

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова

УДК 553.495

На правах рукописи

Асқар Аяжан Ерболқызы

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На соискание академической степени магистра

Название диссертации	Определение и обоснование основных геотехнологических параметров для промышленного освоения инкудукского горизонта участка № 4 месторождения Инкай
Направление подготовки	6М070600 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Научный руководитель  
ассоциированный профессор, доктор  
PhD

А.А. Бекботаева

"26" июня 2020 г.

Рецензент  
Научный сотрудник Института  
геологических наук им. К.И. Сатпаева  
К.С. Тогизов  
"30" июня 2020 г.



Нормоконтролер  
Доктор PhD, сениор-лектор

М.К. Кембаев

"26" июня 2020 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ  
доктор PhD, ассоц. проф.

А.А. Бекботаева

"26" июня 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

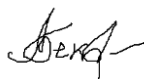
Институт геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова

Кафедра Геологической съемки, поиска и разведки месторождений полезных  
ископаемых

6M070600 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ  
доктор PhD, ассоц. проф.



А.А. Бекботаева

"26" июня 2020 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту Асқар Аяужан Ерболқызы

Тема: Определение и обоснование основных геотехнологических параметров для промышленного освоения инкудукского горизонта участка № 4 месторождения Инкай

Утверждена приказом руководителя университета № 311-М от 06.11.2019 г.

Срок сдачи законченной работы «01» июля 2020 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: геолого-гидрогеологические, текстовые и графические материалы при разведке и эксплуатации участка 4 месторождения Инкай.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) Изучение геологических и геотехнологических условий района;
- б) Сбор и анализ эксплуатационных данных и определение основных параметров;
- в) Расчет основных геотехнологических параметров участка;
- г) Обработка и анализ полученных расчетов.

Рекомендуемая основная литература:

1. Отчет по результатам оценочных работ с подсчетом запасов урана и полезных попутных компонентов на участке 4 месторождения Инкай по состоянию на 01.01.2008 г. Том 1. Книга 1. Геологическое строение участка 4 месторождения Инкай. Урановое и сопутствующее оруденение. Методика геологоразведочных работ. Лабораторные исследования руд и вмещающих пород", г. Алматы, 2018г.

2. Отчет по результатам оценочных работ с подсчетом запасов урана и полезных попутных компонентов на участке 4 месторождения Инкай по состоянию на 01.01.2008 г. Том 1. Книга 5. Геотехнологические условия участка 4 месторождения Инкай. Опытно-промышленное выщелачивание. Фактические результаты проведения натурального опыта, переработка продуктивных растворов и выпуск готовой продукции", г. Алматы, 2018г.

3. Национальная атомная компания "Казатомпром". Инструкция по подземному скважинному выщелачиванию урана. Алматы, 2006 г.

### ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

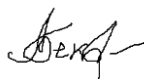
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультатам	Примечание
Общие сведения об участке 4 месторождения Инкай	26.03.2020 г.	
Геологическое строение района	03.04.2020 г.	
Урановое оруденение участка 4 месторождения Инкай	16.04.2020 г.	
Фактические результаты опытных работ	24.04.2020 г.	
Определение и обоснование геотехнологических параметров	07.05.2020 г.	

## Подписи

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

Наименования разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Общие сведения об участке 4 месторождения Инкай	Бекботаева А.А. доктор PhD, ассоциированный профессор	30.03.2020	
Геологическое строение района	Бекботаева А.А. доктор PhD, ассоциированный профессор	06.04.2020	
Урановое оруденение участка 4 месторождения Инкай	Бекботаева А.А. доктор PhD, ассоциированный профессор	20.04.2020	
Фактические результаты опытных работ	Бекботаева А.А. доктор PhD, ассоциированный профессор	27.04.2020	
Определение и обоснование геотехнологических параметров	Бекботаева А.А. доктор PhD, ассоциированный профессор	11.05.2020	
Нормоконтролер	Кембаев М.К. доктор PhD, сениор-лектор	26.06.2020	

Научный руководитель



Бекботаева А.А.

Задание принял к исполнению  
магистрант



Аскар А.А.

Дата

"26" июня 2020 г.

## АҢДАТПА

Қазіргі уақытта жерасты ұңғымалы шаймалау (ЖҰШ) әдісі басқа кен өндіру әдістерімен салыстырғанда уран кен орындарын игерудің ең тиімді әдісі болып табылады. Кендердің технологиялық қасиеттері, оларды ЖҰШ әдісімен өңдеуге жарамдылығы екі бағытта анықталады: күкірт қышқылымен сілтілендіруге арналған зертханалық тәжірибелер және натуралық тәжірибелер.

Жұмыстың зерттеу нысаны болып Шу-Сарысу ойпатының оңтүстік-батысында орналасқан Инкай уран кен орнының төртінші учаскесі болып табылады. Кен орны 1978 жылы ашылды. Кен орнының уран қорларының алғашқы есебі 1991 жылы құрастырылды. Инкай кен орнында уранды өндіру ЖҰШ әдісімен 2008 жылдан бастап жүзеге асырылады. Инкай кен орнының № 4 учаскесінде соңғы барлау-бағалау жұмыстары қорлардың келесі категориялардағы  $C_1$  – 70%,  $C_2$  – 30% қатынасымен бағаланып, 2018 жылы аяқталды.

Әкімшілік қатынаста орталық және солтүстік-шығыс бөлігі Түркістан облысының аумағына, ал оңтүстік және батыс бөлігі Қызылорда облысының құрамына кіреді. Геологиялық бөлу ауданы – 192,2 км<sup>2</sup>. Солтүстігінде Мыңқұдық, ал оңтүстігінде Буденновское кен орындарымен шектеседі.

ЖҰШ жасалатын натуралық тәжірибелер уран кендерінің күкірт қышқылын ерітіндісімен өндірудің негізгі мүмкіндігі мен экономикалық тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Натуралық тәжірибе технологиялық ұңғымалары бар тәжірибелік блокта өткізілді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты: өнеркәсіптік уран өндіруді одан әрі жобалау үшін № 1 тәжірибелік блоктың инқұдық горизонтын зерттеу және блоктың жұмысын анализдеу, осы горизонт үшін кенді жыныстардың негізгі геологиялық, гидрогеологиялық, геотехнологиялық параметрлерін нақтылау, өндірістік көрсеткіштерін анықтау.

## АННОТАЦИЯ

В настоящее время подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) является наиболее эффективным методом при разработке бедных месторождений по сравнению с другими способами добычи. Технологические свойства руд, их пригодность для отработки ПСВ, определяется по двум направлениям: лабораторные опыты по сернокислотному выщелачиванию из руд горизонтов и натурные опыты на опытно-промышленных полигонах.

Объектом исследования работы является четвертый участок уранового месторождения Инкай, который расположен на юго-западе Шу-Сарысуйской депрессии. Месторождение открыто в 1978 году. Первый отчет с подсчетом запасов урана всего месторождения составлен в 1991 году. Добыча урана на месторождении осуществляется с 2008 года. методом ПСВ Окончательная оценка участка № 4 месторождения Инкай завершилась в 2018 году соотношением запасов категории  $C_1$  – 70%,  $C_2$  – 30%.

В административном отношении центральная и северо-восточная площади участка № 4 входят в состав Туркестанской области, а западная и южная часть его в состав Кызылординской области. Площадь геологического отвода участка составляет – 192,2 км<sup>2</sup>. Месторождение на севере граничит с месторождением Мынкудук, на юге граничит с месторождением Буденновским.

Натурный опыт по ПСВ дает возможность оценивать принципиальную возможность и экономическую рентабельность отработки методом ПСВ сернокислотными растворами урановых руд. Натурный опыт был проведен на опытном блоке № 1И с технологическими скважинами.

Целью диссертационной работы является изучение и анализ эксплуатации опытного блока № 1И и уточнение основных геолого-гидрогеологических, геотехнологических параметров руд и рудовмещающих пород инкудукского горизонта для дальнейшего проектирования промышленной добычи урана и прогноза ожидаемых эксплуатационных показателей на инкудукском горизонте.

## ANOTATION

Underground borehole leaching (UBL) is the most effective method for developing poor deposits compared to other mining methods. The technological properties of ores, their suitability for processing UBL, are determined in two directions: laboratory experiments on sulfuric acid leaching from ores of horizons and field experiments at pilot industrial testing sites.

The object of study is the fourth section of the Inkai uranium deposit, which is located in the southwest of the Shu-Sarysu depression.

The field was discovered in 1978. The first report with the calculation of the uranium reserves of the entire deposit was compiled in 1991. Uranium mining at the Inkai deposit is carried out by the method of underground borehole leaching (UBL) since 2008. The final assessment of the Inkai deposit № 4 site was completed in 2018 with the ratio of reserves  $C_1 - 70\%$ ,  $C_2 - 30\%$ .

Administratively the central and northeastern areas of section № 4 is part of the Turkestan region, and the western and southern parts of this area are part of the Kyzylorda region. The area of the geological allotment of the site is - - 192,2 km<sup>2</sup>. The deposit in the north borders with the Mynkuduk deposit, in the south it borders with the Budennovsky deposit.

Field experience in UBL makes it possible to evaluate the fundamental possibility and economic profitability of mining with the method of UBL sulfuric acid solutions of uranium ores. To do this, an experiment is conducted in a pilot unit with technological wells.

The purpose of the thesis is to study and analyze the operation of the experimental block № 1И and clarify the main geological, hydrogeological, geotechnological parameters of ores and ore-bearing rocks of the inkuduk horizon for the further design of industrial uranium mining and the forecast of expected performance on the inkuduk horizon.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Общие сведения об участке № 4 месторождения Инкай	10
1.1 Инкай - крупнейшее пластово-инфильтрационное месторождение в Казахстане	10
1.2 Краткая характеристика участка № 4 месторождения Инкай	10
2 Геологическое строение района	12
2.1 Стратиграфия мезозойско-кайнозойских отложений	12
2.2 История геологического развития и тектоника района	12
2.3 Гидрогеологическая характеристика месторождения	16
3 Урановое оруденение участка 4 месторождения Инкай	18
3.1 Характеристика уранового оруденения	18
3.2 Вещественный и минералогический состав руд и вмещающих пород	19
3.3 Геохимическая и литологофациальная характеристика рудовмещающих горизонтов	20
3.4 Генезис урановых руд	21
4 Фактические результаты опытных работ	22
4.1 Результаты вскрытия опытного блока	22
4.2 Характеристика вскрытого уранового оруденения и фильтрационная характеристика пород	26
5 Определение и обоснование геотехнологических параметров	39
5.1 Основные геотехнологические параметры опытного блока	39
5.2 Работа опытного блока на стадии закисления	40
5.3 Работа опытного блока на стадии активного выщелачивания	41
5.4 Объемы продуктивных и выщелачивающих растворов	45
5.5 Характеристика продуктивных растворов	47
5.6 Область растекания растворов в плане	49
5.7 Добыча урана и степень отработки запасов урана	50
Заключение	53
Перечень терминов. Перечень сокращений	54
Список использованной литературы	55



## ВВЕДЕНИЕ

Диссертация состоит из введения, 5-ти разделов и заключения, на 55 страницах 18 рисунков, 12 таблиц.

Месторождение Инкай является крупнейшим урановым объектом в Шу-Сарысуйской урановорудной провинции и граничит на севере – месторождением Мынкудук, на юге – месторождением Буденновское. Участок № 4 является представителем пластово-инфильтрационного типа. Добыча урана на участке № 4 месторождении Инкай осуществляется методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) серноокислотными растворами. Этот метод считается наиболее рациональным способом и благоприятным по горно-геологическим, экологическим и геотехнологическим условиям.

Выщелачивание урана из горных пород является сложным гетерогенным процессом, происходящим на границе раздела фаз – твердой и жидкой, содержащей реагент, способный образовывать при взаимодействии с ураносодержащими минералами или породами хорошо растворимые соединения.

Порядок ведения технологического режима, исследование полигона, где проходят работы, проектирование добычи, расход реагентов влияют на процесс выщелачивания. Для того чтобы правильно вести этот процесс, необходимо посчитать геотехнологические параметры.

Технологические свойства руд участка, их пригодность для отработки способом ПСВ, определялись по натурному опыту по ПСВ на опытном блоке № 1И.

Целью диссертационной работы является изучение и анализ эксплуатации блока № 1И, вскрывающего инкудукский горизонт, с определением основных геотехнологических параметров отработки для дальнейшего промышленного освоения инкудукского горизонта.

Актуальность работы состоит в том, что полученные результаты натурного опыта являются очень важными и своевременными для практического применения при промышленном освоении инкудукского горизонта участка № 4 месторождения Инкай. Анализ геологических и геотехнологических условий и прогноз основных эксплуатационных показателей инкудукского горизонта определяют возможность применения, ход и результаты ПСВ для этого горизонта.

## **1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УЧАСТКЕ № 4 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИНКАЙ**

### **1.1. Инкай - крупнейшее пластово-инфильтрационное месторождение в Казахстане**

Основу минерально-сырьевой базы урановой промышленности Казахстана составляют запасы урана в следующих урановорудных провинциях: Шу-Сарысуйской, Сырдарьинской, Илийской, Северо-Казахстанской, Прикаспийской и Прибалхашская. Месторождения только первых трех провинций пригодны для отработки подземного скважинного выщелачивания (ПСВ).

В долю Шу-Сарысуйского и Сырдарьинского входят 76 % разведанных запасов урана. Запасы сосредоточены в эпигенетических пластово-инфильтрационных месторождениях, приуроченных к зонам пластового окисления (ЗПО), затрудненный водообмен приводит к формированию этих зон. Эти процессы в Шу-Сарысуйской впадине сформировали региональные ЗПО. Протяженность этих зон достигает 250 км. Самыми продуктивными считаются меловые отложения, западный ЗПО. Ее составляют месторождения Мынкудук, Буденновское, Инкай. Ширина рудоносных полос этих месторождений достигают 10 км и с расстоянием 250 км [5].

Месторождения Инкай относится к экзогенным пластово-инфильтрационным месторождением. Находится в Мынкудукском рудном районе, где контролируется передовой частью гигантской дуги. Рудоносность месторождения прослеживаются с северо-востока на юг. На северо-востоке Инкай отделяется от Мынкудука перерывом в районе антиклинальной структурой Центральный [5].

### **1.2 Краткая характеристика участка № 4 месторождения Инкай**

На месторождении выделяются Центральный участок (включающий участки № 1 и № 2), Северный (участок № 3) и Южный (участок № 4) фланги [1].

Площадь геологического отвода участка составляет 192,2 км<sup>2</sup>. Общая оценка промышленных запасов урана на участке № 4 месторождения Инкай (без погашения) по состоянию на 01.01.2018 г. составляет: категория С<sub>1</sub> – 64890 т, категория С<sub>2</sub> – 35570 т, общая оценка – 100460 т [1].

Район месторождения находится на плато Бетпакадала. Она осложнена куполовидными поднятиями и такырами. Абсолютные отметки 160 м - 200 м. Плато Бетпак-Дала с запада и севера ограничено чинками [1].

Образование гидрографической сети участка связано с рекой Шу, а также на образование сети повлияли реки Бактыкарын, Сарысу. Минерализация вод изменяется в пределах 2,2 - 9,0 г/л, в конце лета соленосность воды на отдельных частях реки Бактыкарын - 212 г/л [1].

Участок характеризуется резко континентальным климатом. Летом температура высокая, зимой минусовая температура достигает больших значений, количество осадков очень мало и всегда чувствуется сухость воздуха.

С экономической точки зрения, участок месторождения осваивается и развивается за счет отработки урановых руд способом ПСВ.

## **2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА**

### **2.1 Стратиграфия мезозойско-кайнозойских отложений**

По стратиграфической принадлежности урановые месторождения Казахстана относятся к двум группам: водовмещающие отложения палеогенового и верхнемелового возрастов. Мезозой-кайнозойские отложения участка № 4 делятся на следующие комплексы:

- юрский (предплатформенный);
- мел-палеогеновый (платформенный);
- неоген-четвертичный (платформенно-суборогенный) [1].

Отложения комплекса юрского предплатформенного на участке не встречаются, но встречаются в прибортовом участке депрессии. Они представлены озерно-пролювиально-алювиальными породами. Эти породы в нижней части являются угленосными. Юрские отложения в нижне-сарысуйском грабене имеют мощность более 400 м. Континентальные и морские терригенные образования представляют платформенный комплекс мел-палеогена. Несогласно залегающие на поверхности платформенного структурного этажа (ПСЭ), континентальные образования представляют позднемеловые отложения [1].

А также встречаются красноцветные глины с мощностью 15 м, с прослаиванием глинистых песчаников. Эти образования отнесены к сеноману ( $K_2cm$ ). Глины встречаются в пониженных поверхностях пород среднепалеозойской времени [1].

Позднемеловые отложения состоят из трех горизонтов: мынкудукский, инкудукский (являются рудовмещающими горизонтами на участке 4) и жалпакский. Краткая характеристика пород мезозойско-кайнозойских отложений представлена на рисунке 2.1 [1].

### **2.2 История геологического развития и тектоника района**

Воздымание горстовых сооружений привело к формированию структурного плана месторождения и депрессии в плиоцене. Из-за возникновения Каратауского горстантиклинория, Шу-Сарысуйская депрессия отделилась от соседней Сырдарьинской, и дальше они развивались как самостоятельные структуры (рисунок 2.2) [1].

К Сарысуйской впадине приурочен район месторождения. Впадина на юге ограничивается Каратуским горстантиклинорием, Казахский щит граничит с северным и восточным частями впадины, на юго-востоке седловина Уланбель-Талас отделяет впадину от Моинкумского склона. Сарысуйская впадина описывается как пологое погруженное отложение в южном и западном направлении. Слои имеют средний наклон. Здесь выделяется прогиб с мощностью восемьсот метров. Это Сузакский прогиб,



где в южных и западных частях породы круто падают по сравнению с восточными и северными частями прогиба [1].

Восточные и северные части прогиба захватывается Южной границей месторождения. Бугуджильское поднятие продолжение прогиба в северной части [1].

Встречаются Аксумбинский и Главный Каратауский разрывные нарушения на границе месторождения. Возраст глубинных заложений - каледонский. Мезозойско-кайнозойском чехле проявлены разрывные нарушения складчатого фундамента [1].

Флексуроподобные перегибы проявляются в нарушениях, в верхних частях разреза они затухают. В мынкудукском горизонте встречаются смещенные разрывы с небольшими значениями амплитуды. Наклонная поверхность снижается выше по разрезу. В породах встречаются зеркала скольжения, породы трещиноватые. На участке 4 горизонты рудовмещающие растягиваются в горизонтальном положении [1].

Время заложения Шу-Сарысуйской впадины соответствует с началом каледонского орогенеза [1].

В районе месторождения не происходило осадкообразование в триасе и юре. В других площадях депрессии происходили процессы выветривания домезозойских пород. В результате эти образования разрушались с освобождением элементов (уран, рений (Re), иттрий (Y), скандий (Sc), литий (Li) и др.). Далее эти элементы приобретали миграционные формы [1].

В начале раннего мела произошло смена активизационного режима платформенным режимом. Сероцветные породы накапливали в себе непостоянные сорбулакские сосредоточение урана. Позднемеловые седиментации, зарожденные в сеномане - песчано-глинистые пестроцветные отложения [1].

Особенностью раннетуронского периода является стабильное развитие зоны осадконакопления. В этом месте происходила аккумуляция аллювиально-озерных равнин с накоплением отложений мынкудукского горизонта (пестроцветные глинистые и гравийно-песчаные отложения). Зарождение и начало деятельности рек Чу и Сарысу произошло в это время [1].

В конце турона поднятия, которые окружали депрессию, начали вздыматься. В результате накопились проницаемые грубообломочные гравийные и галечные отложения инкудукского горизонта. В инкудукское время аллювиальное осадконакопление было больше, несмотря на то, что структура района являлся наследником раннего турона. В это время произошло аридизация климата. Это доказывается преобладанием горизонта следующими отложениями: пестроцветными и зеленоцветными [1].

Раннем палеоцене и в конце верхнего мела в районе работ и в депрессии в окислительных обстановках развивались процессы выветривания и выравнивания. Это привело к формированию области грунтового окисления [1].



В раннем олигоцене увеличились области поднятий. В то же время преобладали в окислительных обстановках процессы корообразования и выветривания [1].

В региональных зонах ЗПО начались отложения верхнего мела. Это совпадает с началом новых поднятий в Шу-Сарысуйской депрессии. Образовались слабокарбонатные, красноцветные отложения бетпакдалинской свиты. Главные части ЗПО сформировались в периоде неотектогенеза до позднего плиоцена [5].

В Южном Казахстане горы начали формироваться в конце позднего плиоцена за счет блоковых (глыбовых) перемещений. Орогенические процессы обуславливают гидрогеологический режим. На некоторых участках ранее зарожденный ЗПО и урановое оруденение начали перемещаться из-за повышения гидродинамических процессов в артезианском бассейне [5].

### 2.3 Гидрогеологическая характеристика месторождения

Шу-Сарысуйский артезианский бассейн второго порядка является полузамкнутой структурой с погруженной центральной и приподнятыми краевыми частями. Сопрягающие горные неотектонические сооружения являются областью формирования региональных потоков подземных вод [2].

Областями питания подземных вод являются на юге – горные хребты Киргизский Алатау, Большой и Малый Каратау, на севере – Шу-Илийские горы и Казахский мелкосопочник [2].

Район работ приурочен к Сузакскому артезианскому бассейну третьего порядка [5].

Водовмещающими породами инкудукского горизонта являются песчаные отложения аллювиального происхождения - крупно- и разномелкозернистые пески с гравием и галькой, гравийно-галечниковые отложения и мелко- и среднезернистые пески, перемежающиеся между собой [2].

Кровля инкудукского горизонта на участке опытных работ вскрывается на глубинах от 300 м до 350 м, подошва - от 430 м до 480 м, общая мощность горизонта от 120 м до 130 м [2].

Подземные воды являются высоконапорными. Пьезометрический уровень устанавливается на отметках от плюс 23,5 м до минус 29,4 м над поверхностью земли [2].

Дебиты составляют от 3,7 дм<sup>3</sup>/с до 10,2 дм<sup>3</sup>/с, величина понижения уровня от 22,8 м до 28,8 м. Значения коэффициента фильтрации водовмещающих пород по данным кустовых выпусков составляют от 6,1 м/сут до 16,0 м/сут, по данным одиночных выпусков - от 1,8 м/сут до 10,0 м/сут. Коэффициент водопроницаемости изменяется от 698 м<sup>2</sup>/сут до 832 м<sup>2</sup>/сут и от 60 м<sup>2</sup>/сут до 1000 м<sup>2</sup>/сут соответственно. Водоносный горизонт умеренно водообильный [2].

Подземные воды инкудукского горизонта сульфатно-хлоридные умеренно солоноватые с минерализацией от 3,3 г/дм<sup>3</sup> до 5,0 г/дм<sup>3</sup> [2].



Как правило, выдержанные в разрезе и по простиранию водоупорные отложения в кровле и подошве инкудукского горизонта отсутствуют. Прослой глин, алевролитов и глинистых песков имеют линзующийся характер и незначительную мощность (от 0,5 м до 2 м, редко 5 м). Поэтому между инкудукским и выше- и нижележащими горизонтами, существует тесная гидравлическая связь. Это негативно сказывается на процессах подземного выщелачивания урана [2].

На основании исследований продуктивных горизонтов положительными факторами для отработки урановых залежей методом ПСВ являются:

1. Высокая проницаемость и водообильность рудовмещающих отложений, при этом проницаемость толщи надрудных и подрудных отложений практически одинакова. Водообильность горизонтов – удельный дебит преимущественно от 0,7 до 2,35 дм<sup>3</sup>/с, удельная приемистость – до 1,5 дм<sup>3</sup>/с.

2. Хорошая проницаемость рудовмещающих пород; коэффициент фильтрации по разным горизонтам – 6,1 – 17,6 м/сутки.

3. Высокая приемистость рудовмещающих отложений, что подтверждено при проведении опытов подземного выщелачивания на участках № 1 и № 2. Высокая проводимость пород – 447-1662 м<sup>2</sup>/сутки.

4. Высоконапорный характер подземных вод: пьезометрический уровень на отметках от +17,3 до +30,4 м над поверхностью земли.

5. Невысокая минерализация до 5,0 г/дм<sup>3</sup> с благоприятным химическим составом и повышенной температурой подземных вод (27-29,5°C).

К факторам, осложняющим отработку рудных залежей и требующим тщательного анализа и учёта при выборе технологической схемы отработки и специального оборудования, относятся:

- глубокое залегание рудовмещающих горизонтов;
- наличие в надрудной толще ещё двух высоконапорных горизонтов;
- отсутствие в надрудной и подрудной части разреза инкудукского горизонта выдержанного водоупора. При этом, в горизонтах прослеживаются линзообразные экранирующие водоупоры, которые могут способствовать более полной отработке руды методом ПСВ.

Повышенная минерализация подземных вод, их высокая жёсткость, повышенное содержание сульфатов и хлора, стронция, брома и радиоактивных элементов делают подземные воды инкудукского и мынкудукского горизонтов на месторождении непригодными не только для питьевого, но и для технического водоснабжения [2].

### 3 УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ УЧАСТКА № 4 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИНКАЙ

#### 3.1 Характеристика уранового оруденения

Рудные залежи на месторождении Инкай тянутся к окраине выклинивания ЗПО. Заданные кондиции определяют контуры рудных залежей: бортовое содержание урана – 0,01 % и минимальный бортовой метропроцент – 0,0400 [3].

Каждая залежь относится одному рудовмещающему горизонту, соответствует одному уровню. Морфологические элементы залежей: главный ролл с мешковыми частями и крыльями. Также встречаются следующие элементы рудного тела с мощностью 25 м: мешки крылатые и мешково-крыльевые. Сателлитные и останцовые тела возникают при развитии рудоконтролирующего окисления. Эти тела в тылу основных роллов, отделяются от них незначительным промежутком безрудных пород [1].

Рудные залежи имеют форму извилистых лент, различия одного рудного залежа от другого - протяженность, ширина и типы выклинивания ЗПО. Направления движения кислородсодержащих пластовых вод являются основой положения типов выклинивания ЗПО [1].

Залежи в поперечных разрезах имеют неправильную форму роллов. Это объясняется растворением руд в тыловой части, которые ранее сформировались и началось перенос вещества. Формируемое оруденение при неизменчивости гидродинамических условий, непрерывно движется в направлении водного потока, образуя роллы [1].

В процессе предварительной разведки 2008-2009 гг. в западной и южной частях геологического отвода в инкудукском горизонте выделены две залежи – 15 и 16 [1].

Залежь 15 локализована в нижеинкудукском подгоризонте, имеет очень сложную морфологию в плане, с глубокими, протяженными заливами и тыловыми выступами. Протяженность залежи в пределах участка № 4 в северо-западном направлении составляет свыше 20 км, при ширине от 50 м до 600 м. Параметры оруденения меняются в пределах: содержание урана от 0,025 % до 0,040 %, в среднем 0,029 %, мощности от 2,56 м до 7,09 м, в среднем по залежи – 4,47 м [1].

Залежь 16 приурочена к средней части инкудукского горизонта имеет как и 15, очень прихотливую форму в плане и разрезе, разбиваясь серией внутрислойных водоупоров на несколько уровней. Содержания урана в подсчетных блоках категории С<sub>2</sub> варьируют от 0,017 % до 0,050 %, составляя в среднем – 0,035 % на мощности от 0,90 м до 10,81 м (в среднем 5,81 м) [1].

### 3.2 Вещественный и минералогический состав руд и вмещающих пород

Химический состав руд на участке представлен силикатами. Рудовмещающие отложения представлены полевошпат-кварцевыми песками [1].

Песчаники составляют в себе следующие минералы и обломки: полевые шпаты, кварц, обломки вулканических пород (кислых и кремнистых), обломки растительного обугленного детрита [1].

Обломки кварца составляют 50-70 %. Обломки кремнистых и кислых вулканических пород варьируются в пределах 3 - 30 %. В гравийных и галечниковых отложениях песках содержатся высокое содержание кремнистых и обломки вулканических пород. Они представлены микрокварцитами, микрогранитами и сланцами. Полевые шпаты (плагиоклазы, ортоклазы, микроклины) варьируют в пределах 5 - 25 %. Основными обломками пород являются: кварц, полевой шпат, обломки силицитов. Они не влияют на процесс подземного выщелачивание (ПВ) [1].

Слюдистые минералы содержатся в породах до 1,9 %. Слюдистые минералы обладают кислотоемкими свойствами, заметно влияют на расход кислоты. Обугленный растительный детрит встречается до 0,11 % [1].

В породе встречаются следующие акцессорные минералы: ильменит, турмалин, гранат, ставролит, андалузит, эпидот, дистен, апатит, рутил, циркон. Акцессорные минералы не превышают 3%, следовательно, они тоже не влияют на процесс ПВ [1].

Аутигенная минерализация сложена следующими минералами: кальцитом, сидеритом, гетитом, пиритом, хлоритом, самородным селеном, гидрогетитом, сфалеритом. А также в песках встречаются настуран и коффинит [1].

В отложениях поры заполняются до 28 % глинисто-алевритовым материалом [1].

Цемент характеризуется как поровый, неравномерный, пятнистый. У алевритовых частицах поры заполняются видами глинистых минералов, которые составляют 5 - 16 % от общей массы породы. Глинистость пород и руд определяет проницаемость пород и влияет на расход реагента. Повышение расхода кислоты наблюдается в ряду каолинит - гидрослюды – монтмориллонит [1].

В песчаных породах урановая минерализация накапливается в поровом пространстве, заполняя глинисто-алевритового заполнителя [1].

Текстура руд участка тонковкрапленная, структура интерстиционная [1].

Настуран (82%) и коффинит (18 %) - главные минералы урановой минерализации на участке № 4 [1].

Из подземных вод с рН = 5–6 осаждается преимущественно коффинит, а при больших и меньших значениях рН – преимущественно настуран [4].

Настуран – окись урана. Коффинит является силикатным минералом. В его известных разновидностях уран преимущественно находится в четырехвалентной форме [4].

Настуран, образованный при разрушении коффинита хорошо взаимодействует с серной кислотой. Если в руде встречается коффинит, это считается положительным условием для работ ПВ [4].

Урановые минералы в отраженном свете показывают повышенный серый цвет. Кварц и органика имеют низкую отражательную способность [1].

Сопутствующие элементы представлены рением, скандием, селеном, молибденом, редкими землями. Их содержания находятся на уровне кларков для района месторождения Инкай [1].

### **3.3 Геохимическая и литологофациальная характеристика рудовмещающих горизонтов**

Рудовмещающие горизонты на участке №4: мынкудукский и инкудукский. Рудовмещающий инкудукский горизонт, пределах которого проводятся натурные испытания, является вторым рудовмещающим горизонтом на месторождении Инкай. С отчетливой границей размыва, он залегает на отложениях мынкудукского горизонта [1].

Тектонические движение способствовали отложению крупно- и грубообломочных и аллювиальных осадков. В разрезе инкудукского горизонта выделяются три подгоризонта [1].

Нижний подгоризонт состоит из следующих разностей: серые, зеленовато-серые гравийно-галечниковые. Они выше переходят в более сортированные пески. Мощность варьирует в пределах 30-50 м [1].

В среднем подгоризонте встречаются разнотернистые серые зеленоватые пески. Выше переходят в средне-мелкозернистым пескам с прослоями глин. Мощность среднего подгоризонта составляет 55-60 м [1].

Верхний подгоризонт состоит из среднетернистых песков. Этот подгоризонт отличается переобладанием сероцветных тон. Мощность верхнего подгоризонта 25 -35 м [1].

Рудоносными являются нижний и средний подгоризонты, верхний цикл инкудукского горизонта оруденения не содержит [1].

На участке встречается четыре геохимических типа пород: 1) сероцветные пески и глины (встречаются в русловых отложениях), содержащие углефицированные растительные остатки; 2) зелено-серые пески и глины, геохимический промежуточные; 3) первично пестроцветные отложения, встречающиеся в пойменных отложениях; 4) породы эпигенетически пластово-окисленные [1].

### 3.4 Генезис урановых руд

Урановые пластово-инфильтрационные месторождения образуются при инфильтрации кислородсодержащих вод в области питания горизонта в проницаемые части. В начале уран выщелачивается из горных пород и с потоком подземных вод они перемещаются. После того как растворенный кислород израсходуется на окисление происходит осаждение урана в низковалентном виде [5].

ЗПО связан с миоценовым, позднеолигоценовым этапами тектогенеза. Рудные залежи участка находятся в области динамичного современного потока подземных вод бассейна [1].

Руды месторождения связаны с границей выклинивания ЗПО в проницаемых горизонтах верхнего мела. Рудовмещающими являются пестроцветные аллювиальные формации [1].

На восстановительном барьере скопление руд происходило в нескольких этапах развития:

- домезозойский - образовались специализированные на уран формации,
- триас-юрский - развивались процессы гумидного выветривания;
- мел-палеогеновый – накапливались проницаемые сероцветные горизонты, глинистого водоупора [1].

Источники уранового оруденения региональные. Источниками являются породы вмещающие и изменившиеся при воздействии с кислородсодержащими водами в течение длительного времени [1].

## 4 ФАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНЫХ РАБОТ

### 4.1 Результаты вскрытия опытного блока

Участок опытных работ находится на участке № 4 месторождения Инкай, в восточной части залежи № 16 в пределах геологического блока № 16-21С<sub>2</sub>, оруденение в котором локализовано в среднем подгоризонте инкудукского горизонта (рисунок 4.1).

В июле 2015 года был начат многоскважинный натурный опыт по ПСВ урана из руд инкудукского горизонта на опытном блоке № 1И участка № 4 месторождения Инкай. Опытные работы проводились с июня 2015 года по 29 июля 2018 года.

Геологический блок № 16-21С<sub>2</sub> является типичным для залежи № 16 в целом и наиболее изученным в процессе бурения эксплуатационных скважин на мынкудукский горизонт. Геологическая характеристика блока представлена в таблице 4.1 [2].

Таблица 4.1 - Геологическая характеристика блока № 16-21С<sub>2</sub>

Площадь блока, тыс. м <sup>2</sup>	Коэффициент рудоносности	Метро-процент	Удельная продуктивность	Запасы урана, т	Средняя мощность руды, м	Среднее содержание урана, %
149	0,94	0,2569	4,47	627	7,03	0,052

Вскрытие рудных тел проектируется таким образом, чтоб максимально вовлечь в промышленную отработку все балансовые запасы урана, при этом очень большое внимание уделяется гидродинамическому режиму.

Для вскрытия опытного блока принята линейно-рядная схема расположения скважин, с ориентацией рядов с юго-запада на северо-восток.

Откачные скважины предназначены для подъёма насыщенных ураном продуктивных растворов (ПР). Закачные скважины предназначены для подачи выщелачивающих растворов (ВР) в продуктивный горизонт (ПР). Наблюдают и контролируют растекание растворов наблюдательные скважины [3].

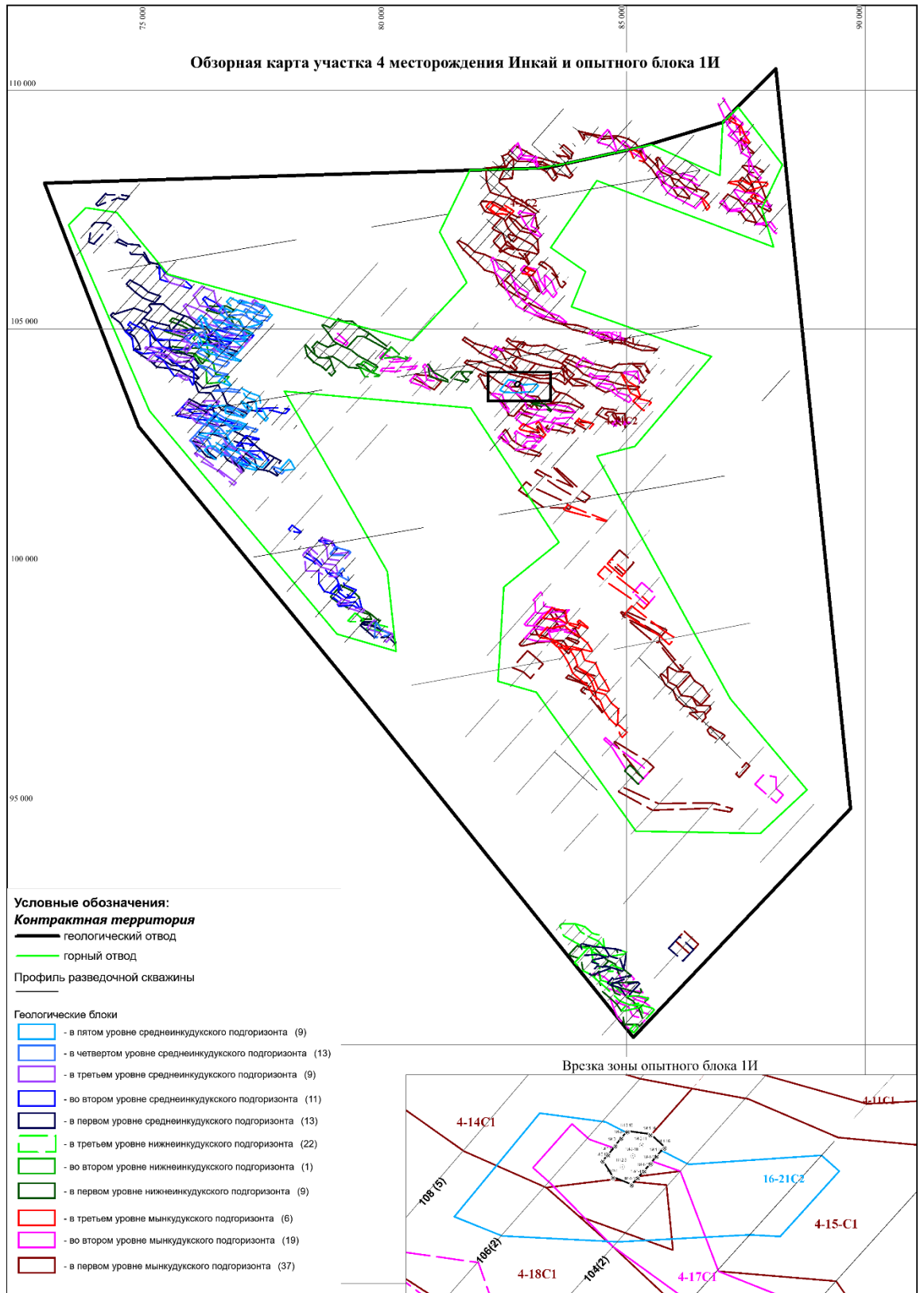


Рисунок 4.1 – Обзорная карта участка № 4 месторождения Инкай и опытного блока № 1И

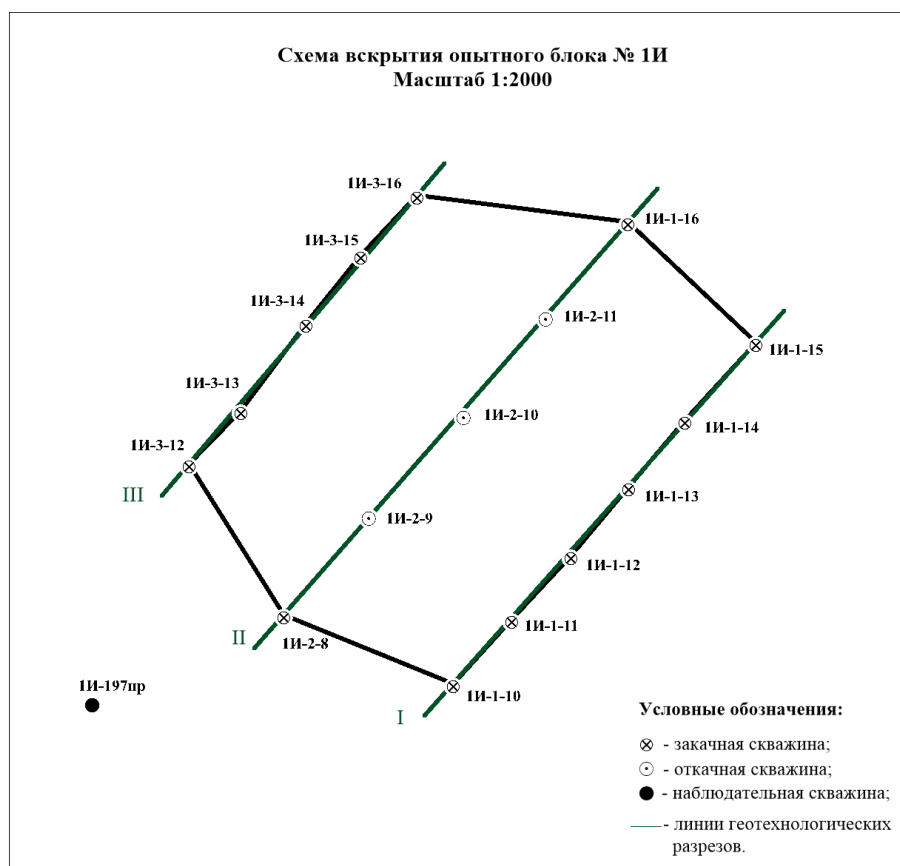


Рисунок 4.2 – Схема вскрытия опытного блока № 1И

Расстояние между рядами откачных и закачных скважин составляет 38-42 м, между откачными скважинами - 30-32 м и между закачными - от 17 до 25 м. Схема вскрытия опытного блока № 1И приведена на рисунке 4.2. Всего опытном блоке № 1И пробурено и сооружено 17 скважин, в том числе:

- 3 откачных скважин (№№ 1И-2-9, 1И-2-10, 1И-2-11);
- 13 закачных скважин (№№ 1И-2-8, 1И-3-12, 1И-3-13, 1И-3-14, 1И-3-15, 1И-3-16, 1И-1-10, 1И-1-11, 1И-1-12, 1И-1-13, 1И-1-14, 1И-1-15, 1И-1-16);
- 1 наблюдательная скважина (№ 1И-197пр)

Средняя глубина скважин - 380 м. Глубины скважин приведены в таблице 4.2.



Таблица 4.2 – Глубины скважин и фактические данные по установке фильтров в скважинах опытного блока № 1И

№ п/п	№ скв.	Глубина скважины, м	Рудные интервалы, м			Интервалы установки фильтров, м								
			от	до	всего	от	до	всего						
<b>Откачные скважины</b>														
1	1И-2-9	388,9	350,55	353,75	3,2	349,2	358,9	9,7						
			353,75	353,95	0,2									
			353,95	354,25	0,3									
2	1И-2-10	378,5	348,85	349,35	0,5	349,3	356,9	7,6						
			349,65	349,95	0,3									
			350,35	353,85	3,5									
			356,75	357,15	0,4									
3	1И-2-11	379,3	357,15	357,35	0,2	349,6	359,5	9,9						
			351,65	352,85	1,2									
			353,35	354,65	1,3									
			354,65	355,75	1,1									
			355,75	357,35	1,6									
			<b>Закачные скважины</b>											
			4	1И-2-8	378,9				348,35	355,65	7,3	348,1	360	11,9
									355,95	356,25	0,3			
356,25	356,45	0,2												
356,45	357,15	0,7												
5	1И-3-12	376	347,95	350,85	2,9	347,3	357,2	9,9						
			356,95	357,95	1									
6	1И-3-13	370	350,55	352,85	2,3	348,5	357,1	8,6						
			353,15	353,85	0,7									
			353,85	354,15	0,3									
			356,85	358,25	1,4									
7	1И-3-14	383,7	351,15	351,75	0,6	349,1	356,7	7,6						
			351,95	353,75	1,8									
			356,75	357,15	0,4									
8	1И-3-15	388,7	350,65	356,95	6,3	348,5	358,1	9,6						
9	1И-3-16	379,1	355,15	356,85	1,7	350	357,8	7,8						
10	1И-1-10	373	347,35	352,65	5,3	346,6	356,3	9,7						
			353,35	354,75	1,4									
			356,95	357,65	0,7									
			358,15	359,65	1,5									
11	1И-1-11	380	347,55	353,35	5,8	347,2	357	9,8						
			357,25	358,25	1									
12	1И-1-12	388,4	347,65	348,25	0,6	348	357,6	9,6						
			349,65	350,25	0,6									
			350,65	352,85	2,2									
			358,45	358,85	0,4									

Продолжение таблицы 4.2

№ п/п	№ скв.	Глубина скважины, м	Рудные интервалы, м			Интервалы установки фильтров, м		
			от	до	всего	от	до	всего
13	1И-1-13	378,8	348,05	349,35	1,3	347,4	357,2	9,8
			350,75	354,95	4,2			
			355,55	355,85	0,3			
			357,05	358,65	1,6			
14	1И-1-14	378,7	347,65	356,75	9,1	347,1	356,8	9,7
			358,45	359,85	1,4			
15	1И-1-15	378,7	безрудная			350,2	358,1	7,9
16	1И-1-16	379,1	безрудная			349,7	357,5	7,8
<b>Наблюдательная скважина</b>								
17	1И-197НР	383,9	353,75	354,55	0,8	352	359,8	7,8
			354,55	354,75	0,2			
			354,75	356,45	1,7			
			358,05	358,35	0,3			

#### 4.2 Характеристика вскрытого уранового оруденения и фильтрационная характеристика пород

Для анализа качества вскрытия рудного тела, а также подсчета запасов урана были построены геотехнологические разрезы. Линии разрезов показаны на рисунке 4.2, разрезы представлены на рисунках 4.3-4.5, условные обозначения к плану и разрезам - на рисунке 4.6.

Основной вывод по качеству вскрытия: фильтры в закачных скважинах установлены на руду или несколько выше рудного тела, на откачных скважинах фильтры установлены на руду.

Оруденение на блоке № 1И локализуется на границе выклинивания зоны пластового окисления в проницаемых отложениях инкудукского горизонта верхнего мела.

В пределах площади опытного блока № 1И мощность проницаемой толщи инкудукского горизонта составляет порядка 130 м. Глубина залегания его кровли около 300 м, подошвы - 430 м.

Рудное тело на опытном блоке № 1И представлено преимущественно мешковой частью рудного тела, мощность которой достигает 7 м (в среднем составляет 5,8 м). Глубина залегания кровли рудного тела - 347 м, подошвы - 361 м.

Руды на опытном блоке всиячие (нижний водоупор отсутствует). Среди рудного тела отмечаются редкие и маломощные (до 1,0 м) линзы непроницаемых пород (песчаников, глин).

Таблица 4.3 - Вывод средних подсчетных параметров уранового оруденения на опытном блоке № 1И

№	№ скв.	Глубина скважины, м	Рудные интервалы, м		Средняя рудная мощность, м	Метро-процент по ЭВМ, м%	Среднее содержание урана, %	Удельная продуктивность, кг/м <sup>2</sup>
			от	до				
1	1И-2-8	378,9	348,35	355,65	7,3	0,3066	0,042	<b>7,74</b>
			355,95	356,25	0,3	0,0377	0,126	
			356,25	356,45	0,2	0,0389	0,195	
			356,45	357,15	0,7	0,0553	0,079	
			360,55	361,15	0,6	0,0133	0,022	
<b>Итого</b>			<b>348,35</b>	<b>361,15</b>	<b>9,1</b>	<b>0,4518</b>	<b>0,050</b>	
2	1И-2-9	388,9	350,55	353,75	3,2	0,136	0,043	<b>2,89</b>
			353,75	353,95	0,2	0,0133	0,067	
			353,95	354,25	0,3	0,0204	0,068	
<b>Итого</b>			<b>350,55</b>	<b>354,25</b>	<b>3,7</b>	<b>0,1697</b>	<b>0,046</b>	
3	1И-2-10	378,5	348,85	349,35	0,5	0,0101	0,020	<b>2,75</b>
			349,65	349,95	0,3	0,0063	0,021	
			350,35	353,85	3,5	0,1189	0,034	
			356,75	357,15	0,4	0,0193	0,048	
			357,15	357,35	0,2	0,005	0,025	
<b>Итого</b>			<b>348,85</b>	<b>357,35</b>	<b>4,9</b>	<b>0,1596</b>	<b>0,033</b>	
4	1И-2-11	379,3	351,65	352,85	1,2	0,0241	0,020	<b>10,08</b>
			353,35	354,65	1,3	0,0657	0,051	
			354,65	355,75	1,1	0,4001	0,364	
			355,75	357,35	1,6	0,1013	0,063	
<b>Итого</b>			<b>351,65</b>	<b>357,35</b>	<b>5,2</b>	<b>0,5912</b>	<b>0,114</b>	
5	1И-3-12	376	347,95	350,85	2,9	0,0577	0,020	<b>1,66</b>
			356,95	357,95	1	0,0402	0,040	
<b>Итого</b>			<b>347,95</b>	<b>357,95</b>	<b>3,9</b>	<b>0,0979</b>	<b>0,025</b>	
6	1И-3-13	370	350,55	352,85	2,3	0,0909	0,040	<b>4,63</b>
			353,15	353,85	0,7	0,0817	0,117	
			353,85	354,15	0,3	0,0289	0,096	
			356,85	358,25	1,4	0,0716	0,051	
<b>Итого</b>			<b>350,55</b>	<b>358,25</b>	<b>4,7</b>	<b>0,2731</b>	<b>0,058</b>	
7	1И-3-14	383,7	351,15	351,75	0,6	0,0168	0,028	<b>2,09</b>
			351,95	353,75	1,8	0,0946	0,053	
			356,75	357,15	0,4	0,0125	0,031	
<b>Итого</b>			<b>351,15</b>	<b>357,15</b>	<b>2,8</b>	<b>0,1239</b>	<b>0,044</b>	
8	1И-3-15	388,7	350,65	356,95	6,3	0,241	0,038	<b>4,07</b>
<b>Итого</b>			<b>350,65</b>	<b>356,95</b>	<b>6,3</b>	<b>0,241</b>	<b>0,038</b>	
9	1И-3-16	379,1	355,15	356,85	1,7	0,0407	0,024	<b>0,69</b>
<b>Итого</b>			<b>355,15</b>	<b>356,85</b>	<b>1,7</b>	<b>0,0407</b>	<b>0,024</b>	

Продолжение таблицы 4.3

№	№ скв.	Глубина скважины, м	Рудные интервалы, м		Средняя рудная мощность, м	Метро-процент по ЭВМ, м%	Среднее содержание урана, %	Удельная продуктивность, кг/м <sup>2</sup>
			от	до				
10	1И-1-10	373	347,35	352,65	5,3	0,1492	0,028	<b>7,41</b>
			353,35	354,75	1,4	0,1542	0,110	
			356,95	357,65	0,7	0,0511	0,073	
			358,15	359,65	1,5	0,0824	0,055	
<b>Итого</b>			<b>347,35</b>	<b>359,65</b>	<b>8,9</b>	<b>0,4369</b>	<b>0,049</b>	
11	1И-1-11	380	347,55	353,35	5,8	0,2383	0,041	<b>4,51</b>
			357,25	358,25	1	0,0264	0,026	
<b>Итого</b>			<b>347,55</b>	<b>358,25</b>	<b>6,8</b>	<b>0,2647</b>	<b>0,039</b>	
12	1И-1-12	388,4	347,65	348,25	0,6	0,0134	0,022	<b>1,74</b>
			349,65	350,25	0,6	0,0141	0,023	
			350,65	352,85	2,2	0,0594	0,027	
			358,45	358,85	0,4	0,0146	0,036	
<b>Итого</b>			<b>347,65</b>	<b>358,85</b>	<b>3,8</b>	<b>0,1015</b>	<b>0,027</b>	
13	1И-1-13	378,8	348,05	349,35	1,3	0,0726	0,056	<b>6,67</b>
			350,75	354,95	4,2	0,221	0,053	
			355,55	355,85	0,3	0,0187	0,062	
			357,05	358,65	1,6	0,0776	0,049	
<b>Итого</b>			<b>348,05</b>	<b>358,65</b>	<b>7,4</b>	<b>0,3899</b>	<b>0,053</b>	
14	1И-1-14	378,7	347,65	356,75	9,1	0,3263	0,036	<b>6,43</b>
			358,45	359,85	1,4	0,0562	0,040	
<b>Итого</b>			<b>347,65</b>	<b>359,85</b>	<b>10,5</b>	<b>0,3825</b>	<b>0,036</b>	
15	1И-1-15	378,7	безрудная					
16	1И-1-16	379,1	безрудная					
17	1И-197НР	383,9	353,75	354,55	0,8	0,0652	0,081	<b>4,95</b>
			354,55	354,75	0,2	0,0439	0,220	
			354,75	356,45	1,7	0,1714	0,101	
			358,05	358,35	0,3	0,0090	0,030	
<b>Итого</b>			<b>353,75</b>	<b>358,35</b>	<b>3,0</b>	<b>0,2895</b>	<b>0,097</b>	

Распределение параметров оруденения по площади опытного блока приведено на рисунках 4.7-4.10.

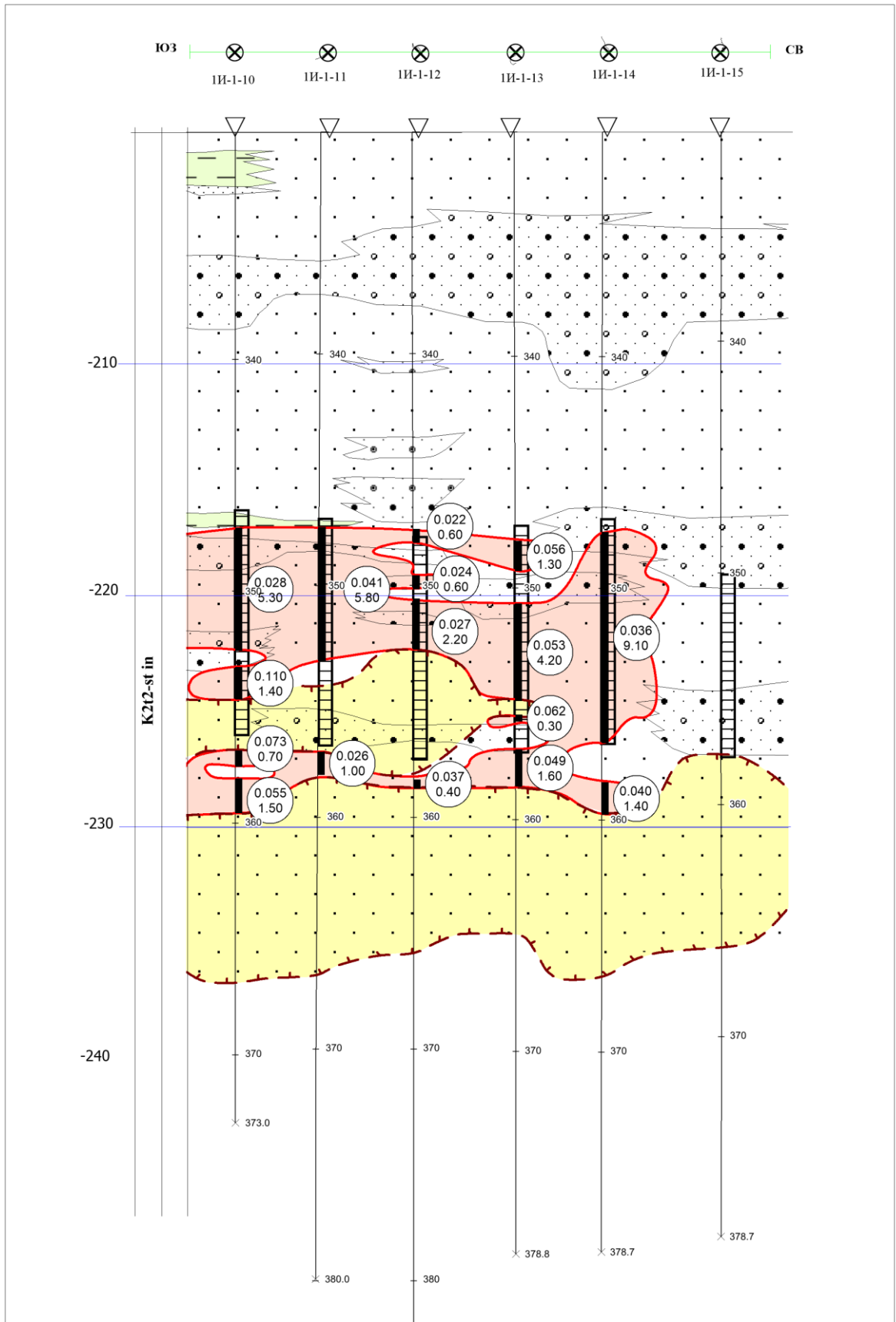


Рисунок 4.4 - Геотехнологический разрез по линии I

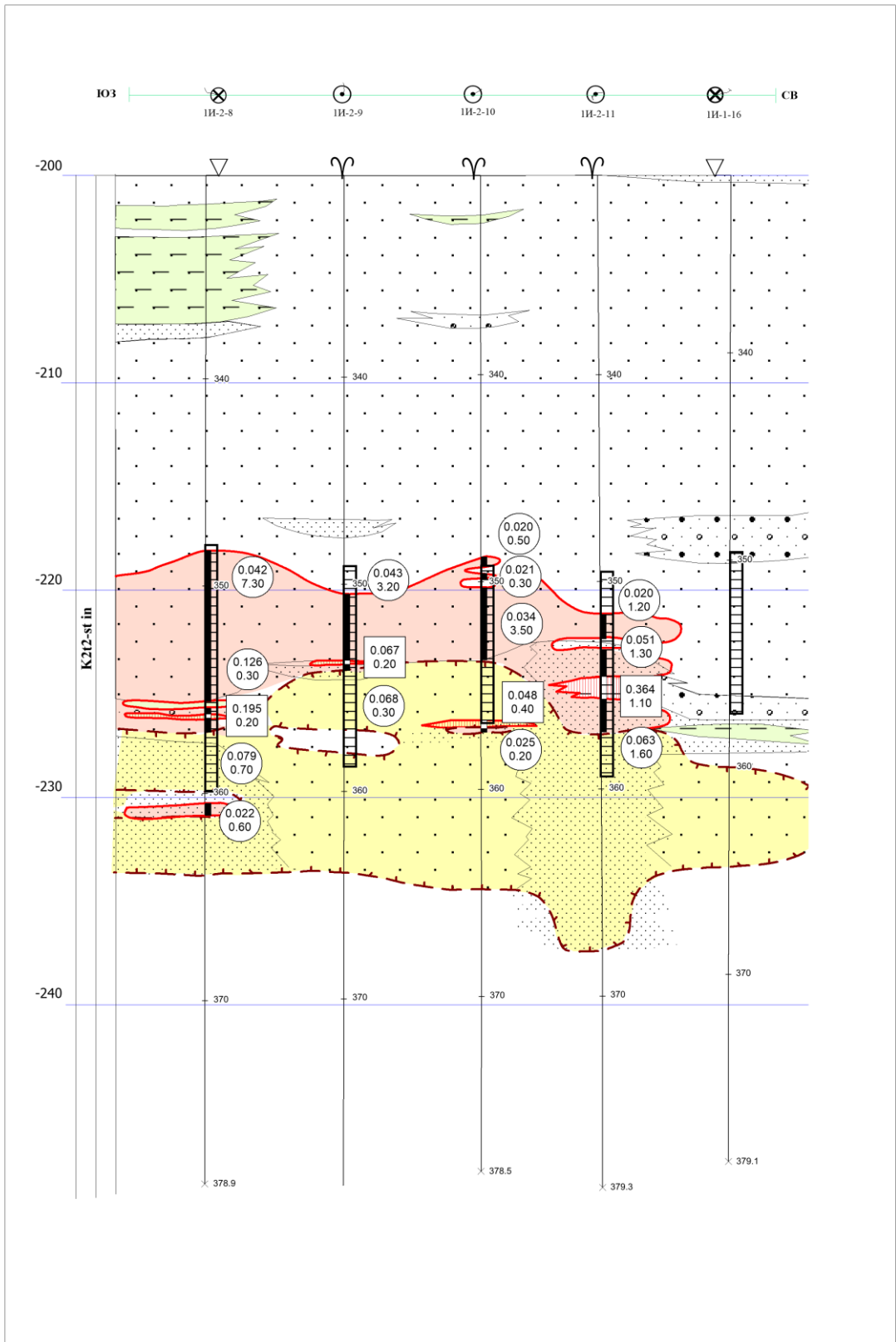


Рисунок 4.4 - Геотехнологический разрез по линии II

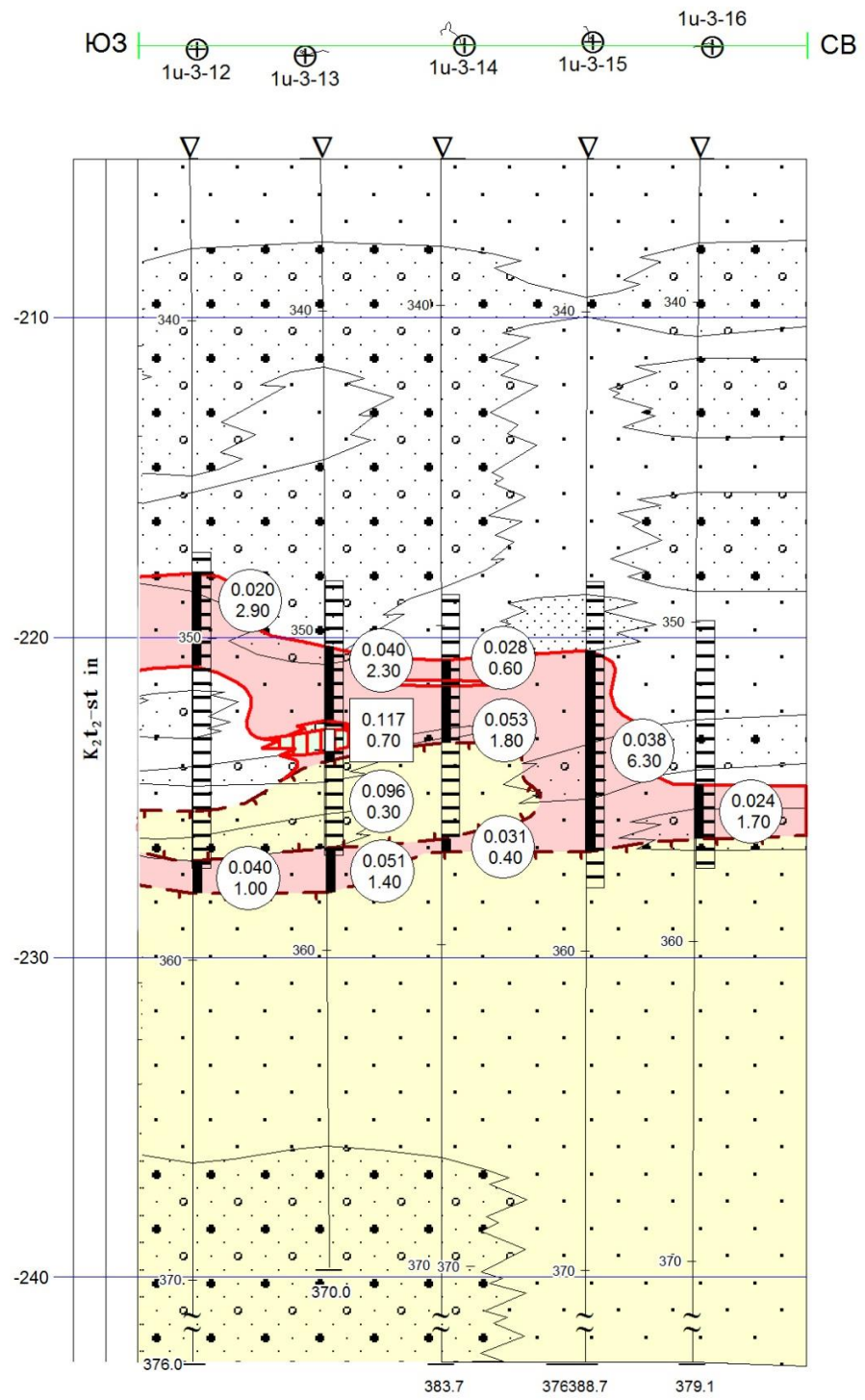
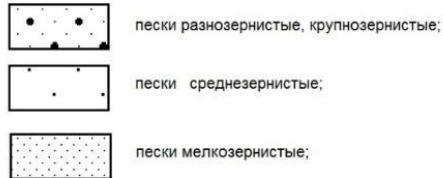


Рис. 4.5 - Геотехнологический разрез по профилю III

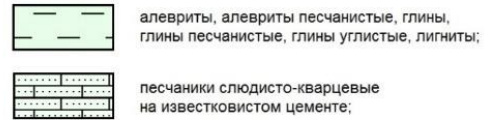
Буровые скважины:



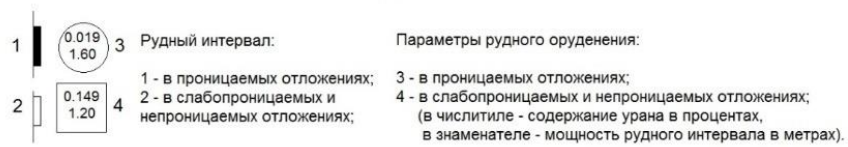
Водопроницаемые породы:



Водонепроницаемые породы:



Параметры уранового оруденения:



Контурь урановых рудных тел:

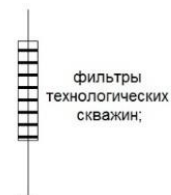
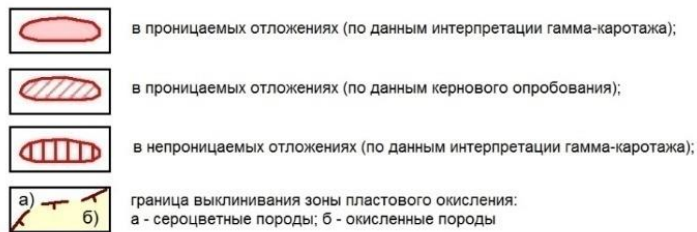


Рис. 4.6 – Условные обозначения к геотехнологическим разрезам



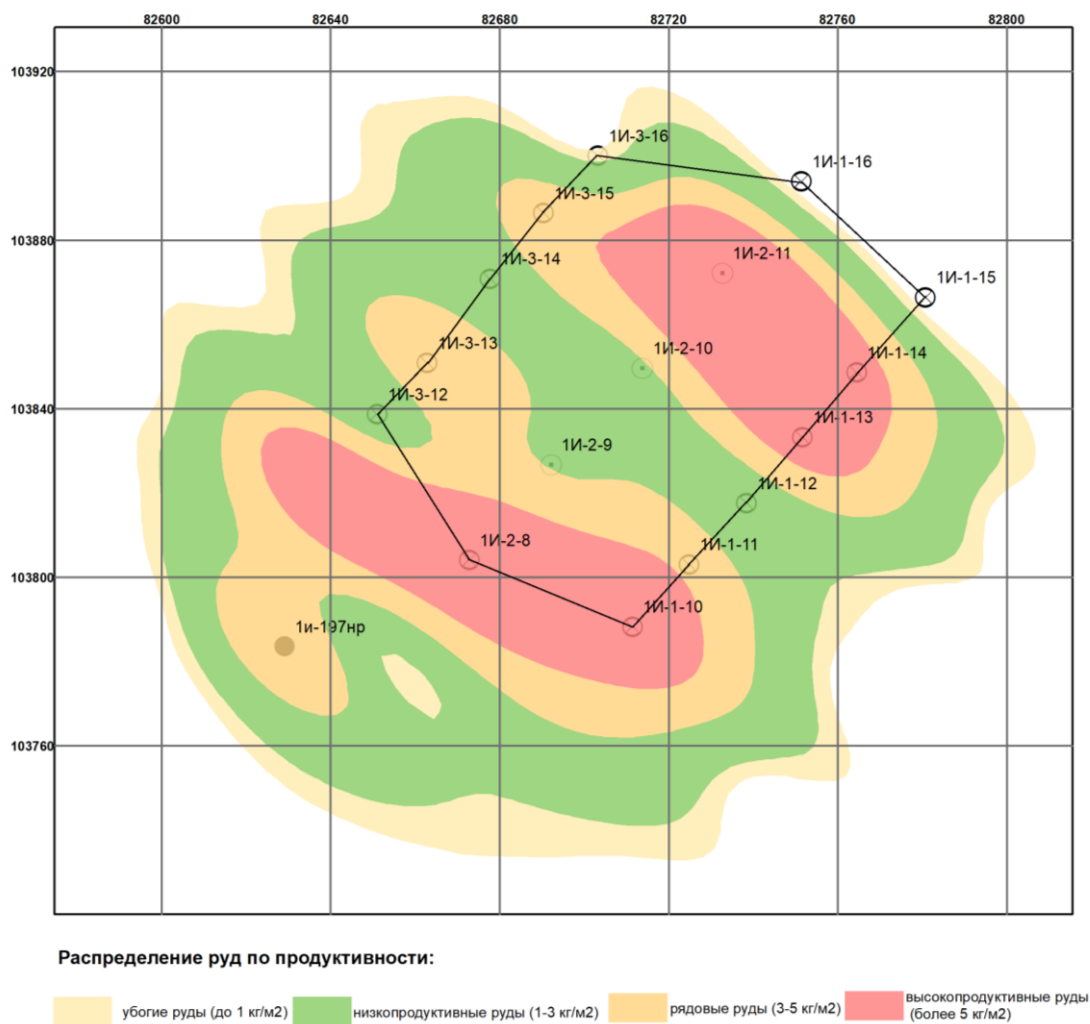


Рисунок 4.7 - Распределение удельной продуктивности по площади опытного блока № 1И

Продуктивность выражается в килограммах урана на 1 м<sup>2</sup> оцениваемой площади. Скважины №№ 1И-2-11, 1И-1-13, 1И-1-14 и 1И-2-8, 1И-1-10 являются высокопродуктивными (более 5 кг/м<sup>2</sup>) и они являются весьма благоприятными для отработки методом ПСВ. Убогие руды не встречаются. Руды в остальных скважинах относятся к низкопродуктивным и рядовым.

Среднее значение продуктивности по опытному блоку составляет 4,55 кг/м<sup>2</sup>. По продуктивности руды опытного блока относятся к рядовым и по степени пригодности отработки методом ПСВ являются благоприятным для отработки методом ПСВ.

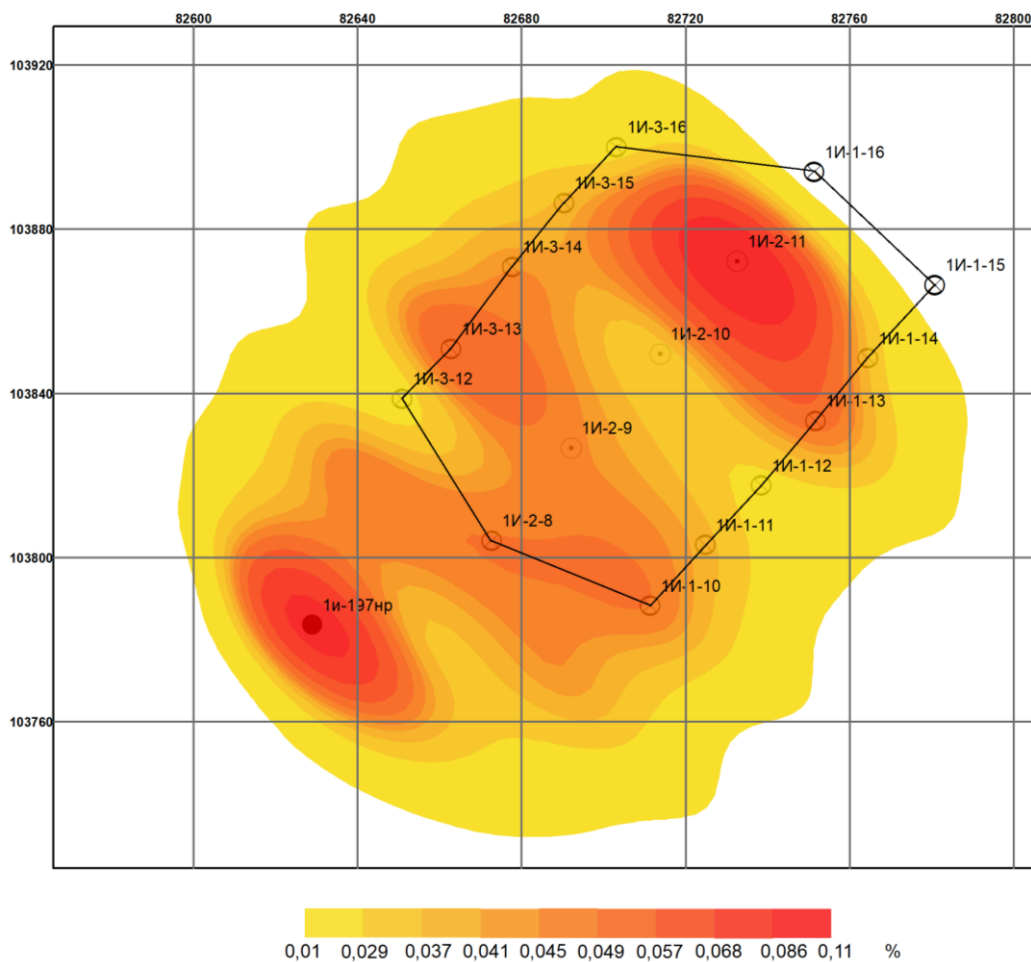


Рисунок 4.8 - Распределение содержания урана в руде по площади опытного блока № 1И

Содержание урана, средневзвешенное по мощности (сумма произведений мощности интервалов на содержание урана в каждом из них, деленная на сумму мощностей интервалов данной скважины), %.

Богатые руды (содержания урана более 1%) и рядовые (обычные) руды (0,1-1 %) по скважинам не встречаются.

Самое высокое содержание урана наблюдается в скважинах №№ 1И-211 и 1И-197нр.

По содержанию урана руды опытного блока относятся к бедным (содержание урана менее 0,1 %). Содержание урана варьирует от 0,024 до 0,114 %, составляя в среднем 0,049 %.

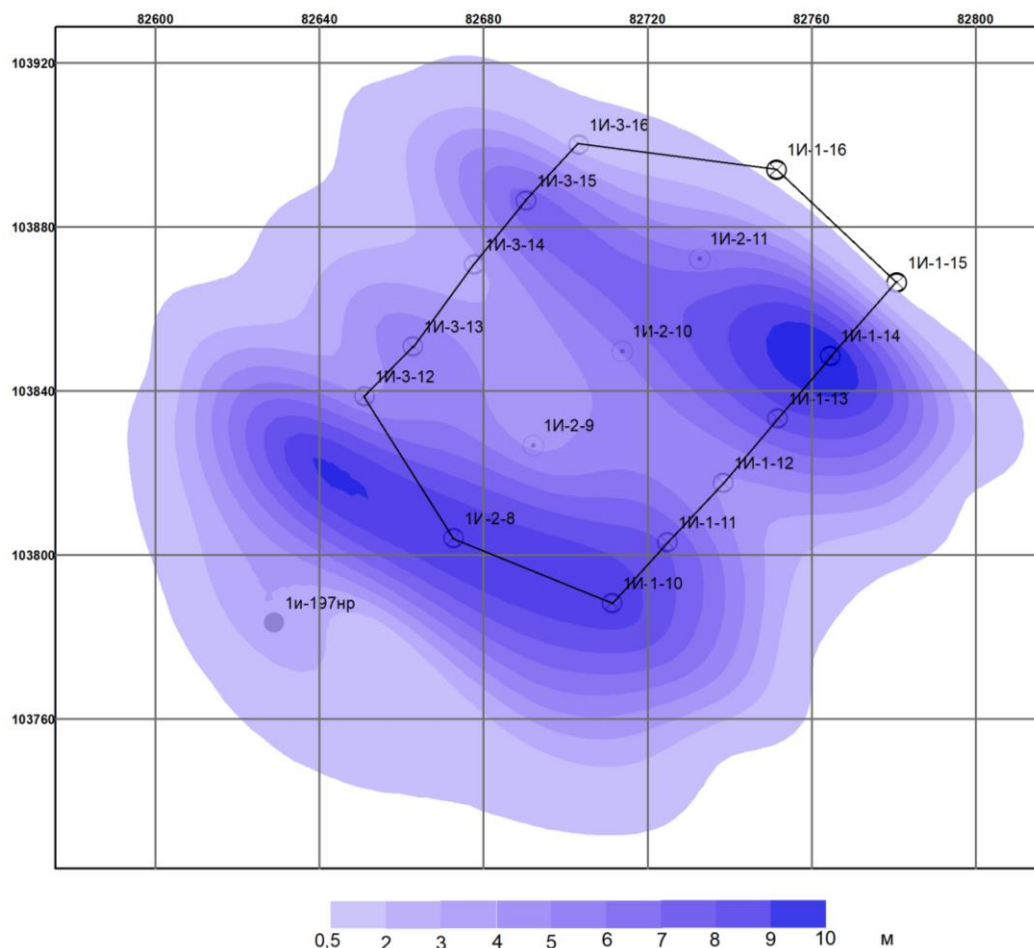


Рисунок 4.9 - Распределение рудной мощности по площади опытного блока № 1И

Рудная мощность рассчитывается как сумма рудных интервалов скважины и измеряется в метрах.

Мощность рудного тела по скважинам варьируется в пределах 1,7-10,5 м. Мощные руды (более 8 м) встречаются в скважинах №№ 1И-1-14, 1И-1-10, 1И-2-8. Средняя мощность по блоку составляет 4,9 м.

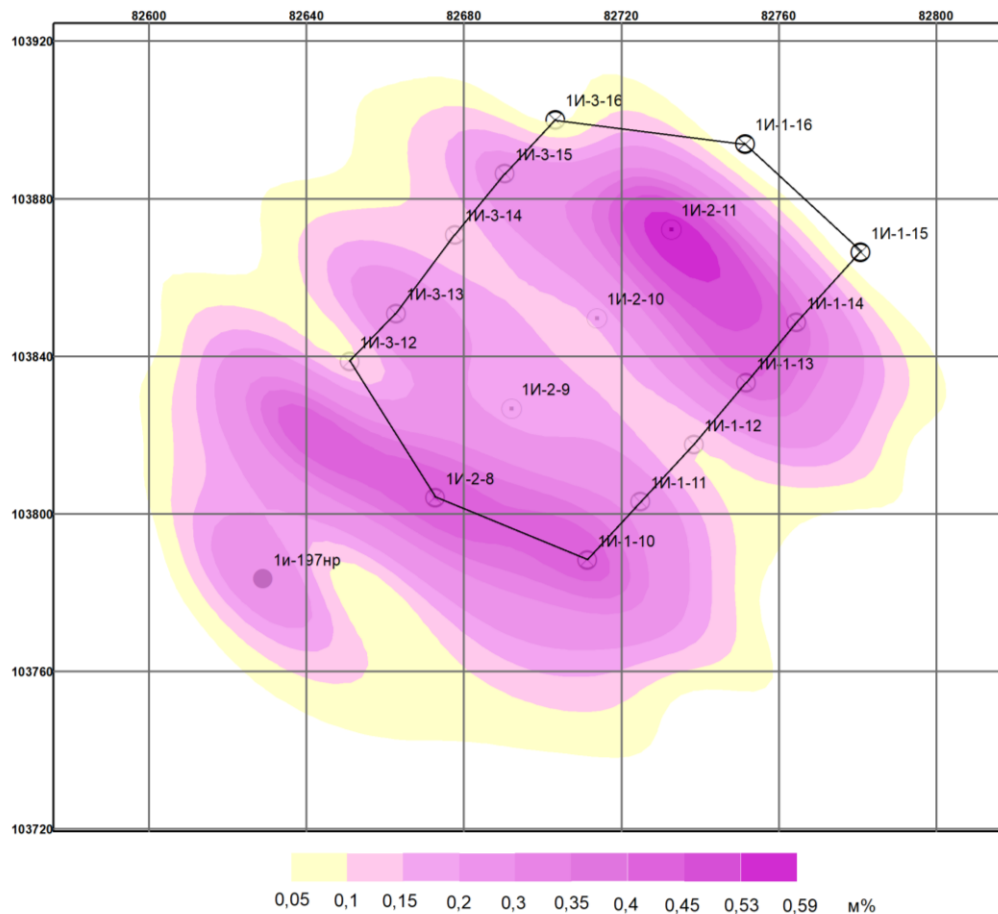


Рисунок 4.10 - Распределение метропроцента по площади опытного блока № 1И

Метропроцент получают перемножением мощности рудного интервала в метрах на содержание урана для этой мощности в процентах, м%. Высокие показатели метропроцента наблюдается в скважинах №№ 1И-2-11, 1И-2-8, 1И-1-10. Так как, в этих скважинах содержание урана высокое и встречаются мощные рудные интервалы.

Фильтрационная характеристика. Водопроницаемость пород определяется коэффициентом фильтрации. Коэффициент фильтрации руды должен быть не менее 1 м/сут для отработки месторождения методом ПСВ.

Рудовмещающий инкудукский горизонт на опытном блоке 1И представлен крупно- и разномерными песками с гравием и галькой, гравийно-галечниковыми отложениями и среднезернистыми песками, перемежающимися между собой, с редкими прослоями и линзами глин.

Определение фильтрационных характеристик пород проведено по геофизическим данным. Коэффициент фильтрации по скважинам в пределах эффективной мощности рассчитывался по формуле 4.1:

$$K_{\text{ф.скв}} = \frac{\sum (M_i \cdot K_{\text{фи}})}{\sum M_i}$$

где:  $M_i$  – мощность  $i$ -го литотипа;

$K_{\text{фи}}$  – коэффициент фильтрации  $i$ -го литотипа.

В таблице 4.4 приведены коэффициенты фильтрации по технологическим скважинам участков ОПВ по зоне проницаемых пород.

Таблица 4.4 - Средний коэффициент фильтрации в зоне фильтров скважин опытного блока № 1И

№ скважины	Средний коэффициент фильтрации (в пределах эффективной мощности), м/сут
1И-1-10	5,93
1И-1-11	6,36
1И-1-12	5,96
1И-1-13	7,16
1И-1-14	6,96
1И-1-15	7,99
1И-1-16	8,2
1И-2-8	4,16
1И-2-9	2,7
1И-2-10	4,69
1И-2-11	5,87
1И-3-12	0,85
1И-3-13	1,2
1И-3-14	0,9
1И-3-15	0,88
1И-3-16	3,95
1и-197нр	1,27
Средний коэффициент фильтрации по скважинам	4,41

Изменение коэффициента фильтрации на площади блока № 1И показано на рисунке 4.11.

Наилучшие результаты подземного выщелачивания получены при коэффициенте фильтрации 1-10 м/сут. При  $K_f > 10$  м/сут процесс ПСВ осуществляется удовлетворительно. Коэффициенты фильтрации 0,1-1 м/сут рассматриваются как менее благоприятные. Коэффициент фильтрации ниже 0,1 м/сут означает нецелесообразность ПСВ.

По значению коэффициента фильтрации проницаемыми породами (5,0 - 10,0 м/сут) являются породы в скважинах №№ 1И-1-10, 1И-1-11, 1И-1-12, 1И-1-13, 1И-1-14, 1И-1-15, 1И-1-16, 1И-2-11. Показатели типа практических не проницаемых (менее 0,5 м/сут) не встречаются. Остальные показатели коэффициента фильтрации являются слабо и умеренно проницаемыми.

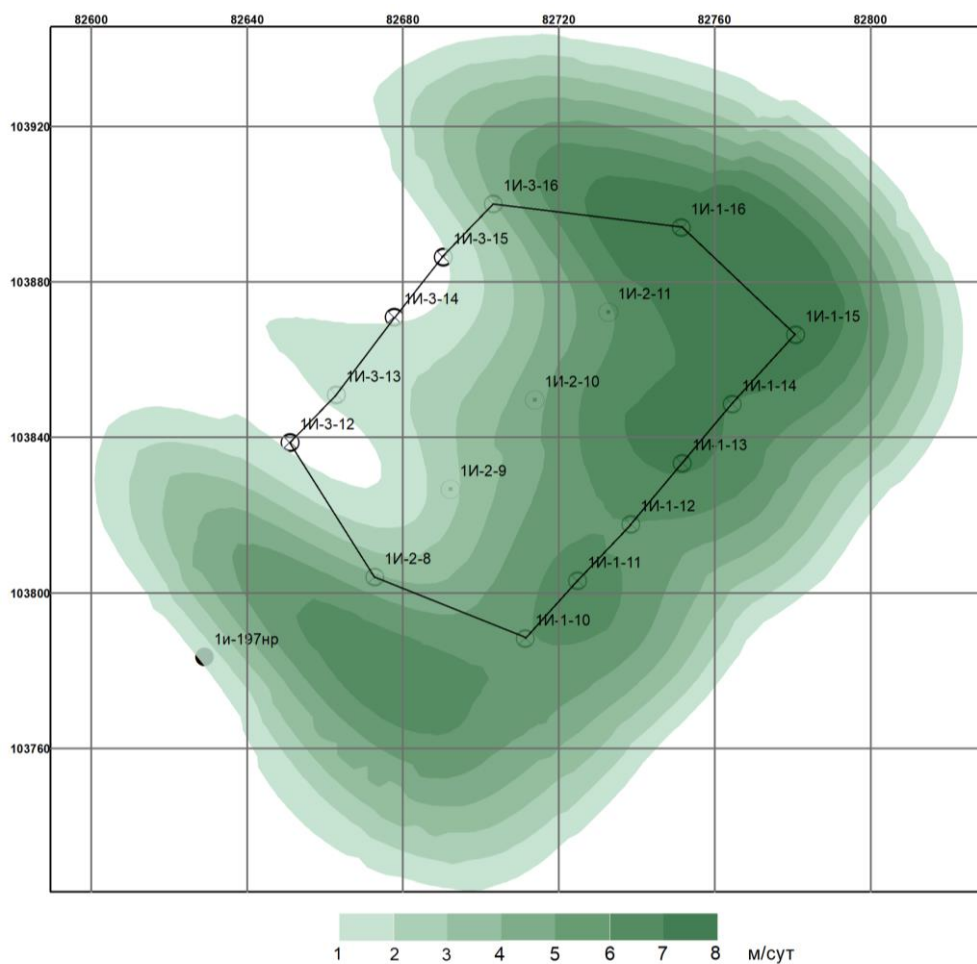


Рисунок 4.11 - План распределения коэффициентов фильтрации на опытном блоке № 1И.

Среднее значение коэффициента фильтрации в пределах площади опытного блока 1И равно 4,41 м/сут. По значению коэффициента фильтрации породы относятся к категории умеренно проницаемые породы.

## 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

### 5.1 Основные геотехнологические параметры опытного блока

Геотехнологические условия влияют на проведение ПСВ для изучаемого района. Конечная цель изучения геотехнологических условий – количественный прогноз основных эксплуатационных показателей для месторождения или его отдельных частей. Основными показателями являются: концентрация урана в продуктивных растворах (ПР), затраты на растворы, производительность скважин, степень извлечения, время отработки, отношение Ж:Т. Все эти показатели оцениваются на основе изучения комплекса природных факторов и эмпирических данных, характеризующих ход и результаты опытного ПВ урана на отдельных участках изучаемого месторождения. Прогнозные геотехнологические параметры позволяют объективно проводить оценку технологических блоков, прогноз закисления и добычи и экономические расчеты по отработке блока. Геотехнологические параметры по факту вскрытия опытного блока представлены в таблице 5.1 [4].

Таблица 5.1 - Геотехнологические параметры опытного блока 1И по факту вскрытия

Параметры	Ед. измерения	Значения
Площадь блока	тыс. м <sup>2</sup>	8,46
Геологические запасы урана	т	31
Степень извлечения	%	90
Извлекаемые запасы	т	27,9
Закисляемый объем	м <sup>3</sup>	164
Горнорудная масса	тыс. т	278
Средняя рудная мощность	м	5,51
Среднее содержание урана в руде	%	0,049
Средний метропроцент	м%	0,2676
Средняя продуктивность блока	кг/м <sup>2</sup>	4,55
Эффективная мощность (Мэф)	м	19,35
Плотность рудовмещающих пород	т/м <sup>3</sup>	1,70
Коэффициент фильтрации (в пределах Мэф)	м/сут	4,41
Эффективная пористость проницаемых пород	%	22
Водопроницаемость рабочего пласта рудовмещающего горизонта (Кф х Мэф)	м <sup>2</sup> /сут	85,33
Средняя глубина залегания рудного тела:		
- верхняя отметка	м	349,79
- нижняя отметка	м	358,06
Статический уровень вод	м	+20...25 м
Температура подземных вод	°С	43
Схема вскрытия	лин.-ряд.	38-42x30-32x17-25

## Продолжение таблицы 5.1

Параметры	Ед. измерения	Значения
Общее количество скважин	шт.	16
- откачных	шт.	3
- закачных	шт.	13
Отношение $N_{\text{зак.}}/N_{\text{отк.}}$	-	4,3
Средняя глубина скважин	м	380,2

### 5.2 Работа опытного блока на стадии закисления

В целом работа любого опытного или технологического блока (участка) в процессе ПСВ подразделяется на следующие стадии:

- 1) подготовка блока к работе;
- 2) закисление рудной залежи;
- 3) активное выщелачивание урана;
- 4) доработка блока;
- 5) вывод блока из эксплуатации.

Благодаря закислению блока создается благоприятная обстановка для перевода U в раствор.

С учетом морфологических параметров и состава рудных тел водно-физических характеристик продуктивного водоносного горизонта закисление проводилось в активном режиме. по закольцованной схеме сам на себя, при котором кислые растворы подавались в скважины закачные и производилась откачка из скважин откачных.

На первоначальной стадии закисления в течение 7-10 дней производилось ступенчатое повышение кислотности растворов от 10 г/л до 25 г/л. Далее - стабилизация кислотности растворов на уровне 15-17 г/л до окончания процесса.

Конец периода закисления опытного блока считается время появления в откачных скважинах не только наличие продуктивных растворов с содержанием урана выше 30 мг/л, но и достижение величины рН откачиваемых растворов на уровне 2,5 единиц.

Закисление блока началось 19 июля 2015 года и закончилось 7 ноября 2015 года (общее время составило 112 суток). После завершения стадии закисления - постепенное снижение кислотности растворов до 8-10 г/л.

Всего на стадии закисления на опытный блок 1И подано 900,7 тонн серной кислоты (100 %).

Основные геотехнологические показатели опытного блока 1И на стадии закисления:

- 1) время стадии закисления - 112 суток (3,6 месяца);
- 2) средняя приемистость закачных скважин – 2,1 м<sup>3</sup>/час;
- 3) подано в недра – 73,91 тыс. м<sup>3</sup> выщелачивающих растворов;
- 4) средний дебит откачных скважин - 5,2 м<sup>3</sup>/час;
- 5) поднято на поверхность - 41,86 тыс. м<sup>3</sup> продуктивных растворов;



- б) отношение Ж:Т - 0,15;
- 7) общий расход серной кислоты (100 %) – 900,7 тонн;
- 8) удельный расход серной кислоты – 3,24 кг/т ГРМ.

### **5.3 Работа опытного блока на стадии активного выщелачивания**

В стадии выщелачивания уран переходит в жидкую фазу и начинается откачка растворов.

С 08 ноября 2015 года опытный блок № 1И был переведен в режим добычи. Процесс добычи был начат с начальным средним содержанием урана 12 мг/л.

Фактические результаты проведения работ на опытном блоке № 1И на стадии активного выщелачивания приведены по состоянию на 25 июля 2018 года. Время выщелачивания составляет 1004 суток (33,3 месяцев).

Средняя фактическая производительность откачных скважин и опытного блока 1И в целом по продуктивным растворам (ПР) за отчетный период проведения опытных работ представлены в таблице 5.2.

Пиковое значение дебита в скважине № 1и-2-9 отмечено в феврале 2016 года и составило 9,1 м<sup>3</sup>/час, в скважине № 1и-2-10 в марте 2016 года - 12,3 м<sup>3</sup>/час, в скважине № 1и-2-11 в мае 2016 года – 10,7 м<sup>3</sup>/час.

В период активного выщелачивания за отчетный период на опытном блоке № 1И средний дебит откачных скважин по блоку 1И составил 6,4 м<sup>3</sup>/час.

Резкие падения производительности скважин свидетельствуют о сложном минералогическом составе рудовмещающих пород, которые при взаимодействии с кислотными растворами образуют продукты, вызывающие длительную химическую коагуляцию прифилтровой зоны, что устранялось проведением ремонтно-восстановительных работ.

Среднемесячная приемистость закачных скважин и производительность опытного блока 1И по выщелачивающим растворам (ВР) за отчетный период приведены в таблице 5.3.

Средняя приемистость закачных скважин по блоку составила - 1,5 м<sup>3</sup>/час. Приемистость закачных скважин колеблется в интервале от 0,6 м<sup>3</sup>/час до 3,4 м<sup>3</sup>/час (средняя приемистость закачных скважин - 1,5 м<sup>3</sup>/час).

Средняя производительность опытного блока 1И по продуктивным растворам составила 14,05 тыс. м<sup>3</sup>/месяц, по выщелачивающим – 14,13 тыс. м<sup>3</sup>/месяц.

Объемы растворов ВР от закачных скважин в ячейки вычислялись с учетом влияния откачных скважин. На рисунке 5.1 показаны взаимодействия скважин. Первоначально вычислялись ежедневные, затем месячные объемы растворов по откачным и закачным скважинам в блоке. Полученные месячные данные по объемам ПР и ВР по скважинам в блоках нормировались на объемы растворов ПР и ВР.

Таблица 5.2 - Среднемесячные дебиты откачных скважин и производительность опытного блока № 1И по ПР

Дата	Средние дебиты, м <sup>3</sup> /час			
	1И-2-9	1И-2-10	1И-2-11	Опытный блок 1И
ноябрь, 2015	6,4	2,9	7,1	5,4
декабрь, 2015	5,6	5,6	5,7	5,6
январь, 2016	5,9	8,1	4,5	6,1
февраль, 2016	9,1	11,7	7,7	9,5
март, 2016	5,9	12,3	4,5	7,6
апрель, 2016	6,4	11,7	5,2	7,7
май, 2016	6,0	12,2	10,7	9,7
июнь, 2016	6,1	11,5	9,9	9,2
июль, 2016	6,3	10,8	8,4	8,5
август, 2016	6,9	8,7	6,9	7,5
сентябрь, 2016	5,4	5,8	5,0	5,4
октябрь, 2016	6,5	6,9	9,8	7,7
ноябрь, 2016	5,9	7,2	5,9	6,3
декабрь, 2016	5,9	4,8	8,5	6,4
январь, 2017	6,9	7,2	6,4	6,8
февраль, 2017	6,7	6,9	7,2	7,0
март, 2017	3,4	6,9	6,1	5,5
апрель, 2017	7,1	7,4	8,1	7,5
май, 2017	7,1	5,2	6,2	6,2
июнь, 2017	6,6	6,1	5,6	6,1
июль, 2017	6,6	6,2	6,3	6,4
август, 2017	5,7	7,3	7,4	6,8
сентябрь, 2017	6,1	6,7	6,0	6,3
октябрь, 2017	5,0	3,3	7,7	5,3
ноябрь, 2017	4,7	5,9	5,6	5,4
декабрь, 2017	4,5	7,5	4,4	5,4
январь, 2018	5,2	7,9	3,9	5,7
февраль, 2018	4,4	7,5	2,5	4,8
март, 2018	4,7	7,2	1,7	4,5
апрель, 2018	3,9	4,1	2,6	3,6
май, 2018	3,0	5,3	5,4	4,6
июнь, 2018	6,4	8,9	5,0	6,8
июль, 2018	5,2	6,2	1,0	4,1
<b>Средние значения за отчетный период</b>	<b>5,8</b>	<b>7,4</b>	<b>6,0</b>	<b>6,4</b>
<b>Поднято на поверхность за отчетный период, тыс. м<sup>3</sup></b>	<b>140,308</b>	<b>177,882</b>	<b>145,527</b>	<b>463,717</b>

Для расчета баланса необходимо рассчитать объем закачки в каждую ячейку. Для этого для каждой ячейки прописывается формула, учитывающая распределение приемистостей каждой закачной скважины по взаимодействующим с ней откачным скважинам. Приемистость каждой закачной распределяется пропорционально дебитам взаимодействующих с ней откачных скважин.

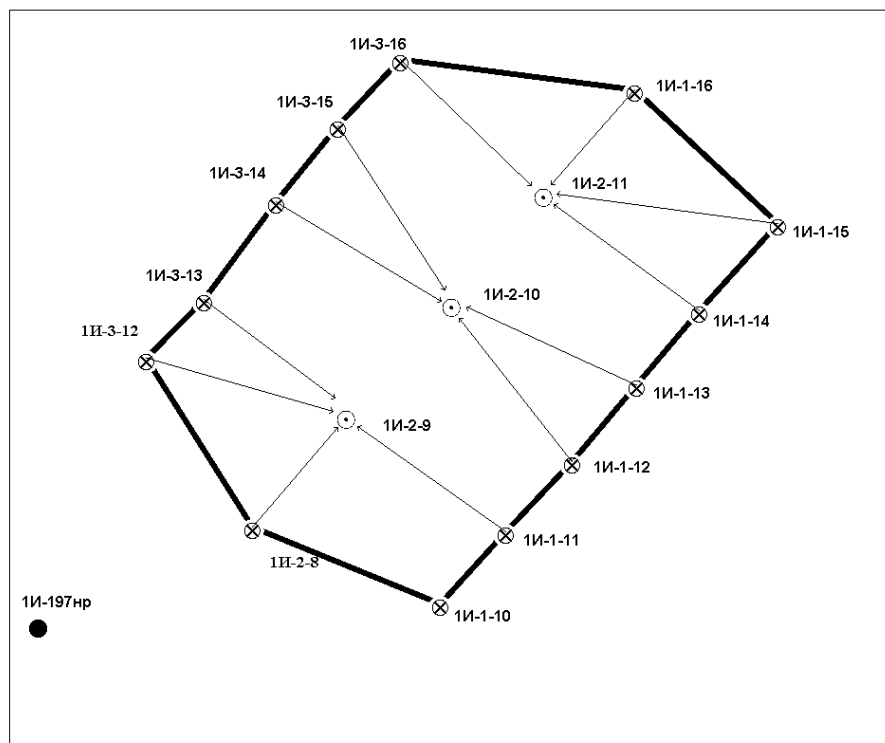


Рисунок 5.1 - Схема взаимодействующих скважин при расчете балансов по раствором

Таблица 5.3 - Среднемесячная приемистость закачных скважин и производительность опытного блока 1И по ВР

Дата	Приемистость, м <sup>3</sup> /час													1И
	1И-2-8	1И-3-12	1И-3-13	1И-3-14	1И-3-15	1И-3-16	1И-1-10	1И-1-11	1И-1-12	1И-1-13	1И-1-14	1И-1-15	1И-1-16	
ноябрь, 2015	2	1,6	1,2	1,8	1,1	1,4	2,1	1,2	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1,3
декабрь, 2015	2	1,7	1,4	1,9	0,9	1,4	2,3	1,4	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4
январь, 2016	0,4	2	1,6	1,9	0,9	1,6	2,6	2,4	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,5
февраль, 2016	0	1,7	1,3	2,1	1	2,9	2,9	2,3	4,5	3,6	2,9	1,2	2,5	2,2
март, 2016	0	1,4	1	1,6	0,8	2,4	2,7	2,5	4,9	3,3	2,9	0,7	2,3	2

Продолжение таблицы 5.3

Дата	Приемистость, м <sup>3</sup> /час													
	ИИ-2-8	ИИ-3-12	ИИ-3-13	ИИ-3-14	ИИ-3-15	ИИ-3-16	ИИ-1-10	ИИ-1-11	ИИ-1-12	ИИ-1-13	ИИ-1-14	ИИ-1-15	ИИ-1-16	ИИ
апрель, 2016	0,7	0,8	0,6	0,9	0,5	2,6	1,4	2,8	3,6	2,7	2,1	0,6	1,7	1,6
май, 2016	1,5	0,6	0,6	1,3	0,4	2,6	2,3	4	3,7	3	2,3	0,4	2,3	1,9
июнь, 2016	1,7	0,6	0,6	1,4	0,5	3	2,6	3,4	3,5	2,8	2,2	0,5	2,2	1,9
июль, 2016	1,9	0,6	0,6	1	0,4	2,4	2,3	2,7	3,1	2,5	1,9	0,4	1,9	1,7
август, 2016	1,8	0,6	0,6	0,9	0,5	2	2,1	2,3	2,7	2,3	1,6	0,4	1,7	1,5
сентябрь, 2016	1,5	0,5	0,6	0,8	0,5	2	1,8	2	2,3	2,1	2,8	0,5	1,2	1,4
октябрь, 2016	1,4	1,1	0,4	1,2	0,7	2,1	2,2	1,8	3,2	3,2	1,8	0,6	1,9	1,7
ноябрь, 2016	0,1	1,6	0,9	1,9	1	3,7	2,1	1,6	3,4	4,4	1,6	1	1,2	1,9
декабрь, 2016	1,4	1,3	1,7	1,4	0,8	2,9	2	1,9	3,4	3,6	1,5	0,7	1,2	1,8
январь, 2017	1,3	1,4	1,5	1,3	0,8	1,7	2,7	3,1	4,3	3,1	1,4	0,8	1,8	1,9
февраль, 2017	1,3	0,9	1,1	0,9	0,6	3,1	1,4	2,9	4,2	2,4	1,8	0,6	2,1	1,8
март, 2017	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4	1,7	0,9	1,5	2,6	1,6	1,1	0,4	1,2	1,1
апрель, 2017	0	1	1,2	1	0,7	1,3	1,9	1,7	3,6	1,8	1,6	0,7	1,4	1,4
май, 2017	0,4	0,9	1	0,8	0,6	0,4	2,6	3,2	4,5	2,9	2,6	0,2	0,3	1,6
июнь, 2017	1,4	0,6	0,9	0,6	0,5	2,3	2,5	2,3	3,6	2,1	1,8	0,5	1,2	1,5
июль, 2017	1,5	0,7	0,8	0,6	0,5	2,3	2,4	2,1	3,6	2,1	1,7	0,5	1,7	1,6
август, 2017	2	0,5	0,5	0,4	0,3	2,8	2,5	2	3,8	2,2	1,8	0,5	1,6	1,6
сентябрь 2017	2,9	0,1	0	0	0	3	2,4	1,6	3,6	1,8	1,4	0,4	1,3	1,4
октябрь, 2017	2,1	0,6	0,6	0,4	0,3	3,1	1,8	1,8	3,8	1,7	1,5	0,5	1,4	1,5
ноябрь, 2017	1	0,4	1	0,9	0,6	0,9	0,4	1	4,4	2,6	2,1	0,6	1,3	1,3
декабрь, 2017	0,8	0	0,8	0,7	0,5	0,7	0	0,9	5	2,3	1,7	0,5	0,9	1,1

Продолжение таблицы 5.3

Дата	Приемистость, м <sup>3</sup> /час													
	1-2-И1	1-3-И1	1-3-И1	1-3-И1	1-3-И1	1-3-И1	1-1-И1	1-1-И1	1-1-И1	1-1-И1	1-1-И1	1-1-И1	1-1-И1	И1
январь, 2018	0,9	0	0,8	0,7	0,5	2,4	0	1,6	5	2,2	1,7	0,5	0,5	1,3
февраль, 2018	0,8	0	0,9	0,7	0,8	2,5	0	1,5	4	1,6	1,2	0,3	0	1,1
март, 2018	0,8	0,7	0,9	0,7	0,8	2,2	0	1,4	4	1,5	1,2	0,4	0	1,1
апрель, 2018	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	1,8	0	1,2	3,3	1,4	1	0,4	0,1	0,9
май, 2018	0	0,4	0,6	0,4	0,4	1,2	0	0,9	2,6	1	0,8	0,5	1,8	0,8
июнь, 2018	0	0,8	0,7	0,8	1	1,3	0,7	0,9	2,7	2	1	1,4	1,8	1,2
июль, 2018	0	1,1	1,1	0,9	0,7	0	1,1	1,2	2,2	1,9	0,7	0,4	1,1	1
Средние значения	1,1	0,8	0,9	1	0,6	2	1,7	2	3,4	2,3	1,6	0,6	1,4	1,5
Подано в недра, тыс. м <sup>3</sup>	25,9	20,2	21,0	24,0	14,9	49,3	40,1	47,6	81,7	54,6	39,7	14,4	32,7	466,18

#### 5.4 Объемы продуктивных и выщелачивающих растворов

Для анализа распределения рабочих растворов в блоке, ячейках и скважинах использованы ежедневные данные по производительности и приемистости технологических скважин.

Средняя производительность опытного блока № 1И за отчетный период приведена таблице 5.4

В таблицах 5.2 – 5.3 приведены объемы ПР и ВР по ячейкам блока и по блоку в целом, в таблице 5.5 - распределение рабочих растворов по скважинам и ячейкам опытного блока № 1И.

Таблица 5.4 - Средняя производительность опытного блока № 1И

Параметр	Един. измерения	Значения
Средний дебит откачных скважин	м <sup>3</sup> /час	6,4
Средняя приемистость закачных скважин	м <sup>3</sup> /час	1,5
Ср. месячная производительность по ПР	тыс. м <sup>3</sup>	14,05
Ср. месячная производительность по ВР	тыс. м <sup>3</sup>	14,13
Объемы ПР при выщелачивании	тыс. м <sup>3</sup>	463,717
Объемы ВР при выщелачивании:	тыс. м <sup>3</sup>	466,180

Таблица 5.5 - Объемы рабочих растворов по ячейкам на стадии активного выщелачивания на опытном блоке № 1И

№ ячейки	ВР, тыс. м <sup>3</sup>	ПР, тыс. м <sup>3</sup>	ПР-ВР, тыс. м <sup>3</sup>	Дебаланс, %
1и-2-9	154,743	140,31	-14,44	10,29
1и-2-10	167,735	177,88	10,15	5,70
1и-2-11	143,701	145,53	1,83	1,25
<b>Всего по блоку</b>	<b>466,18</b>	<b>463,72</b>	<b>-2,46</b>	<b>0,53</b>

Баланс ежемесячных объемов продуктивных и выщелачивающих растворов приведен на рисунке 5.2.

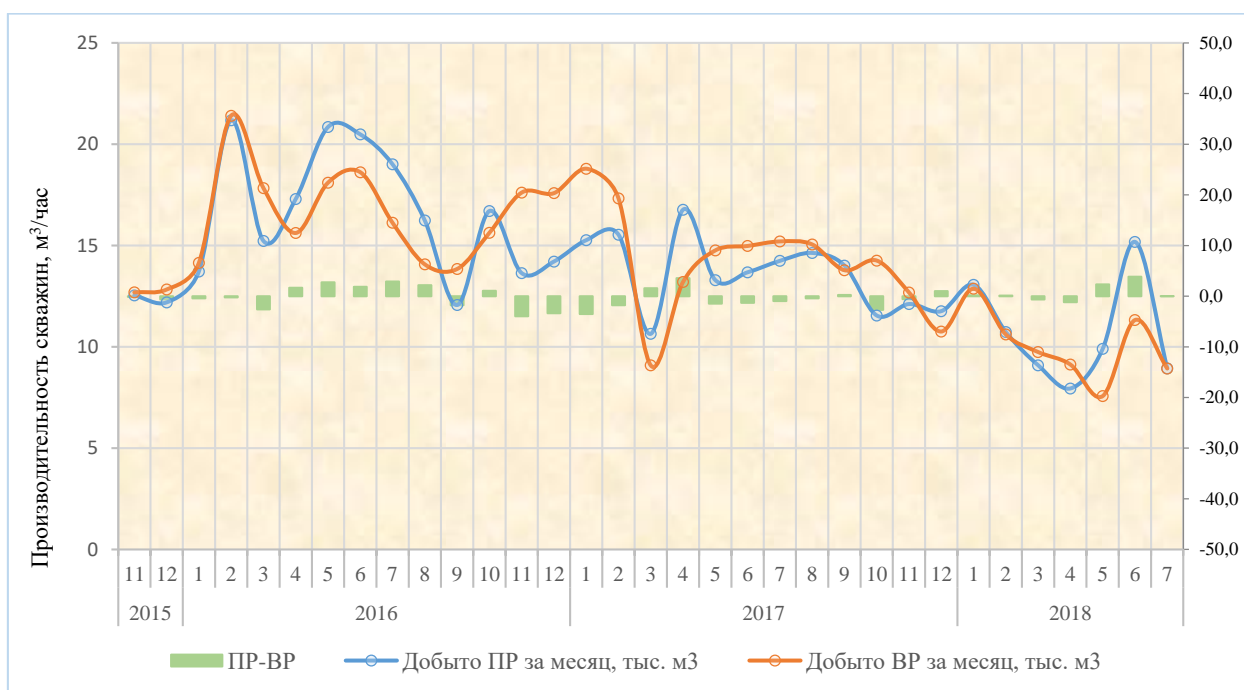


Рисунок 5.2 - Ежемесячные объемы продуктивных и выщелачивающих растворов по опытному блоку № 1И

Как видно из таблиц и из рисунка, на протяжении всего периода проведения работ по ячейкам 1И-2-10 и 1И-2-11 объемы продуктивных растворов чуть превышали выщелачивающие растворы, поданные в закачные скважины. Это приводит к тому, что продуктивные растворы разбавляются пластовыми водами, что, в свою очередь, ведет к снижению концентрации урана. Такой дебаланс приводит к увеличению расхода кислоты и значения отношение жидкого к твердому, также уменьшается концентрация металла в ПР.

В ячейке 1И-2-9 выщелачивающие растворы превышают продуктивные растворы на 14,44 тыс. м<sup>3</sup>. Значит произошло растекание растворов за пределы зон влияния откачных скважин.

За отчетный период в целом по опытному блоку 1И наблюдается дебаланс в сторону выщелачивающих растворов. В недра было подано 466,18 тыс. м<sup>3</sup>, а поднято и переработано - 463,72 тыс. м<sup>3</sup>, разница -2,46 тыс. м<sup>3</sup>. Превышение ВР над ПР на 0,53 % по опытному блоку. В целом, по блоку сохранился дебаланс между ПР и ВР, растворы не сильно разубожились и потеря растворов незначительна.

### 5.5 Характеристика продуктивных растворов

Разные валентности урана взаимодействуют с реагентом по-разному. U<sup>6+</sup> в серной кислоте выщелачивается быстрее по сравнению с U<sup>4+</sup>. Перевод U<sup>4+</sup> в U<sup>6+</sup> достигается взаимодействием специальных окислителей. Окислительно-восстановительные реакции – необходимая составная часть выщелачивания. Соотношения концентраций Fe<sup>+3</sup> и Fe<sup>+2</sup> определяют значения этих реакций. Если значения Fe<sup>+3</sup> увеличатся, то это влияет на повышение значений окислительно-восстановительного потенциала (ОВП).

Окислителем U<sup>4+</sup> является Fe<sup>+3</sup>, которое можно получить путем окисления ионов Fe<sup>+2</sup>, содержащегося в ВР, либо – при высокой степени окисленности ГРМ – извлечь непосредственно из исходных пород. Во время закисления сероводород восстанавливает U<sup>6+</sup> до U<sup>4+</sup>, при pH<4 [4].

При значений окислительно-восстановительного показателя (ОВП) +300 мВ все железо находится в форме Fe<sup>+2</sup> и ожидать появления U<sup>4+</sup> нет оснований, при +300 - +450 мВ - в соотношении 1:1, при +550 мВ почти все железо находится в форме Fe<sup>+3</sup> [4].

Сульфат железа (+3) окисляет содержащийся в настурине и в кофферите уран, а серная кислота растворяет его, переводя в форму сульфата уранила UO<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [4].

Характеристика продуктивных растворов по опытному блоку 1И (содержание урана, Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>; ОВП растворов, pH, кислотность) из откачных скважин приведена в таблице 5.6. Динамика изменения характеристик продуктивных растворов по опытному блоку 1И приведен на рисунке 5.3.

Дефицит окислителя (Fe<sup>3+</sup>) приводит к уменьшению концентрации урана. Это приводит к увеличению расхода кислоты, срока отработки, и влияет на стоимость продукции [4].

По полученным данным, можно анализировать, что исходное соотношение в ГРМ легко выщелачиваемых форм Fe<sup>+3</sup>/Fe<sup>+2</sup> в интервале 0,3-0,6. Снижение значения Fe<sup>+3</sup>/Fe<sup>+2</sup> в районе откачных скважин до 0,07-0,17 объясняется тем, что при закислении Fe<sup>+3</sup> немедленно начинает расходоваться на окисление находящихся в пласте восстановителей, причем лишь 2-5 % Fe<sup>+3</sup> расходуется на окисление урана.

Как видно по графику значения pH в начале выщелачивания высок. В силу отсутствия соединений шестивалентного урана (восстановительная обстановка, ОВП низок, +264 мВ) уран остается пассивным. Дальше pH резко падает до pH 2 и ниже, в растворах появляется уран.

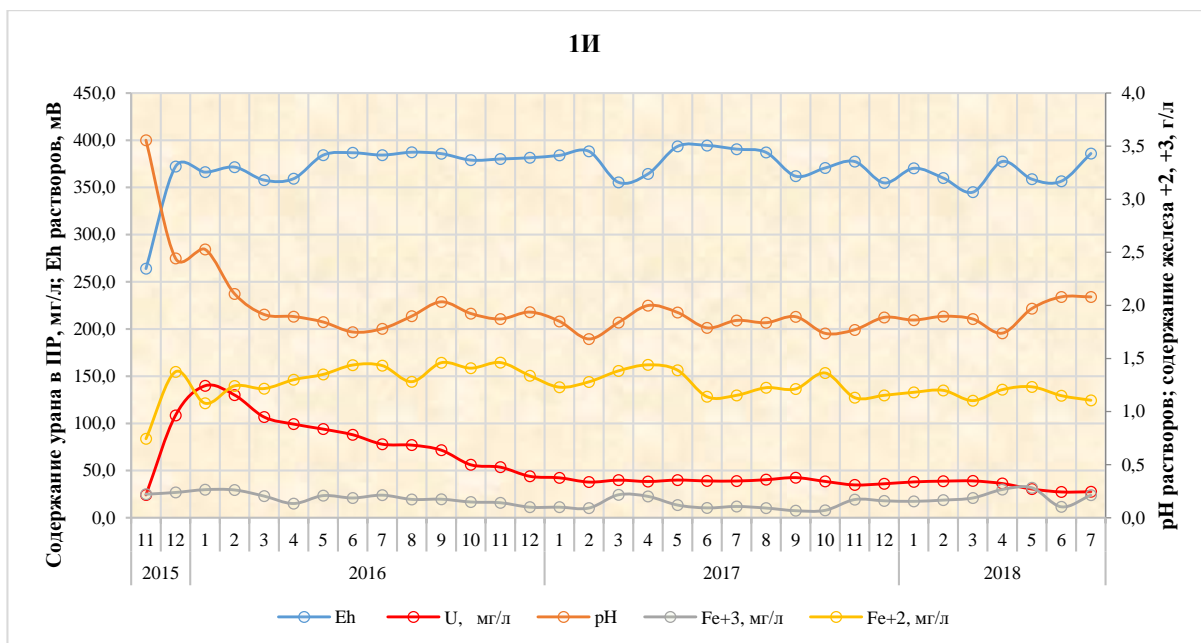


Рисунок 5.3 - Динамика изменения характеристики продуктивных растворов по опытному блоку № 1И

Величина рН достигла значения в 2,1 единицы в феврале 2016 года, а значит, как видно из графика, в этот период блок был полностью закислен. Далее рН поддерживалась в значениях 1,8-2,0 единицы.

ОВП стабильно поддерживалось на уровне 350-400 мВ.

Таблица 5.6 - Характеристика продуктивных растворов по откачным скважинам опытного блока № 1И

Дата	1И				
	U, мг/л	Eh	pH	Fe <sup>+3</sup> , мг/л	Fe <sup>+2</sup> , мг/л
ноябрь, 2015	24,3	264,1	3,6	0,2	0,7
декабрь, 2015	108,5	372,2	2,4	0,2	1,4
январь, 2016	139,9	366,3	2,5	0,3	1,1
февраль, 2016	130,1	371,6	2,1	0,3	1,2
март, 2016	106,8	357,8	1,9	0,2	1,2
апрель, 2016	99,3	359,3	1,9	0,1	1,3
май, 2016	94,0	384,2	1,8	0,2	1,4
июнь, 2016	88,0	386,8	1,7	0,2	1,4
июль, 2016	78,0	384,3	1,8	0,2	1,4
август, 2016	77,0	387,3	1,9	0,2	1,3
сентябрь, 2016	71,7	385,8	2,0	0,2	1,5
октябрь, 2016	56,2	379,0	1,9	0,1	1,4
ноябрь, 2016	53,7	380,2	1,9	0,1	1,5
декабрь, 2016	44,0	381,5	1,9	0,1	1,3
январь, 2017	42,4	384,0	1,9	0,1	1,2
февраль, 2017	37,9	388,3	1,7	0,1	1,3
март, 2017	39,9	355,5	1,8	0,2	1,4



Продолжение таблицы 5.6

Дата	1И				
	U, мг/л	Eh	pH	Fe <sup>+3</sup> , мг/л	Fe <sup>+2</sup> , мг/л
апрель, 2017	38,5	364,3	2,0	0,2	1,4
май, 2017	40,0	393,5	1,9	0,1	1,4
июнь, 2017	39,1	394,5	1,8	0,1	1,1
июль, 2017	39,0	390,6	1,9	0,1	1,2
август, 2017	40,4	387,2	1,8	0,1	1,2
сентябрь, 2017	42,6	362,0	1,9	0,1	1,2
октябрь, 2017	38,6	370,7	1,7	0,1	1,4
ноябрь, 2017	34,9	377,5	1,8	0,2	1,1
декабрь, 2017	36,1	354,8	1,9	0,2	1,2
январь, 2018	38,1	370,3	1,9	0,2	1,2
февраль, 2018	38,9	360,0	1,9	0,2	1,2
март, 2018	39,1	345,0	1,9	0,2	1,1
апрель, 2018	36,3	377,5	1,7	0,3	1,2
май, 2018	30,5	358,8	2,0	0,3	1,2
июнь, 2018	27,4	356,7	2,1	0,1	1,2
июль, 2018	27,6	386,0	2,1	0,2	1,1

**5.6 Область растекания растворов в плане**

Растекание рабочих растворов за пределы опытного блока в плане изучалось по данным опробования наблюдательных скважин и построения плана векторов градиента напора, основанного на фактических данных производительности технологических скважин.

Наблюдательные скважины наблюдают и контролируют растекание растворов и геохимическое состояние горизонта.

На опытном блоке сооружена одна законтурная наблюдательная скважина 1И-197НР.

Геохимическая характеристика растворов наблюдательной скважины приведена в таблице 5.7.

Таблица 5.7 - Геохимическая характеристика растворов из наблюдательных скважин опытного блока ОПВ 1И.

Дата	Законтурная скважина	
	1и-196нр	
	С <sub>u</sub> , мг/л	pH
18.08.15	1	7,18
30.09.15	1,3	4,31
10.10.15	1	4,39
29.10.16	1	6,34
10.11.16	239	1,9
31.03.17	39,7	1,94

Проанализировав баланс продуктивных и выщелачивающих растворов, а также работу наблюдательной скважины, стало ясно, что выщелачивающие растворы растекаются за пределы опытного блока. Растекание растворов за пределы блока происходит на 20-30 м. Также имеет место подтягивание пластовых вод откачными скважинами и, как следствие, разубоживание продуктивных растворов. Очевидно, что закачные скважины не обеспечивают необходимых объемов выщелачивающих растворов.

### 5.7 Добыча урана и степень отработки запасов урана

Динамика изменения добычи урана по опытному блоку 1И представлена на рисунке 5.4.

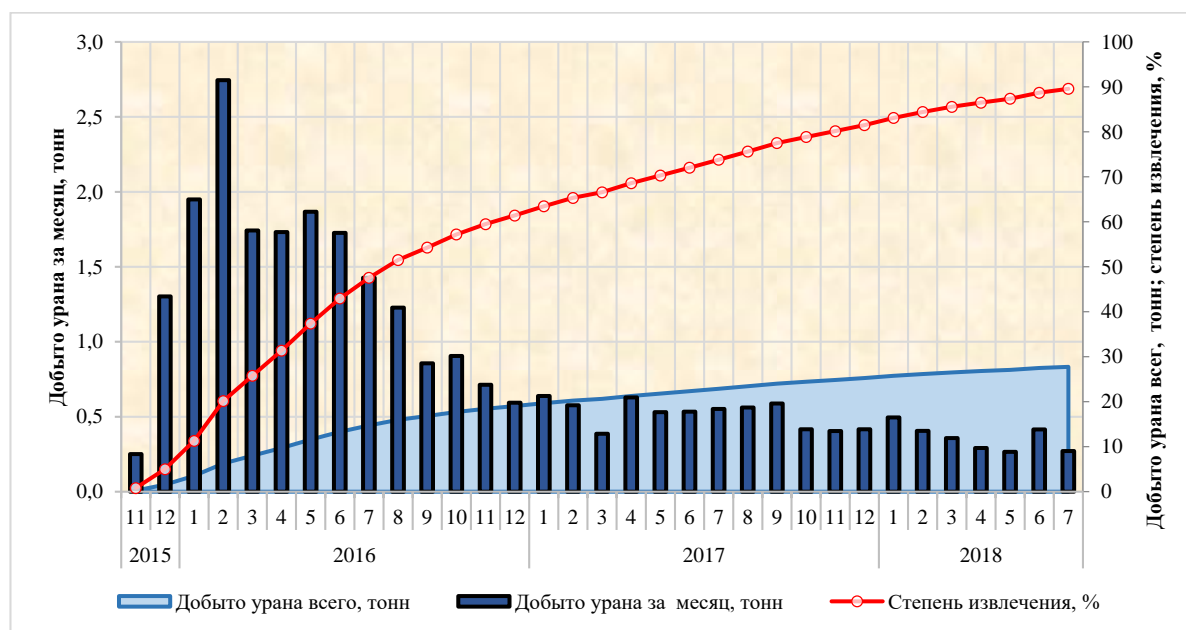


Рисунок 5.4 - Динамика изменения добычи и степени извлечения урана из недр по опытному блоку № 1И

Динамика добычи урана в целом находилась в соответствии и изменениями производительности технологических скважин и кислотности выщелачивающих растворов.

Наблюдается волнообразная динамика изменения добычи урана. Наиболее эффективное выщелачивание и соответственно добыча урана из недр отмечена в феврале 2016 года. За этот период месячная добыча достигла пика и составила 2745 кг. Затем последовало снижение объема добычи. На конец отчетного периода добыча урана составила 271 кг.

При определении коэффициентов извлечения принимались запасы равные 31 т.

На основании анализа и обработки результатов проведения опытных работ определен параметр Ж/Т. Результаты подсчета приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8- Отношение Ж/Т на опытном блоке № 1И

Дата	ГРМ, тыс. т	ВР с нарастающим итогом, тыс. м <sup>3</sup>	Ж/Т
ноябрь, 2015	278	12,5	0,05
декабрь, 2015		24,7	0,09
январь, 2016		38,5	0,14
февраль, 2016		59,6	0,21
март, 2016		74,9	0,27
апрель, 2016		92,2	0,33
май, 2016		113,0	0,41
июнь, 2016		133,5	0,48
июль, 2016		152,5	0,55
август, 2016		168,7	0,61
сентябрь, 2016		180,8	0,65
октябрь, 2016		197,5	0,71
ноябрь, 2016		211,2	0,76
декабрь, 2016		225,4	0,81
январь, 2017		240,6	0,87
февраль, 2017		256,2	0,92
март, 2017		266,8	0,96
апрель, 2017		283,6	1,02
май, 2017		296,9	1,07
июнь, 2017		310,6	1,12
июль, 2017		324,8	1,17
август, 2017		339,4	1,22
сентябрь, 2017		353,4	1,27
октябрь, 2017		365,0	1,31
ноябрь, 2017		377,1	1,36
декабрь, 2017		388,9	1,40
январь, 2018		401,9	1,45
февраль, 2018		412,7	1,48
март, 2018		421,7	1,52
апрель, 2018		429,7	1,55
май, 2018		439,6	1,58
июнь, 2018		454,8	1,64
июль, 2018	463,7	1,67	

На рисунке 5.5 представлена динамика изменения отношения Ж/Т и динамика изменения степени извлечения урана из недр во времени по опытному блоку 1И. Как видно из рисунка, изменение отношения Ж/Т во времени близко к прямолинейному.

Фактические результаты работы опытного блока приняты по данным оперативного учета и контроля работы технологических скважин, отчетных материалов, данных технических отчетов ТО-25 и Приложений № 1 и 2 к ним.

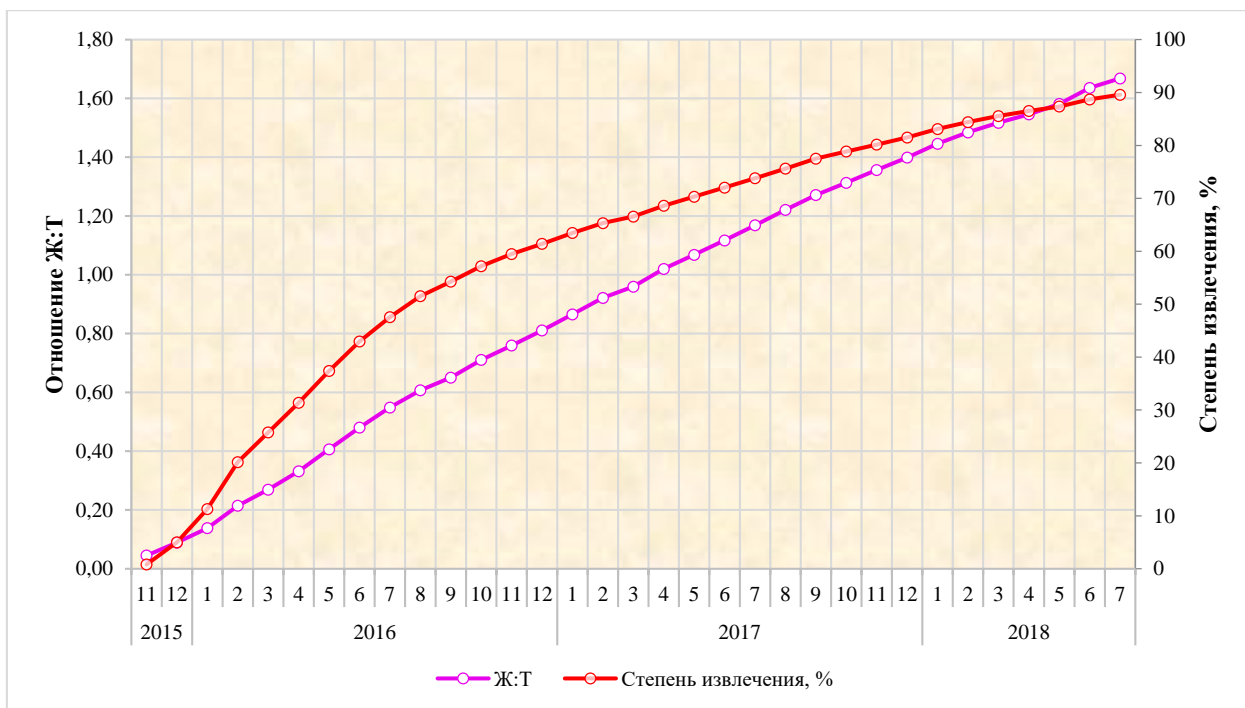


Рисунок 5.5 - Динамика изменения степени извлечения урана и отношения Ж:Т во времени на опытном блоке № 1И

Средняя месячная добыча составила 0,841 т, общая добыча по опытному блоку за период работ - 27,77 т урана.

Степень извлечения урана на конец отчетного периода составила 89,6 %. По состоянию на 25.07.2018 г. достигнутое Ж/Т составило 1,67.

С момента окончания стадии закисления и по 25.07.2018 г. опытный блок 1И отработал 1004 суток (2,93 года). За это время на опытном блоке 1И достигнуты следующие результаты:

- 1) объем продуктивных растворов, полученных из откачных скважин – 463,717 тыс. м<sup>3</sup>;
- 2) среднее значение концентрации урана в продуктивных растворах – 56,9 мг/л;
- 3) удельный расход серной кислоты – 3,24 кг/т ГРМ при закислении;
- 4) отношение Ж/Т - 1,67;
- 5) количество урана, извлеченного из недр – 27,769 т;
- 6) степень извлечения урана – 89,6 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Положительными характеристиками участка опытных работ являются:

- благоприятный для отработки слабыми растворами серной кислоты минеральный состав руд и рудовмещающих пород;
- высокие фильтрационные свойства руд и рудовмещающих пород;
- достаточно равномерное распределение оруденения по отношению к литологическим типам проницаемых пород;
- содержание урана в рудах не выше 0,3-0,5 %;
- хорошая водообильность инкудукского продуктивного горизонта;
- низкая карбонатность руд и рудовмещающих пород и отсутствие других вредных примесей, отрицательно влияющих на процесс подземного выщелачивания;
- относительно небольшие глубины залегания рудных тел (360 м).

Основными осложняющими факторами для отработки урановых руд из инкудукского продуктивного горизонта являются:

- отсутствие под рудными телами выдержанных водоупоров (руды являются «висячими»);
- положение статического уровня напорных вод на отметке 20-25 м выше поверхности земли, что обуславливает поддержание повышенного давления на закачке.

Основные результаты натурального опыта по подземному скважинному выщелачиванию урана на опытном блоке № 1И следующие:

1) Подтверждена принципиальная возможность и экономическая рентабельность отработки методом подземного скважинного выщелачивания сернокислотными растворами «висячих» урановых руд из инкудукского продуктивного горизонта на участке 4 месторождения Инкай.

2) Уточнены основные геолого-гидрогеологические и технологические параметры руд и рудовмещающих пород инкудукского горизонта для проектирования промышленной добычи урана на геологических блоках залежи 1б и прогноза ожидаемых эксплуатационных показателей.

## Перечень терминов. Перечень сокращений

*Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ)* – процесс переработки руд в естественных условиях в рудных телах, вскрытых технологическими скважинами и подготовленных к выщелачиванию. В процессе добычи обеспечивается закачка растворов через закачные скважины и вывод растворенного полезного ископаемого через откачные скважины.

*Геотехнологические методы* – методы добычи, основанные на переводе полезного ископаемого в подвижное состояние посредством осуществления в недрах тепловых, массообменных, химических и гидродинамических процессов, осуществляемых на месте залегания, что позволяет производить добычу полезного ископаемого из недр или отвалов через специальные дренажные выработки или скважины.

*Горнорудная масса (ГРМ)* - часть общей массы продуктивного водоносного горизонта (включающего рудные тела и вмещающие породы), охваченная потоком технологических растворов, т.

*Приёмистость скважины* – объем жидкости, закачиваемый в скважину в единицу времени при определенном давлении.

*Дебит (производительность) скважины* – объем жидкости или раствора, откачиваемого из скважины в единицу времени

*Эффективная мощность (Мэф)* – мощность области циркуляции технологических растворов в блоке.

*Активное закисление* – подача растворов в закачные скважины производится одновременно с непрерывной откачкой пластовых вод из откачных скважин. Это наиболее распространенный способ, применяемый при любом расположении рудных тел относительно водоупоров.

*Выщелачивающий раствор (ВР)* – раствор, содержащий необходимые для извлечения полезного компонента реагенты и подаваемый в закачные скважины.

*Продуктивный раствор (ПР)* – раствор, сформировавшийся в недрах в результате физико-химического взаимодействия выщелачивающего раствора с минералами руд и вмещающих пород продуктивного горизонта и содержащий полезное ископаемое (ископаемые) в концентрации выше минимально промышленной.

*Водородный показатель, рН* – мера активности (в очень разбавленных растворах она эквивалентна концентрации) ионов водорода в растворе, количественно выражающая его кислотность.

*Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП)* –  $E_h$ , мера химической активности элементов или их соединений в обратимых химических процессах, связанных с изменением заряда ионов в растворах.

*Ж:Т* - отношение количества выщелачивающего раствора, приходящееся на весовую единицу выщелачиваемой горнорудной массы, обеспечивающее заданное извлечение полезного ископаемого

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет по результатам оценочных работ с подсчетом запасов урана и полезных попутных компонентов на участке 4 месторождения Инкай по состоянию на 01.01.2008 г. Том 1. Книга 1. Геологическое строение участка 4 месторождения Инкай. Урановое и сопутствующее оруденение. Методика геологоразведочных работ. Лабораторные исследования руд и вмещающих пород", г. Алматы, 2018г.
2. Отчет по результатам оценочных работ с подсчетом запасов урана и полезных попутных компонентов на участке 4 месторождения Инкай по состоянию на 01.01.2008 г. Том 1. Книга 5. Геотехнологические условия участка 4 месторождения Инкай. Опытно-промышленное выщелачивание. Фактические результаты проведения натурального опыта, переработка продуктивных растворов и выпуск готовой продукции", г. Алматы, 2018г.
3. Национальная атомная компания "Казатомпром". Инструкция по подземному скважинному выщелачиванию урана. Алматы, 2006 г.
4. И.П. Поезжаев, К.Д. Полиновский, О.А. Горбатенко, Е.Н. Панова, К.Ж. Буленова, Е.М. Карманов, П.А. Блынский, О.А. Битовт. Геотехнология урана. – Алматы, 2017. – 328 с.
5. Н.Н. Петров, В.Г. Язиков, Х.Б.Аубакиров, В.Н.Плеханов, А.Ф.Вершков, В.Ф.Лухтин. Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). Алматы, 1995 – 264 с.
6. В.И. Белецкий, Л.К. Богатков, Н.И. Волков и др. Справочник по геотехнологии урана. Москва, 1997 г.
7. А.И. Калабин. Добыча полезных ископаемых подземным выщелачиванием. Атомиздат, 1969. – 369 с.
8. Исходная информация с Рудника ПСВ «Южный Инкай» (отчеты ТО-25 с приложениями, схемы и пр.).

**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:** Аскар Аяужан Ерболкызы

**Название:** Определение и обоснование основных геотехнологических параметров для промышленного освоения инкудукского горизонта участка № 4 месторождения Инкай.doc

**Координатор:** Алма Бекботаева

**Коэффициент подобия 1:**1,4

**Коэффициент подобия 2:**0

**Замена букв:**0

**Интервалы:**0

**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:

Заимствования в тексте диссертации добросовестные, ссылки на использованную литературу имеются.

26.06.2020



Дата

Подпись заведующего кафедрой / Бекботаева А.

начальника структурного подразделения




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

Магистерскую диссертацию к защите допустить.....  
.....  
.....  
.....

26.06.2020.....

Дата



Бекботаева А.А.

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

## 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:** Асқар Аяужан Ерболқызы

**Название:** Определение и обоснование основных геотехнологических параметров для промышленного освоения инкудукского горизонта участка № 4 месторождения Инкай.doc

**Координатор:** Алма Бекботаева

**Коэффициент подобия 1:** 1,4

**Коэффициент подобия 2:** 0

**Замена букв:** 0

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 0

**Белые знаки:** 0

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

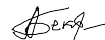
- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения 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, не допускаю работу к защите.

**Обоснование:**

Плагиата в тексте не обнаружено, все заимствования добросовестные и имеются ссылки..... на литературу

26 июня 2020.....

Дата



.....

Подпись Научного руководителя

Бекботаева А.А.

**Отзыв**  
**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**  
на магистерскую диссертацию  
Асқар Аяужан Ерболқызы

6M070600 - Геология и разведка месторождений полезных ископаемых

На тему: Определение и обоснование основных геотехнологических параметров для промышленного освоения инкудукского горизонта участка № 4 месторождения Инкай.

Целью диссертационной работы является анализ эксплуатации блока № 1И, вскрывающий инкудукский горизонт, с определением основных геотехнологических параметров отработки для дальнейшего промышленного освоения инкудукского горизонта. Актуальность работы заключается в комплексной оценке и изучении всех возможных материалов по исследуемому объекту, правильному методическому подходу при достижении основной цели диссертации, понятному и доступному изложению материала, визуализации геологической информации.

В соответствии с требованиями к магистерским диссертациям в работе Асқар А. рассмотрены и изучены следующие ключевые аспекты:

- изучена и представлена в краткой форме геология участка № 4 месторождения Инкай с основными закономерностями распределения руд и вмещающих пород и степенью изученности месторождения;
- дана гидрогеологическая характеристика участка № 4 месторождения Инкай;
- изучена литолого-фациальная и геохимическая характеристика продуктивных горизонтов и приведено описание происхождения изучаемого месторождения.

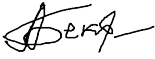
Магистрантом проделана очень серьезная и важная работа по сбору фактического материала по исследуемому объекту - опытному блоку № 1И, и проведен глубокий анализ часовой, суточной, месячной и годовой аналитической информации по его эксплуатации, в частности проанализирована работа каждой технологической откачной скважины (объемы добываемых продуктивных растворов, качественные характеристики продуктивных растворов, произведен расчет добытого металла с каждой скважины и др.), проведен анализ эксплуатации каждой закачной скважины (приемистостей и др. показателей), анализ расхода основного реагента на процесс ПСВ – серной кислоты, все поскважинные показатели были сведены воедино и получены данные по эксплуатации блока в целом. Положительно отмечаю умение магистранта работать в графических программных продуктах, что считаю очень нужным для более доступного визуального восприятия представленной геологической информации по изучаемому опытному блоку, в частности самостоятельно отстроены разрезы

и построены карты распространения продуктивности, содержания, мощности, метропроценту и распределению коэффициента фильтрации по блоку № 1И, также проведен самостоятельный анализ по картам и разрезам, что так же придает ценность данной работе.

По итогам просмотра представленной диссертации, делаю вывод о подготовленности магистранта к самостоятельной исследовательской и аналитической работе с дальнейшим совершенствованием знаний и навыком. Выполненная работа характеризует магистранта Аскар А. как сложившегося специалиста, владеющего широким набором компетенций и, главное, понимающего суть геологических и технологических проблем, возникающих при отработке месторождений урана. Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, а Аскар А. заслуживает присвоения степени магистра.

**Научный руководитель**

Зав. кафедрой ГСПиР МПИ

доктор PhD, ассоц.профессор \_\_\_\_\_  А.А. Бекботаева

«25» июня 2020 г.

## РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

**Асқар Аяужан Ерболқызы**

**Специальность 6М070600** – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых».

**Магистерская диссертация содержит 55 страниц текста, в том числе 12 таблицы, 18 рисунков.**

**Тема магистерской диссертации:** «Определение и обоснование основных геотехнологических параметров для промышленного освоения инкудукского горизонта участка № 4 месторождения Инкай».

### ЗАМЕЧАНИЯ ПО МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Магистерская диссертация на тему: «Определение и обоснование основных геотехнологических параметров для промышленного освоения инкудукского горизонта участка № 4 месторождения Инкай»

В целом даю положительную оценку выполненной работе, отмечаю самостоятельность и вдумчивость магистранта при выполнении поставленной перед ним задачи. В данной работе не освещена добыча сопутствующих редких земель, нужно было указать ссылки на инструкции и методические пособия при выполнении (производстве) расчетов, а также представить информацию о предприятии, осуществляющим эксплуатацию изучаемого объекта – опытного блока № 1И.

По работе других замечаний нет.

### Оценка диссертационной работы

В работе в достаточной мере представлена и показана сложность исследуемого объекта, его непростое геологическое строение и отмечена важность принятия обоснованных проектных решений для дальнейшей экономически эффективной его отработки. Данная диссертация имеет значительный практический интерес, результаты проделанной работы могут быть использованы и взяты за основу при принятии дальнейших решений по отработке запасов инкудукского горизонта.

В работе представлены самостоятельный анализ по каждому отстроенному плану, разрезу, что так же придает ценность данной работе. Расчеты, выполненные с целью определения основных геотехнологических показателей для дальнейшей отработки руд инкудукского горизонта способом ПСВ выполнены методически последовательно и продуманно.

Результаты, полученные по итогам расчетов, полностью подтверждают эффективность отработки руд инкудукского горизонта способом ПСВ и являются

фундаментом (основой) для последующего проектирования, вскрытия и отработки руд инкудукского горизонта участка № 4 месторождения Инкай.

Диссертационная работа оценивается с баллом « 90 » - A-%.

**Рецензент**

Руководитель лаборатории  
редких и редкоземельных металлов  
Института геологических наук им. К.И. Сатпаева  
Тогизов Куаныш Серикханович

« 30 » июни 2020 г.