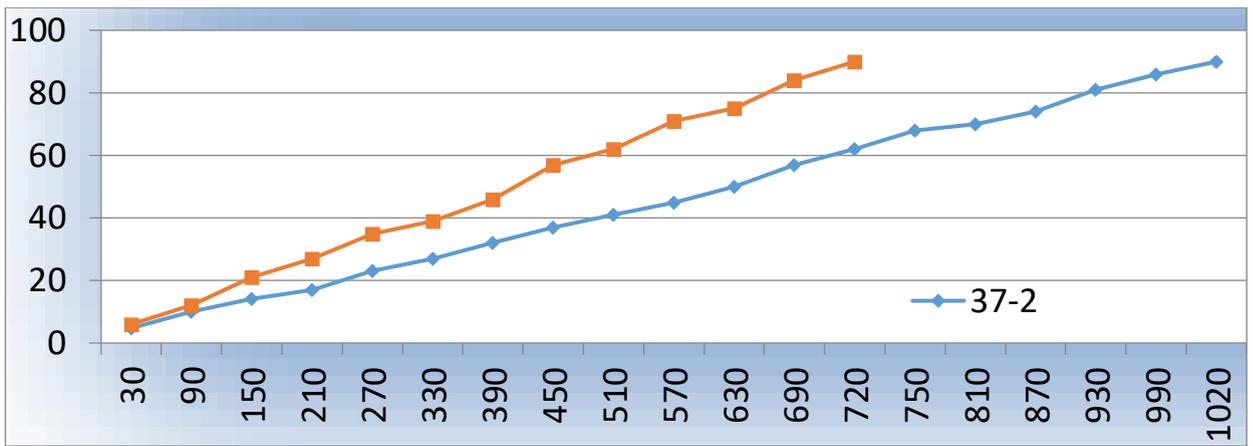


Рисунок 4.2 – График отработки блоков

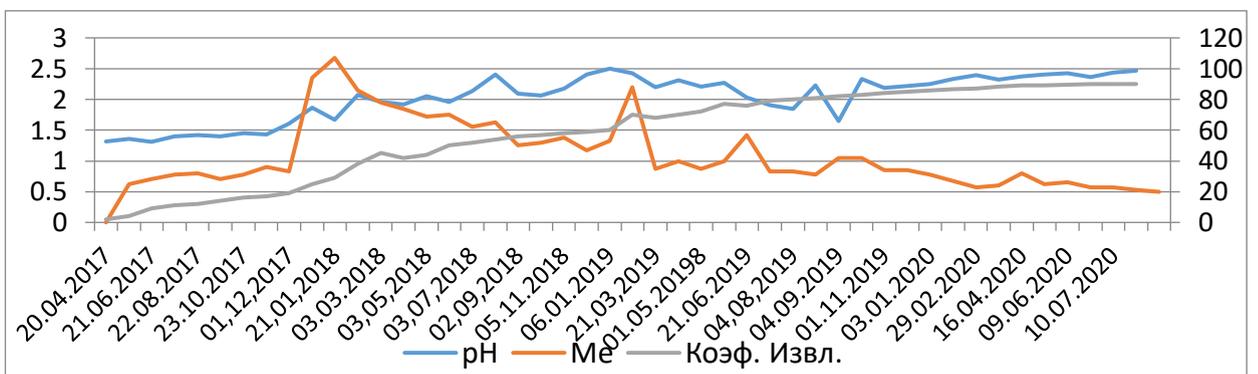


Рисунок 4.3 – График блока 37-2 по содержанию металла, извлечение, и pH

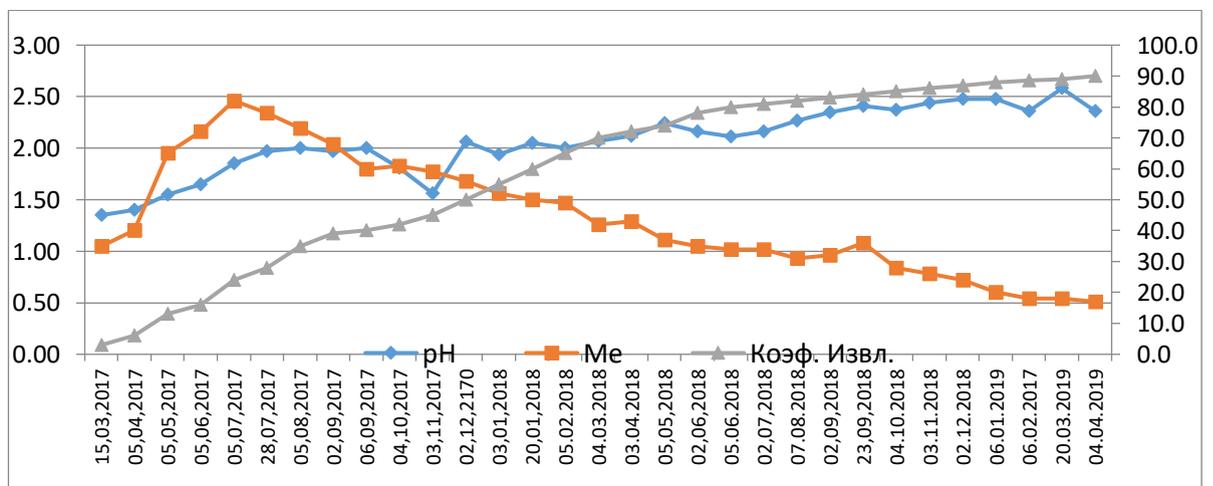


Рисунок 4.4 –График блока 205-1 по содержанию металла, извлечению и pH

Расход электроэнергии для гексагональной и рядной схемой является один из важнейших факторов который валяет на себестоимость продукта, при расчёте было выбрана количество отработанных дней блока, количество откачных скважин, затраты 8 куб. насоса 1 час составляет 7,5 кВт. и

стоимость 1 кВт. энергии 25тг

1) гексагональный  $7,5\text{кВт} \cdot 13(\text{откачка}) \cdot 24\text{час} = 2340\text{кВт/сут}$ ;

2) рядный  $7,5\text{кВт} \cdot 14(\text{откачка}) \cdot 24\text{час} = 2520\text{кВт/сут}$ .

Денежном эквиваленте:

1) гексагональный  $2340\text{кВт/сут} \cdot 1050\text{сут.} \cdot 25\text{тг.} = 61\,425\,000\text{тг}$ ;

2) рядный  $2520\text{кВт/сут} \cdot 750\text{сут.} \cdot 25\text{тг.} = 47\,250\,000\text{тг}$ .

В денежном выражении (учитывая данные) – 14 175 000 тг/32 965\$.

Так, расход серной кислоты на извлечение 1 кг урана, должен составлять для четырехвалентных форм 0,8 кг, а для шестивалентных — 0,4 кг. На практике удельный расход кислоты при выщелачивании урана составляет десятки, и даже первые сотни килограммов на килограмм, что является следствием реакции её с некоторыми порообразующими минералами, как самих руд, так и вмещающих их безрудных проницаемых пород, попадающих в область циркуляции рабочих растворов. Основными кислотоёмкими минералами являются карбонаты (кальцит, доломит, магнезит) и некоторые виды глинистых минералов [6]. При закислении и выщелачивании руды. На данном графике можно увидеть, что расход кислоты на выщелачивание блока 37-2 (34 месяца) больше на 29,4% чем блока 205-1 (24мес.) а в закисление блок 37-2 (3,5 месяца) больше на 14,3% чем 205-1 (3 месяца)., а по времени на выщелачивание блока 37-2 больше на 26,5% чем блока 205-1. В среднем 1 тонна  $\text{H}_2\text{SO}_2$  стоит 23 500тг. Расход серной кислоты на выщелачивание блока 37-2 за 34 месяца составил 7062 тонн, на блоке 205-1 за 24 месяца расход серной кислоты на выщелачивание 6050 тонн отклонение +1012 тонн. В денежном выражении (учитывая данные) - 23 782 000 тг./55 306\$. (1\$=430тг)



Рисунок 4.5 – Расход кислоты на закисление и выщелачивание

Очень часто встречаемый вид кольматации на руднике Мынкудук это механический и химический. По борьбе с ними проводится ремонтно-

восстановительные работы в скважинах. Целью данной работы является восстановление производительности технологических скважин, снизившейся в результате кольматации фильтра и прифильтровой зоны продуктивного пласта, деформации эксплуатационных колонн скважин, а также с целью ликвидации песчаных пробок, уменьшения пескования скважин и др. Во время работы блок 37-2 блока проводилось 290- прокачки, 22-БФА, 1-УРБ и 205-1 блока 215- прокачки, 21-БФА, 1-УРБ, в процентном соотношении между блоками 37-2 и 205-1 25% в сторону блока 37-2. В среднем одна РВР работа стоит 180 000тг. В денежном эквиваленте 11 400 000тг/ 26 511\$.

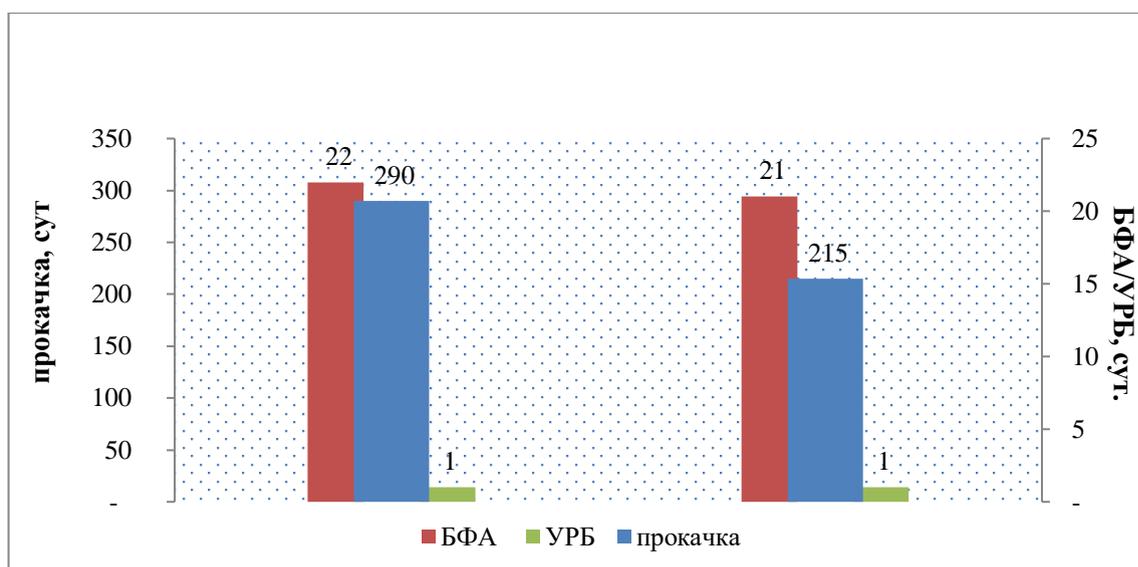


Рисунок 4.6 – Количество РВР за все период работы

Сравнив вышеуказанные данные подводим итог, что для рудника «Мынкудук» самой оптимальной схемой вскрытия является рядная, так как важной части добычи ПВ является снижение себе стоимости. При рядной схеме экономия в денежном выражении составила

$$\mathcal{E}_{\text{общ.}} = \mathcal{E}_{\text{бур}} + \mathcal{E}_{\text{кис.}} + \mathcal{E}_{\text{рвр}} + \mathcal{E}_{\text{эл.эн}} = 53\,215\,000\text{тг.}/123\,644\$.$$

## 4 Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение

Совершенствование техники и технологии при добыче урана показывает повышение эффективности добычных работ и снижение их себестоимости. Целью подземного скважинного выщелачивание является добыча полезного ископаемого для получения максимального эффекта при минимальных затратах.

Примерная структура затрат, при добыче урана на современном геотехнологическом предприятии приведена в таблице

### 4.1 Амортизационные отчисления

Капитальные затраты, вложенные в строительство и оснащение предприятия, входят в состав себестоимости в виде амортизационных отчислений. Величина капитальных вложений определяется планируемой производительностью предприятия по продуктивным растворам и его экономико-географическим положением затрат по трём показателям в долларах

Таблица 4.1 – Капитальные затраты на промплощадке рудника

Статья затрат	СМР	Оборудование	Всего
Подготовка территории строительства	5 000 000		5 000 000
Основные объекты строительства	30 000 000	5 000 000	35 000 000
Объекты энергетического хозяйства	12 000 000	15 000 000	27 000 000
Объекты транспортного хозяйства и связи	2 500 000	25 000 000	27 500 000
Наружные сети и сооружения водоснабжения, канализации, теплоснабжения и газоснабжения	9 000 000	800 000	9 800 000
Благоустройство и озеленение территории (контейнера)	10 000 000		10 000 000
Временные здания и сооружения	30 000 000	10 000 000	40 000 000
Прочие работы и затраты	10 000 000	5 000 000	15 000 000
Непредвиденные затраты 10%	10 000 000		10 000 000
Итого	118 500 000	60ч 800 000	179 300 000
НДС (12%)			21 516 000
Итого, в тенге			200 816 000
Итого, в \$			517 901

Расчёт стоимости горно-подготовительных работ был произведён исходя из стоимости скважин, включающих в себя стоимость бурения и обвязки скважин.

Прочие и непредвиденные расходы в размере 10% от затрат от общей стоимости затрат

## 4.2 Стоимость горно-подготовительных работ

В стоимость горно-подготовительных работ входят затраты на бурение, на оснащение и на обвязку технологических скважин. А также в горно-подготовительные работы могут включаться затраты реагентов на стадии закисления и выщелачивание технологических блоков. Из опыта и теории известно [8, 9], что для наиболее распространённых схем расположения технологических скважин соотношение закачных скважин и откачных скважин в ячейке равно в среднем для:

- гексагональной:  $n = 2,6$ ;
- квадратной:  $n = 2,0$ ;
- прямоугольной при соосном или шахматном расположении закачных (ЗС) и откачных (ОС):  $n = 1,6 \div 1,7$ .

Следовательно, общее число ЗС и ОС в любом блоке составит для любой ячейки:

для гексагональной  $R=41,6\text{м.}$ :

$$N = \frac{S_{\text{бл}}}{S_{\text{я}}}(n+1) = \frac{74146 \cdot 3,6}{5434} = 50 \quad (5.9)$$

$R=41,6\text{м}$   $N=49$

$R=40,5\text{м}$   $N=49$

для квадратной:

$R=43,3\text{м}$   $N=56$

$R=44,4\text{м}$   $N=56$

для прямоугольной рядной сети:

$R=38,6\text{м}$   $N=44$

$R=39,7\text{м}$   $N=44$

Площадь одной ячейки для прямоугольной рядной сети:

$$S_{\text{я}} = 1,6 \cdot R^2 = 1,6 \cdot 38,6^2 = 2383 \text{ м}^2 \quad (6)$$

$$S_{\text{я}} = 1,6 \cdot 39,7^2 = 2522 \text{ м}^2$$

где:  $C_{\text{скв}}$  – стоимость 1 м готовой скважины с учетом оснастки, \$/м;

$H$  – глубина скважины, м;

$S_{\text{я}}$  – площадь одной ячейки:

для гексагональной:

$$\begin{aligned} S_{я} &= 2,6 \cdot R^2 = 2,6 \cdot 40,5^2 = 4265 \text{ м}^2 \\ S_{я} &= 2,6 \cdot 41,6^2 = 4499,5 \text{ м}^2 \end{aligned} \quad (6.1)$$

для квадратной:

$$\begin{aligned} S_{я} &= 2,0 \cdot R^2 = 2 \cdot 43,3^2 = 3749 \text{ м}^2 \\ S_{я} &= 2,0 \cdot 44,4^2 = 3942,7 \text{ м}^2 \end{aligned} \quad (6.2)$$

Отсюда затраты на горно-подготовительные работы для любой сети составляют:

для гексагональной  $R=41,6\text{м.}$ :

$$J_1(\mu_j, R) = \frac{S_{\text{бл}}(n+1)}{S_{я}} C_{\text{скв}} \cdot H = \frac{74146 \cdot 3,6 \cdot 29 \cdot 240}{5434} = 341885 \$ \quad (6.3)$$

$$R=41,6 \text{ м. } J_1(\mu_j, R) = 341\ 885 \$$$

$$R=40,5 \text{ м. } J_1(\mu_j, R) = 367\ 808 \$$$

для квадратной:

$$R=43,3 \text{ м. } J_1(\mu_j, R) = 262\ 974 \$$$

$$R=44,4 \text{ м. } J_1(\mu_j, R) = 285\ 105 \$$$

для прямоугольной рядной сети:

$$R=38,6 \text{ м. } J_1(\mu_j, R) = 266\ 791 \$$$

$$R=39,7 \text{ м. } J_1(\mu_j, R) = 269\ 119 \$$$

### 4.3 Основные технико-экономические показатели на отработку опытного блока 201-5

Эксплуатационные расходы включают в себя затраты реагентов на выщелачивание, электроэнергию на подъем и транспортировку растворов, реагентов, электроэнергию на переработку продуктивных растворов, а также прочие условно постоянные затраты.

Общий расход серной кислоты во время закисления технологического блока определяется и зависит от кислотоёмкости породы и площади блока:

$$Z_{\text{зак}} = R_{\text{зак}} \cdot \rho \cdot M_{\text{э}} \cdot S \cdot \text{Ц}_{\text{к}} \quad (6.4)$$

где  $R_{\text{зак}}$  – масса кислоты, затраченная на закисление одной тонны горнорудной массы, (кг/т);

$S$  – площадь блока,  $\text{м}^2$ ;

$M_э$  – эффективная мощность блока, м;  
 $\rho$  – объёмная масса руды, т/м<sup>3</sup>;  
 $\Pi_K$  – стоимость одного килограмма кислоты.

Решение:

$$Z_{зак} = 154 \cdot 1.70 \cdot 10 \cdot 74176 \cdot 2,2\$ = 46\ 820\$$$

Затраты реагентов на выщелачивание можно определить исходя из массы добытого урана  $mU$ :

$$Z_{выщ} = mU \cdot P_K \Pi_K + P_O \Pi_O \quad (6.5)$$

где  $P_K$  ( $P_O$ ) – удельный расход кислоты (окислителя) на извлечение единицы массы урана (кг/кг);

$\Pi_O$  – стоимость одного килограмма окислителя.

Решение:

$$Z_{выщ} = 4,08 \cdot (91,606 + 350) = 1802\$$$

Затраты на переработку продуктивных растворов и получение концентрата урана полагаются пропорциональными массе урана:

$$Z_{пер} = mU \cdot \Pi_{пер} \quad (6.6)$$

где  $\Pi_{пер}$  – стоимость переработки одного килограмма урана.

$$Z_{пер} = 4,08 \cdot 365 = 1489\$$$

Затраты на подъем и транспортировку растворов можно принять пропорциональными объему рабочих растворов:

$$Z_{раст} = WP_{эл} \cdot \Pi_{эл} \quad (6.7)$$

где  $P_{эл}$  – расход электроэнергии на подъем и транспортировку одного м<sup>3</sup> технологического раствора, м<sup>3</sup>/кВт·ч;

$\Pi_{эл}$  – стоимость одного кВт·ч электроэнергии.

$$Z_{раст} = 24 \cdot 7 \cdot 23 = 5\ 864 \text{тг.} / 387,35 = 15,1\$$$

Прочие условно постоянные затраты можно принять пропорциональными времени отработки эксплуатационных блоков:

$$Z_{проч} = \Pi_{проч} t \quad (6.8)$$

где  $\Pi_{проч}$  – стоимость прочих условно постоянных затрат за единицу времени (месяц, год);

$t$  – время отработки блока.

$$Z_{проч} = 600\ 000 \cdot 6,1 = 3\ 660\ 000 \text{тг.} / 387,35 = 9449 \$$$

Таблица 4.2 – Расход химреагентов и материалов

Потребление	Цена, тенге/ед. изм.	Удельные затраты на 1кг U	Расход материалов в тоннах на 1000 т	Удельная стоимость материалов на 1000 т, тыс. тенге
Серная кислота, т				
<i>на добычу</i>	4,38	95,0	95 000	324 950
<i>в т.ч. на выщелачивание</i>	4,38	95,0	95 000	301 500
<i>на переработку</i>	4,38	3,0	3 000	6 700
Аммиачная селитра	25	4,0	4 000	69 390
Каустическая сода	207	1,0	1 000	47 800
Ионообменные смолы	1200	0,05	50	50 276
Сетка из нержавеющей стали 12x18H10T 0,6x0,25	6500	0,001	1	4 174
Фильтр полотно	1500	0,0025	2,5	2 065
Итого				701 115 000
				1 810 030 \$

Таблица 4.3 – Расход электроэнергии, воды и пара

Наименование	Потребность в год ед. изм.	Цена, в тенге	Удельная стоимость, тыс. тенге
Электричество, кВт	3 500 000	6,48	15 501,9
<i>в т.ч. на добычу</i>	1 600 000	6,48	6 484,5
<i>в т.ч. на переработку</i>	1 500 000	6,48	6 091,5
<i>в т.ч. на АБК</i>	745 000	6,48	2 925,9
Вода, м <sup>3</sup>	70 000	500	12 800
Пар, Гкал	1 410	2 087,41	9 898,2
Итого			85 538 848.10
			220 831\$

Себестоимость добычи урана уменьшается с ростом: продуктивности пласта ( $p$ ), отношения метропроцента к эффективной мощности продуктивного  $M$  горизонта ( $mc/M$ ), средней производительности блока по урану ( $BU$ ), средней концентрации урана в продуктивных растворах ( $CU$ ), площади блока, приходящейся на одну технологическую скважину ( $S/n_c$ ). Возрастание глубины скважин ( $H$ ), удельных расходов кислоты ( $P_K$ ) и окислителя ( $P_O$ ), массы кислоты, затраченной на закисление одной тонны горнорудной массы ( $R_{зак}$ ) приводит к повышению себестоимости.

На значения многих из этих показателей влияют как природные факторы, так и технологические решения, принимаемые на стадии проектирования и в ходе отработки блоков (расположение и режимы работы технологических скважин, концентрации кислоты и окислителя на разных стадиях отработки и др.).

Выбор оптимальных технологических решений зависит не только от геотехнологических параметров блоков, но и от существующих на данный момент стоимостей сооружения одного метра скважины, кислоты, окислителя, электроэнергии и т.д.

Увеличение площади элементарной ячейки приводит к снижению капитальных затрат, вследствие возрастания площади блока, приходящейся на одну технологическую скважину. Вместе с тем, увеличиваются эксплуатационные затраты из-за роста времени отработки блока, также происходит повышение удельных расходов реагентов, поскольку возрастает время контакта технологических растворов с породой. В результате у функции, выражающей зависимость себестоимости добычи урана от площади элементарной ячейки, возникает минимум. Положение минимума, соответствующее оптимальной площади элементарной ячейки, зависит как от геотехнологических условий обрабатываемой залежи, так и от стоимостей сооружения одного метра скважины, одного килограмма кислоты и окислителя.

#### 4.4 Основные технико-экономические показатели

Таблица 4.4 – Основные технико-экономические показатели

Наименование показателя	Количество
<b>Мощность предприятия, тонн U/год</b>	636
Удельный расход на 1 тонну урана:	
- электроэнергия, тыс. кВт/час	24 186,9
- дизтопливо, тонн	1,129
- вода, м <sup>3</sup>	45,654
- серная кислота, тонн	16 500
- ионообменные смолы, тонн	50
- аммиачная селитра, тонн	3 500
<b>Общая площадь:</b>	119172,5
- ЦППР, м <sup>2</sup>	40300
- полигона, м <sup>2</sup>	78872,5
<b>Общая численность персонала:</b>	
- списочная, чел	300
- явочная, чел	150
<b>Общая стоимость строительства, тенге</b>	3 166 632 812
USD, в том числе:	8 166 687
- СМР, тенге	2 225 085 346
USD	5 738 454
- оборудование, тенге	718 350 466
USD	1 852 612
- прочие затраты, тенге	213 197 000
USD	549 831

Продолжение таблицы 4.4

Стоимость ГПР, тенге	490 563 712
USD	1 265 155
Продолжительность строительства, год	6
Себестоимость 1 кг U в концентрате, тенге	2000.58
USD	5.2
Себестоимость 1 кг закиси окиси U, тенге	7 710.00
USD	19.9

Запишем эксплуатационные затраты за весь период отработки блока в виде:

$$J_2 = J_2 (R), \$$$

$$J_2 (R) = T_3 \cdot C_3, \$, \quad (6.9)$$

где  $C_3$  – суточные эксплуатационные затраты по блоку, которые складываются из затрат на электроэнергию, реагенты, различные материалы, заработную плату и т.д., \$/сут;  $T_3$  – время отработки запасов металла в блоке до проектного коэффициента, сут. [4].

$$J_2 (R) = 1122 * 2,1 * 10^3 = 2\,356\,200 \$,$$

В данной формуле было посчитана самая оптимальные схема и данные по отработке блока для рудника «Мынкудук», остальные расчёты не будут приведены так как экономически не рентабельны. При отработке блока рядной схемой эксплуатационные затраты будет составлять 2 356 200\$.

#### 4.5 Организация труда и управление производством

Производственная деятельность комплекса ПВ характеризуется рядом особенностей трудового процесса.

Во-первых, диапазон воспроизводимых работ отмечается широким спектром: бурение скважин, погрузочно-разгрузочные работы с транспортировкой и химико-технологическая переработка растворов.

Во-вторых, необходимость соблюдения правил техники безопасности при работе с токсичными и радиоактивными веществами.

Режим работы принимается исходя из обеспечения непрерывной круглосуточной работы полигона ПВ.

Таблица 4.5 – Режим работы

Для сменного персонала, занятого во вредных Условиях труда:	Длительность
продолжительность смены	12 ч.
количество смен	4 (2 смены в сутки)
времени за неделю	36 ч.
количество рабочих дней в году	230

Для персонала, занятого в дневную смену во вредных условиях труда:	Длительность
продолжительность смены	12 ч
времени за неделю	84 ч
количество рабочих дней в году	255

Таблица 4.6 – Штатное расписание участка геотехнологического поля

Наименование профессий	Разряд	Явочная численность		Количество численности
		В смену	В сутки	
Начальник участка	ИТР	1	1	1
Инженер-геотехнолог	ИТР	1	1	2
Инженер-гидрогеолог	ИТР	1	1	2
Мастер по РВР	ИТР	1	1	2
Электромеханик	рабочие	1	1	2
Оператор УГТП	рабочие	2	2	4
Слесарь по ремонту тех. оборудования	рабочие	3	3	6
Газоэлектросварщик	рабочие	2	2	4
Электрослесарь	рабочие	2	2	4
Оператор по РВР	рабочие	2	2	4
ИТОГО:				31
ИТР				7
Рабочие				24

Таблица 4.7 – Оплата труда персонала

Заработная плата	150 152 тенге
Социальный налог и социальные отчисления	100 000 тенге

Экономическая оценка деятельности предприятия является разделением затрат на условно постоянные (не зависящие от объемов добычи) и условно переменные, а также использование системы экономических оценок по технологической принадлежности затрат.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей магистерской диссертации дано решение актуальной проблемы при подземном скважинном выщелачивании урана, а именно, совершенствование метода выбора схем вскрытия и параметров технологических скважин при отработке урановых залежей при сложных горно-геологических условиях.

В результате проведенных исследований и обработки данных можно сделать следующее заключение:

1. Месторождение Мынкудук было оценено как крупный промышленный объект, по классификации ГКЗ относится к палеодолинному типу гидrogenных урановых месторождений, а по сложности геологического строения (к 2-й группе).

2. До настоящего времени из-за отсутствия универсальной методики, выбор схем вскрытия и определение параметров технологических скважин осуществлялось по аналогии или на основании опытных работ.

3. Рассматриваемый алгоритм в построении математической модели с подсчетом геотехнологических параметров, принимаемый для расчета схем вскрытия технологических блоков опирается: на оптимальный радиус (для гексагональной, квадратной и рядной ячеек), Ж/Т, время закисления и выщелачивания, средняя действительная скорость фильтрации ( $V_d$ ), расходы кислоты на 1 кг добываемого урана, среднее содержание металла в ПР. При расчётах было выявлено, что для рудника Мынкудук оптимальной схемой вскрытия при отработке урановых залежей является рядная схема с оптимальным радиусом  $R_0=38.6$  м, в том числе: расстояние между рядами 40 м, между скважинами в рядах 20 м (20x20x40 м). Данная работа дополняет и дает математические расчеты с подтверждением эффективности и точности опытных работ.

4. При сравнении двух блоков, отработанных по гексагональной и рядной схемам вскрытия по нижеуказанным статьям: электроэнергия, степень отработки, расход кислоты, проведение ремонтно-восстановительных работ, позволила установить эффективность рядной схемы вскрытия, при этом экономия в денежном выражении составила 53,2 млн тенге / \$123 720.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

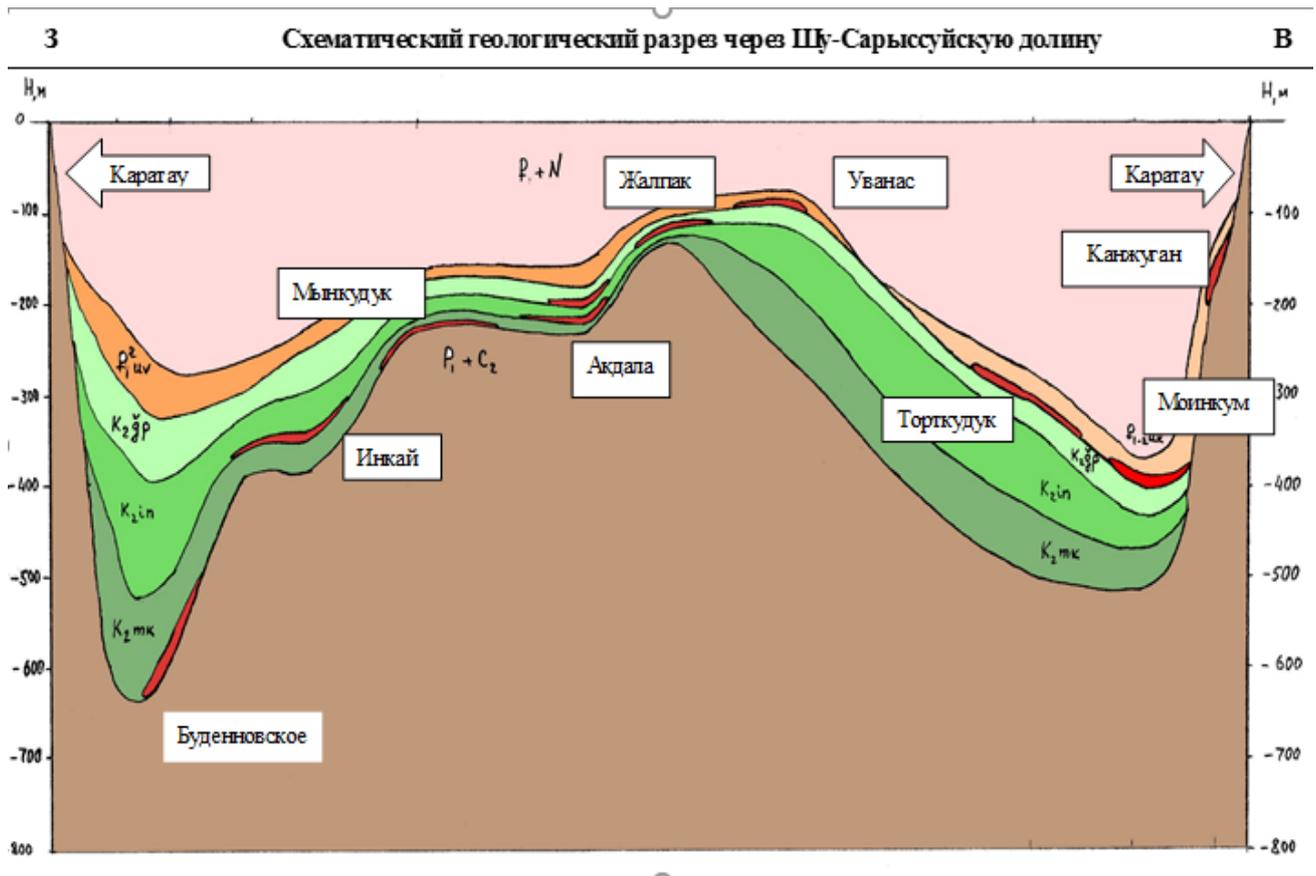
- 1 [https://www.kazatomprom.kz/ru/page/o\\_nas](https://www.kazatomprom.kz/ru/page/o_nas)
- 2 Справочник месторождений Казахстана <http://info.geology.gov.kz/ru/informatsiya/spravochnik-mestorozhdenijkazakhstana/tverdye-poleznye-iskopaemye/item/%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D0%B7%D0%B1%D0%B0%D0%B9-2>
- 3 Пересчет запасов месторождение Мынкудук по кондициям для ПВ, Степногорск, 1988.
- 4 Язиков В.Г., Забазнов В.Л., Петров Н.Н., Рогов Е.И., Рогов А.Е. / Геотехнология урана на рудниках Казахстана. Алматы, 2001.
- 5 Язиков В.Г. / Особенности изучения геотехнологических свойств руд и геотехнологических условий гидрогенного типа, проектирование комплекса работ при подземном скважинном выщелачивании металлов: учеб. пособие, ТПУ, 2014.
- 6 Рогов Е.И., Язиков В.Г., Рогов А.Е. / Математическое моделирование в горном деле. Алматы, 2002. -224 с.
- 7 Веселов Л.Н., Садонин В.Г. / Физико–химические основы и гидродинамика процесса подземного выщелачивания. М.: Атомиздат, 1979.
- 8 <https://egov.kz/cms/ru/law/list/P030000772>
- 9 Кодекс Республики Казахстан от 9 января 2007 года № 212-III «Экологический кодекс Республики Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 28.10.2019)
- 10 Закон Республики Казахстан от 28 февраля 2004 года № 528-III о безопасности и охране труда(с изменениями и дополнениями по состоянию на 29.12.2006 г.)

## ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В ДИССЕРТАЦИИ И СПИСОК СОКРАЩЕННЫХ СЛОВ

- ПСВ – подземное скважинное выщелачивание;  
ОПВ – опытно промышленное выщелачивание;  
ЗЛРТ – зона локализации рудного тела;  
ГРМ – горнорудная масса;  
ЗС – закачная скважина;  
ОС – откачная скважина;  
ВР – выщелачивающий раствор;  
ПР – продуктивный раствор;  
ТР – технологический раствор;  
РВР – ремонтно-восстановительные работы;  
 $V_{\phi}$  – скорость фильтрации;  
 $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации;  
ЗПО – зона пластового окисления;  
 $R_0$  – оптимальный радиус ячейки, м;  
 $R_1$  – приближенный радиус ячейки, м  
 $f$  – отношение Ж:Т;  
 $a$  – расстояние между закачными скважинами  
 $b$  – расстояние между рядами  
 $c$  – расстояние между откачными скважинами  
 $\xi$  – отношение расстояния между рядами к расстоянию между откачными скважинами в ряду  
 $\beta$  – отношение скорости выщелачивания к средней скорости фильтрации раствора;  
 $Q_{отк}$  – дебит откачной скважины, м<sup>3</sup>/час;  
 $Q_{зак}$  – приемистость закачной скважины, м<sup>3</sup>/час;  
 $T_{э}$  – время эксплуатации, лет;  
 $T_{зак.}$  – время закисления, дней;  
 $C_{ср}$  – среднее содержание урана в продуктивных растворах, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $C_{max}$  – максимальное содержание урана в продуктивных растворах, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $S_k$  – показатель скин-эффекта;  
 $C'$  – кинетический коэффициент, характеризующий время достижения максимума металла в ПР, лет;  
 $C_1$  – параметр, определяющий кинетику процесса выщелачивания урана в ячейке, равный  $0,368/C_1$ ;  
 $C_{скв}$  – стоимость 1 пог. м технологической скважины, долл. США/м;  
 $C_э$  – суточные эксплуатационные расходы по руднику, долл. США/сут  
 $S_n$  – напор на закачных скважинах, м вод. ст.  
 $S_o$  – депрессия на откачных скв., м вод. ст.



# ПРИЛОЖЕНИЕ В



**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на магистерскую диссертацию

Джолдасов Рамазан Жанабекулы

Специальность 7М07218 – Геология и разведка месторождений твердых полезных  
ископаемых

Тема: «Особенности геологического строения месторождения Восточный Мынкудык и  
совершенствование системы отработки урановых залежей»

В магистерской диссертации дано решение актуальной проблемы при подземном скважинном выщелачивании урана, а именно, совершенствование метода выбора схем вскрытия и параметров технологических скважин при отработке урановых залежей при сложных горно-геологических условиях.

В работе четко определены объект, предмет, цель и задачи исследования, сформулирована гипотеза, обоснованы теоретические основы исследования, раскрыты новизна, теоретическая и практическая значимость. Методологический уровень исследования, его стратегия, выбор теоретического анализа, заслуживают положительной оценки. Автор работы основательно и многосторонне исследует поставленные задачи.

Анализ содержания работы, позволяет констатировать, что автор корректно использует современную методологию научных исследований, аргументирует собственные выводы результатами исследований других специалистов, фактами и примерами из практики, статистическими данными, логическими доводами и расчетами, что обеспечивает достаточно высокую степень обоснованности основных положений диссертации. Основными особенностями работы являются: расчеты могут применяться при вскрытии запасов для опытно-эксплуатационных блоков месторождения урана.

Тема магистерской диссертации раскрыта полностью и составлена в соответствии со всеми требованиями.

Магистерская диссертация Джолдасов Рамазан может быть рекомендован к защите с заслуженной высокой оценкой 97%, с присвоением ему академической степени магистра техники и технологии по специальности 7М07218 – Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых.

**Научный руководитель:**

Сениор-лектор, доктор PhD



Кембаев М.К.

«27» марта 2021г.

**ОТЗЫВ**  
**Производственный руководителя**  
**на магистерскую диссертацию**

Джолдасов Рамазан Жанабекулы

Специальность 7M07218 – Геология и разведка месторождений твердых полезных  
ископаемых

Тема: «Особенности геологического строения месторождения Восточный  
Мынкудык и совершенствование системы отработки урановых залежей»

Тема магистерской диссертации Джолдасова Р.Ж. является актуальной на сегодняшний день, так как в настоящее время перспективы Казахстана, как одного из основных депозитариев урана, в первую очередь связаны с отработкой пластово-инфильтрационных месторождений урана с применением способа ПСВ. Наряду с этим многим проблемы и вопросы нуждаются в решении и совершенствовании.

В работе четко определены объект, предмет, цель и задачи исследования, сформулирована гипотеза, обоснованы теоретические основы исследования, раскрыты новизна, теоретическая и практическая значимость. Методологический уровень исследования, его стратегия, выбор теоретического анализа, заслуживают положительной оценки. Автор работы основательно и многосторонне исследует поставленные задачи.

Анализ содержания работы, позволяет констатировать, что автор корректно использует современную методологию научных исследований, аргументирует собственные выводы результатами исследований других специалистов, фактами и примерами из практики, статистическими данными, логическими доводами и расчетами, что обеспечивает достаточно высокую степень обоснованности основных положений диссертации.

Тема магистерской диссертации раскрыта полностью и составлена в соответствии со всеми требованиями.

Магистерская диссертация Джолдасов Р.Ж. имеет стройную композицию, заданную логикой исследования и поставленным задачами. Основными особенностями работы являются: расчеты могут применяться при вскрытии запасов для о том, что перед нами самостоятельное завершённое исследование, новаторское и оригинальное как по выдвигаемым в нем проблемам, так и по способам их решения, которое является несомненным вкладом в развитие урановой промышленности. Джолдасов Р.Ж. заслуживает присвоения квалификации «магистр» и может быть допущен к защите выпускной квалификационной работе.

**Производственный руководитель:**

Ведущий менеджер –геотехнолог  
ОГГ аппарата управления



Марченко В.Н.

«28» марта 2021 г.

## РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

**Джолдасов Рамазан Жанабекулы**

**Специальность** 7М07218 – Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых

**Тема магистерской диссертации** Особенности геологического строения месторождения «Восточный Мынкудук» и совершенствование системы отработки урановых залежей

Магистерская диссертация на тему: «Особенности геологического строения месторождения Восточный Мынкудук и совершенствование системы отработки урановых залежей»

Магистерская диссертация состоит из Введения, 4 разделов и заключения. Цель исследования заключается в геологической характеристике и изучении геотехнологической типизации и схему вскрытия месторождения, анализ критериев оптимальности по установлению эффективной схемы расположения скважин с учетом горно-геологических условий.

В работе обобщены все геологические материалы, характеризующие урановая месторождения Восточный Мынкудук. Были проведены расчеты основных геотехнологических параметров: рассчитан оптимальный радиус ячейки для гексагональной и рядной схемы вскрытия; время закисления, время выщелачивания блока при разных сетях.

В результате исследования была выявлена оптимальная схема вскрытия для месторождения Мынкудук, участка Восточный.

### Оценка дипломной работы

Из представленной магистерской диссертации видно, что задачи, поставленные перед автором, полностью решены.

В целом, рассматриваемая диссертационная работа на тему «Особенности геологического строения месторождения Восточный Мынкудук и совершенствование системы отработки урановых залежей» выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к магистерским диссертациям и заслуживает оценки «отлично». Ее автор – Джолдасов Рамазан Жанабекулы – заслуживает присвоение академической степени магистра техники и технологии.

### Рецензент

Доктор PhD, старший научный сотрудник  
Института геологических наук им.К.И.Сатпаева



Баратов Р.Т.

(подпись)

«26» септ 2021 г.

## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Джолдасов Рамазан Жанабекулы

**Название:** Особенности геологического строения месторождения Восточный Мынкудык и совершенствование системы отработки урановых залежей.doc

**Координатор:**Максат Кембаев

**Коэффициент подобия 1:**2.5

**Коэффициент подобия 2:**1.4

**Замена букв:**6

**Интервалы:**8

**Микропробелы:**0

**Белые знаки:** 0

### После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствования;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата.  
Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

27 марта 2021г.

Дата  
руководителя



Подпись Научного

**Протокол анализа Отчета подобия  
заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился (-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Джолдасов Рамазан Жанабекулы

**Название:** Особенности геологического строения месторождения Восточный Мынкудык и совершенствование системы обработки урановых залежей.doc

**Координатор:** Максат Кембаев

**Коэффициент подобия 1:** 2.5

**Коэффициент подобия 2:** 1.4

**Замена букв:** 6

**Интервалы:** 8

**Микропробелы:** 0

**Белые знаки:** 0

**После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

**Обоснование:**

~~Диссертация составлена самостоятельно, признаков плагиата не обнаружено~~

---

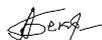
---

---

---

27.03.2021

Подпись заведующего кафедрой



Дата

**Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:**

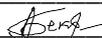
Диссертация допущена к защите

---

---

27.03.2021

Дата



Подпись заведующего кафедрой



SATBAYEV  
UNIVERSITY

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И. САТПАЕВА



# СЕРТИФИКАТ

«САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2020»

**Секция:** «Научные исследования и инновации в геологоразведке – ключ к эффективному восполнению минерально-сырьевой базы РК»

**Авторы:** ДЖОЛДАСОВ Р.Ж., КЕМБАЕВ М.К.

**Тема:** Геолого-структурные особенности и отработки урановых залежей месторождения Восточный Мынкудык

Директор института ГНиГД

К.Б. Рысбеков

## СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Джолдасова Рамазана Жанабекулы

обучающегося по образовательной программе профильной магистратуры «Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых», кафедры Геологическая съемка, поиск и разведка месторождений полезных ископаемых, Института Геологии и

Нефтегазового дела им. К.Турысова

Казахского Национального Исследовательского Технического Университета им. К.И. Сатпаева

№ по п/п	Наименование	Форма работы	Выходные данные	Объем	Соавторы
1	2	3	4	5	6
<b>Публикации в научных журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки</b>					
1	Геолого-структурные особенности и отработки урановых залежей месторождения Восточный Мынкудык	Статья	«САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ -2020» Секция: «Научные исследования и инновации в геологоразведке – ключ к эффективному восполнению минерально-сырьевой базы РК»	4 страницы	Научный рук. – М.К. Кембаев – доктор PhD, сениор-лектор кафедры ГСПиРМПИ

«27» марта 2021 года

Автор

Джолдасов Р.Ж.

Заверяю:

Директор ИГНГД

Рысбеков К.Б.

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ

Бекботаева А.А.