

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова

Кафедра ГСП и РМПИ

Байниязов Шынгысхан Ерзакович

Перспективы внедрения метода КНД-М как количественного определения  
содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождения на  
примере месторождения Буденовское

**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 им. К. Турысова

УДК 550.3

На правах рукописи

Байниязов Шынгысхан Ерзакович

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**  
**на соискание академической степени магистра**

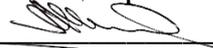
Название диссертации

Перспективы внедрения метода КНД-  
М как количественного определения  
содержания урана на пластово-  
инфильтрационных месторождения  
на примере месторождения  
Буденовское

Направление подготовки

Специальность 7М07218 – Геология  
и разведка месторождений твердых  
полезных ископаемых

Научный руководитель, к.г.м.н.,  
ассоциированный профессор

 Аршамов Я.К.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Рецензент  
доктор РНД, зав. лабораторий.

 Тоғизов К.С.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ  
Доктор PhD, ассоц. профессор

 Бекботаева А.А.  
29.03.2021

Нормоконтролер  
к.г.-м.н., лектор каф. «ГСПиРМПИ»

 Асубаева С.К.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021

Руководитель  
вед. менеджер ГФУ АО «ВГ»-«ГТЦ»

 Каменев Л.И.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова

Кафедра ГСП и РМПИ

Специальность 7М07218 – Геология и разведка месторождений твердых  
полезных ископаемых

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ  
Доктор PhD, ассоц. профессор

  
Бекботаева А.А.  
"29" марта 2021 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту Байниязову Шынгысхану Ерзаковичу

Тема магистерской диссертации: “Перспективы внедрения метода КНД-М как количественного определения содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождения на примере месторождения Буденовское”

Утверждена приказом Ректора Университета №330-М от "11" ноября 2019г.

Срок сдачи законченной работы "30" марта 2020 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: Геологические, геофизические, текстовые и графические материалы по месторождению урана Буденовское.

Перечень

Подлежащих к разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) Физико-геологические основы метода КНД-М
- б) Основные проблемы количественного определения содержания урана во вмещающих породах.
- в) Анализ современного аппаратурно-методического состояния каротажа нейтронов деления КНД-м

Рекомендуемая основная литература:

1 Теория геофизических исследований скважин (Теория, методика, интерпретация): научная монография / Ю. Б. Давыдов; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург. Изд-во Уральского государственного горного университета, 2015.

2 Язиков В.Г., Легавко А.В. Особенности проведения геофизических исследований в скважинах при изучении и освоении инфильтрационных (водородных) месторождений урана. Томск. Изд-во Томского политехнического университета. 2012.

3 Кантор С.А., Кожевников Д.А., Поляченко А.Л., Шимелевич Ю.С. Теория нейтронных методов исследования скважин. М., Недра, 1985.

4 Поляченко А.Л., Поляченко Л.Б., Бабкин И.В. Отчет по договорной работе ВНИИГеосистем с ООО «Институт испытаний» от 15.12.1999 «Исследование и оптимизация методических, аппаратурных и интерпретационных характеристик системы каротажа по мгновенным нейтронам деления с генератором нейтронов повышенного выхода». М. 2000.

**ГРАФИК**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Общие сведения о месторождении Буденовское	15.12.2020г	
Геологическое строение, тектоника и характеристика уранового оруденения	16.01.2021г	
Применения метода КНД-М для количественного определения содержания урана в рудовмещающей среде	02.03.2021г	

**Подписи**

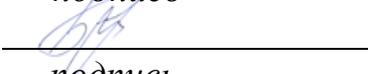
консультантов и нормоконтролера на законченную  
магистерскую диссертацию с указанием относящихся к  
ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Общие сведения о месторождении Буденовское	Аршамов Я.К., к.г.м.н., ассоциированный профессор	26.02.2021 г.	
Геологическое строение, тектоника и характеристика уранового оруденения	Аршамов Я.К., к.г.м.н., ассоциированный профессор	5.03.2021 г.	
Применения метода КНД- М для количественного определения содержания урана в рудовмещающей среде	Аршамов Я.К., к.г.м.н., ассоциированный профессор	13.03.2021 г.	
Нормоконтролер	Асубаева С.К., к.г.м.н. лектор каф. «ГСПиРМПИ»	28.03.2021 г.	

Научный руководитель

  
\_\_\_\_\_ Аршамов Я.К.  
подпись

Задание приняли к исполнению  
магистрант

  
\_\_\_\_\_ Байниязов Ш.Е.  
подпись

Дата

" 20 " января 2021 г

## АНДАТПА

Бұл магистрлік диссертация Буденовское кенорнының мысалында қабатты-инфильтрациялық кенорындарда уран құрамын сандық түрде анықтау үшін КНД-М әдісін енгізу перспективаларын зерттеуге арналған.

Бұл жұмыста КНД-М нейтрондық каротаж әдісінің заманауи аппаратуралық-әдістемелік күйіне талдау жасалған, әдістің негізгі қателіктері қарастырылған, сонымен қатар, белгілі дәлдікпен таужыныстардағы уран құрамын сандық түрде анықтау үшін КНД-М әдісін қолдануды қамтамасыз ететін қажетті қадамдар қарастырылған. Әдісті индикаторлық режимде қолдану тәжірибесі Буденовское кен орнының мысалында келтірілген.

## **АННОТАЦИЯ**

Данная магистерская диссертация посвящена изучению перспектив внедрения метода КНД-М для количественного определения содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождения на примере месторождения Буденовское.

В данной работе приведен анализ современного аппаратурно-методического состояния каротажа нейтронов деления КНД-м, рассмотрены основные погрешности метода, а также, необходимые шаги для обеспечения использования метода КНД-М для количественного определения содержания урана во вмещающих породах с нормированной точностью. Опыт применения метода в индикаторном режиме рассмотрен на примере месторождения Буденовское.

## **ANNOTATION**

This master's thesis is devoted to the study of the prospects for the introduction of the PFN method for the quantitative determination of the uranium content in reservoir-infiltration deposits on the example of the Budenovskoye deposit.

This paper provides an analysis of the modern instrumental and methodological state of the PFN fission neutron logging, considers the main errors of the method, as well as the necessary steps to ensure the use of the PFN method for the quantitative determination of the uranium content in the host rocks with a standardized accuracy. The experience of using the method in the indicator mode is considered on the example of the Budennovskoye field.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	10
1	Общие сведения о месторождений Буденовское и его разведанность.	12
1.1	Местоположение, пути сообщения, экономика.	12
1.2	Состояние изученности месторождения Буденовское	15
2	Геологическое строение, тектоника и характеристика уранового оруденения месторождения и его района	18
2.1	Стратиграфия мезозойско-кайнозойского чехла	18
2.1.1	Платформенный мел-палеогеновый комплекс	18
2.1.2	Позднеальпийский активизационный комплекс	24
2.2	Тектоника	24
2.3	Характеристика уранового орудинения	25
2.3.1	Литолого-фациальная и геохимическая характеристика продуктивных горизонтов. Контроль уранового орудинения	25
2.3.2	Морфология уранового орудинения	28
2.3.3	Вещественный и минералогический состав орудинения	29
2.3.3.1	Общая минералого-петрографическая характеристика руд и вмещающих пород	29
2.3.3.2	Характеристика сопутствующих элементов	31
3	Применение метода КНД-м для количественного определения урана в рудовмещающей среде	34
3.1	Краткая история развития метода КНД-м	34
3.2	Физико-геологические основы метода КНД-м	35
3.2.1	Геологические основы метода КНД-м	35
3.3	Физические основы метода КНД-м	36
3.3.1	Физические основы однозондовой методики КНД-м	40
3.3.2	Физические основы двухзондовой методики КНД-м	42
3.4	Основные проблемы количественного определения соержания урана во вмещающих породах	48
3.4.1	Теоретико-вычислительное обеспечение КНД-м: проблемы и пути решения	49
3.4.2	Аппаратурно-методическое обеспечение КНД-м: проблемы и пути решения	51
3.4.3	Програмно-интерпритационное обеспечение КНД-м: проблемы и пути решения	61
3.4.4	Метрологическое обеспечение КНД-м: проблемы и пути	67
3.4.5	решения...	
3.4.6	Экспериментальная часть. Сравнительный анализ данных КНД-м и ГК	69
	Экономическая часть	71
	Заключение	74

Список использованной литературы	76
Перечень принятых сокращений, терминов	77
Приложение А	78
Приложение Б	79
Приложение В	80

## ВВЕДЕНИЕ

**Тема магистерской диссертации:** “Перспективы внедрения метода КНД-М как количественного определения содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождения на примере месторождения Буденовское”

**Цель исследований:** Анализ и оценка возможности и перспектив применения метода КНД-М как количественного определения содержания урана в скважине на пластово-инфильтрационных месторождениях урана, на примере месторождения Буденовское”

**Задачи исследований:**

- 1) Обзор современного состояния метода КНД-м на предприятиях НАК «Казатомпром»;
- 2) Обобщение методических возможностей снижения общей погрешностей измерения;
- 3) Анализ перспектив применения метода КНД-м как количественного для определения содержания урана на опыте месторождения Буденовское.

**Актуальность работы** в том, что метод КНД-М становится совершенно необходимым для участков со сложной геологической ситуацией, где представительный керновый материал для опробования получить практически невозможно, например, когда рудовмещающие породы представлены валунно-галечными отложениями.

При методе добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания содержание урана в балансовых рудных залежах все время меняется. Из-за этого на протяжении всего времени добычи нужен постоянный контроль, за изменением содержания урана в процессе его выщелачивания из рудной залежи. Имея достоверные сведения о ураноносности эксплуатируемых блоков, мы максимально контролируем технологический процесс выщелачивания в условиях естественного залегания рудных тел, контроль качества и промышленную ценность выщелачиваемой залежи, в свою очередь это дает возможность разделять кондиционные руды от забалансовых руд [2].

Стандартным методом при геофизических исследованиях скважин на месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа, служит гамма-каротаж (ГК), с помощью данных гамма-каротажа есть возможность рассчитать среднюю концентрацию урана в рудном интервале, пересеченным скважиной при его естественном залегании. Однако использование метода ГК является достоверным, только в случаи постоянства коэффициента радиоактивного равновесия в руде ( $K_{рр}$ ). Поэтому при подсчете основных параметров запасов, которые определяются с помощью гамма-каротажа могут иметь погрешности [2].

**Основные научные и практические результаты** выполненных исследований состоят в следующем:

1) Из существующих приборов перспективным представляется аппаратура типа АИНК-48 реализующая компоновочную схему с зондом МНД, зондом ТН и блоком мониторов. Выше перечислены необходимые шаги по развитию методики выполнения измерений и интерпретации данных для обеспечения получения результата с нормированной точностью.

В 2020-м году в Филиале АО «Волковгеология» - «Геотехноцентр» была разработана и принята методика выполнения измерений (МВИ), учитывающая все приведенные в данной диссертации доработки. В 2021-м году проводится внедрение данной МВИ на производстве. По мере наработки статистического материала будут выработаны методические рекомендации по принятию метода КНД-м как количественного для подсчета запасов;

2) Очень перспективно создание прибора, реализующего помехозащищенную схему измерений. Прибор изготавливается, после испытаний будет разрабатываться математический аппарат и методические требования;

3) После перехода на количественные измерения метод КНД-м может быть использован на всех стадиях эксплуатации урановых месторождений.

**Личный вклад автора:** Автор более 10 лет работает в система НАК «Казатомпром» и лично участвовал в проведении опытно-методических исследований, полевых работ и внедрении аппаратурно-методического комплекса КНД-М.

**Научный руководитель:** кандидат геолого-минералогических наук, ассоциированный профессор Аршамов Я.К, научные консультанты: ведущий менеджер геофизического управления Филиала АО «Волковгеология»-«Геотехноцентр» Каменев Л.И., доктор PhD, ассистент-профессор кафедры геофизики Темирханова Р.Г.

**Магистерская диссертация** содержит 77 страниц текста, в том числе 8 таблиц, 10 рисунков.

## **1 Общие сведения о месторождений буденовское и его разведанности**

### **1.1 Местоположение, пути сообщения, экономика, физико-географическая характеристика**

В административном отношении участок работ – это Созакский район Туркестанской области (Рисунок.1.1).

Участок 3 месторождения Буденовское локализован в юго-западной части Шу-Сарысуйской впадины. Орографически территория имеет вид пологой предгорной аккумулятивной равнины, которая примыкает с северо-востока к хребту Б. Каратау. Рельеф характеризуется сменой возвышенностей, речных долин и пологих холмов, вытянутых в север-восточном и северном направлениях. На севере - холмистые и ячеистые пески массива Моинкум, ширина полос которых варьирует от 20 до 30 км с запада на восток. Пески аллювиально-эоловые, покрытые редкой пустынной растительностью. Абсолютные отметки равнинных зон плюс 125 м, песчаного массива плюс 310 м.

На переходной части к пустыне наблюдается прерывистая полоса соров и солончаков северо-западного простирания; преимущественно значительные солончаковые озера (Ащиколь, Айжайкын) расположены в низовьях реки Шу в северной части месторождения и к северо-западу от него.

Гидрографическая сеть развита недостаточно. Река Шу характеризуется стоком в зимне-весенний период, а летом превращается в цепочку участков с горько-соленой водой. Относительно небольшие горные речки с Б. Каратау скрываются за рыхлыми отложениями конусов выноса.

Климат - резко континентальный с малоснежной, холодной зимой (до минус 30 °С) и засушливым, жарким (до 40 °С) летом. Количество осадков на равнинных частях территории не превышает 190 мм в год (в горных частях от 300 м до 400 м). Максимальное количество их (до 85%) отмечается в зимне-весенний период. Отопительный сезон начинается с 15 октября и заканчивается 15 апреля. Глубина промерзания почвы - от 50 см до 60 см.

Население района равномерно нераспределено и наибольшее их количество наблюдается, в основном у гор и реки Шу. Ближайшие населённые пункты - б. с/х Каратау и посёлок Аксумбе, которые расположены в 40 км к югу от месторождения у подножия хребта Б. Каратау. В 60 км к северу находится посёлок Тайконоыр - база 7-й экспедиции ООО «Волковгеология».

Ведущие промышленные предприятия данного района занимаются с уранодобывающей промышленностью. В районе отрабатывают месторождения Мынкудук, Уванас, Буденовское, Инкай, Акдала, Канжуган, Моинкум, возведен базовый город Таукент [1,17,18,19].

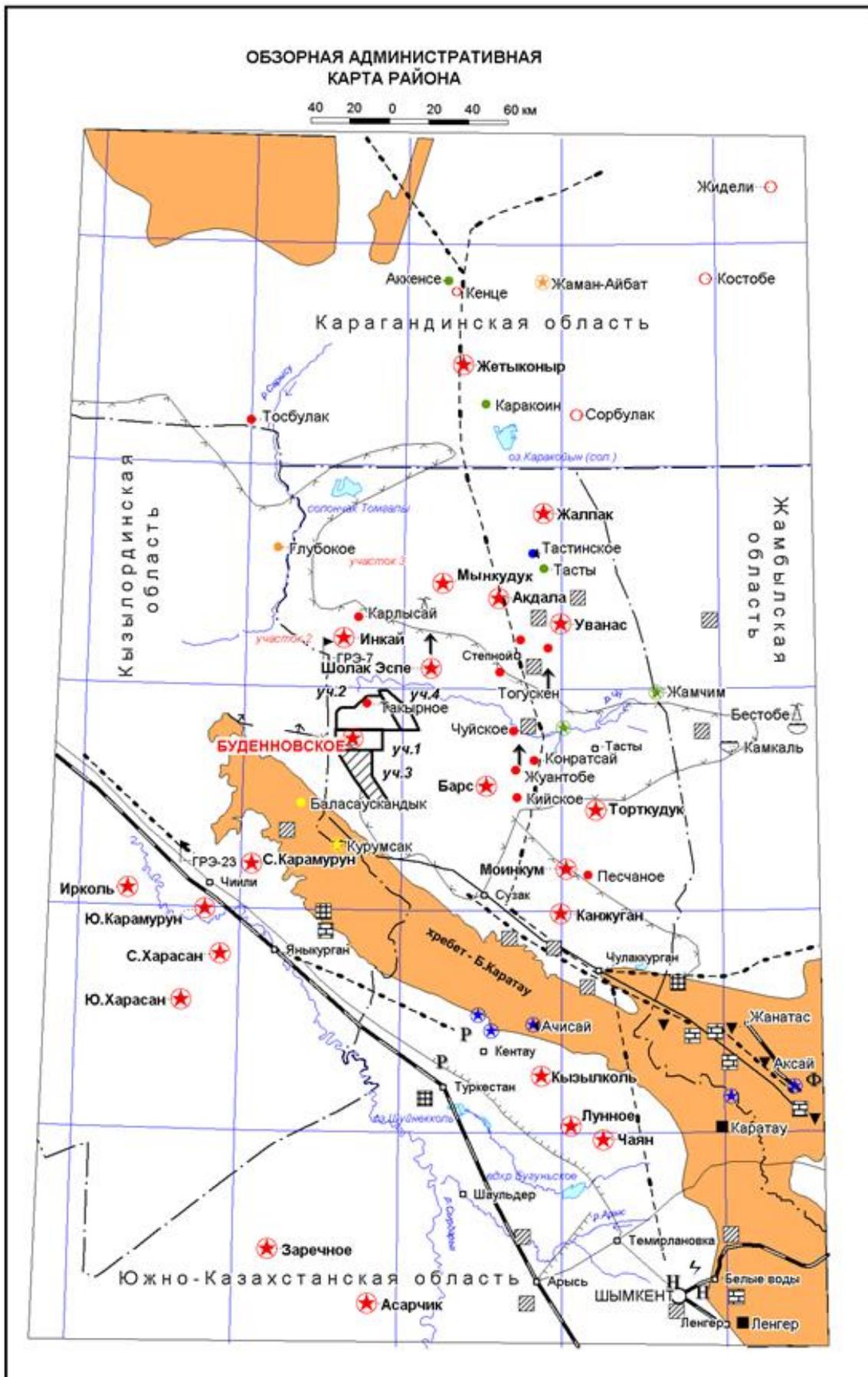


Рисунок 1.1- Обзорная административная карта района [1]

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	Населенные пункты
	Поселки геологических экспедиций
<b>Пути сообщения:</b>	
	железные дороги
	железные дороги узкоколейные
	автомобильные дороги с твердым покрытием
<b>Промышленные предприятия и магистрали:</b>	
	нефтеперегонный завод
	свинцово-цинковый комбинат
	комбинат по обогащению и переработке фосфоритов
	электростанции
	высоковольтные линии электропередач
	нефтепроводы
	водоводы
<b>Полезные ископаемые:</b>	
	Месторождения(1) и рудопроявления(2) урана в мезозойско-кайнозойских отложениях и их названия
	Месторождения и рудопроявления урана в домезозойских образованиях и их названия
<b>Месторождения(1) и рудопроявления(2) других полезных ископаемых и их названия:</b>	
	полиметаллов
	меди
	редких земель
	урано-ванадиевые
	фосфоритов
	каменного угля
	газа
	поваренной соли
	известняка
	бентонитовых глин
	строительных материалов (песок, галька, гравий, бутовый камень)
<b>Прочие обозначения</b>	
	Выход на дневную поверхность домезозойских образований
	Границы самоизлива пластовых вод
	Самоизливающиеся скважины
	Контур участка 3 (месторождение Буденовское)

Рисунок 1.2 – Условные обозначение

Район характеризуется строительными материалами: в горной части – гранит, известняк, мрамор, в предгорьях – гравий, щебень, глина, песок.

Все рудники, прежние совхозы объединены с райцентром Шолак-Корган и областными центрами Шымкент и Тараз асфальтированными дорогами. Они соединяются с протяженностью от с/х Каратауский до райцентра – 130 км, до г. Шымкента – 330 км, до ж/д станции Жанатас – 200 км. Завершающий пункт строительства автомагистралей проходит через пос. Тайканыр до с/х Каратау пересекая территорию месторождения Буденовское.

Обеспечение энергоснабжением всех населенных пунктов, а также рудников и города Таукент, производится от ЛЭП-110, исходящих от Кантагинской ТЭЦ в г. Кентау и от г. Жанатас. Проблемы с центральным водоснабжением решили путем использования артезианских скважин и изредка грунтовых вод, при этом их состав минерализации колеблется от 1 г/л до 2 г/л. [1,17,18,19].

## 1.2 Состояние изученности месторождения Буденовское

В начале шестидесятых годов прошлого столетия на территориальной зоне юго-западной части Шу-Сарысуйской депрессии начались масштабные исследования ураноносности мезозойско-кайнозойских отложений. В данном периоде на северной и западной частях были обнаружены и исследованы масштабные месторождения такие как: Инкай, Мынкудук, Акдала и др. Крупное месторождение Буденовское с урановым оруденением в инкудукском и мынкудукском горизонтах было выявлено в 1979 году, экспедицией № 27 ВПГО во время бурения с помощью рекогносцировочного профиля XV. Экспедиция № 5 в 1984-1986 гг. проводила поисковые бурения по сети 6,4-1,6×0,1 км на площади 50 км<sup>2</sup> к югу от профиля XV. Бурение до глубины 700 м были установлены промышленным урановым оруденением во всем продуктивном горизонте верхнего мела (кроме жалпака).

Так же в периоды от 1987г. по 1989 гг. в южной части экспедицией № 5 была проведена поисково-оценочная работа месторождения с обнаружением ресурсов категории P<sub>1</sub> и P<sub>2</sub> и поисково-рекогносцировочным бурением на западном фланге по сети 12,8-6,4×3,2-0,2 км.

В это же время поисковые бурения на Ащикольской площади к северу от профиля XV до южной границ месторождения Инкай осуществлялась экспедицией № 7 ВПГО. Было доказано, что урановые оруденения в этой части выявлены в инкудукском и мынкудукском горизонтах, а месторождения рудных залежей Буденовский, Инкайский и Мынкудукский образуются в единую рудоносную полосу, которая приурочивается к утонению региональной ЗПО на расстоянии более 100 км.

Экспедиция № 7 в рамках геологических заданий 7-23, с 1991 года проводили геологоразведочные работы в южной части месторождения, в

котором необходимо было предусмотреть проведение предварительных разведок на площадях 180 км<sup>2</sup> до глубин 700 м с обнаружением запасов урана категорий С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub> в соотношении 30 % и 70 % и прогнозирующих ресурсов в категориях Р<sub>1</sub> при доле резервов категорий С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> в количестве 70 % от общих запасов участка. На протяжении 1992 года специалисты пробурили 18592,3 п.м на проф.1024, в дальнейшем разведку месторождения приостановили из-за прекращения финансирования.

С 1993 г. по 2005 г в пределе Буденовского рудного поле больше не проводились геологоразведочные работы.

В соответствие задания от ЗАО НАК "Казатомпром" в 2004 году было подготовлено дополнение к отчету, где отображались подсчеты запасов урана категории С<sub>2</sub> части залежи 1, основная локализация находилась в нижеинкудукском подгоризонте, она была разбурена по сети 800x100-50 м, и поделена на три участка для обрабатывания запасов различными СП. Рассмотрение отчета проводилось в ГКЗ РК, и учтены также запасы категории С<sub>2</sub> в инкудукском горизонте Государственным балансом по состоянию на 01.01.2005 г. в последующих количествах (Протокол № 378-05-А от 27.01.2005г.) [1,17,18,19].

Таблица 1.1 - Состояние запасов и ресурсов урана в южной части месторождения Буденовское на 01.01.2004 г

Наименование показателей	Ед. изм.		Общая оценка		В том числе по категориям					
					С <sub>2</sub>		Р <sub>1</sub>		Р <sub>2</sub>	
Руда	тыс. тонн		-		36300		-		-	
Содержание урана	%		-		0.088		-		-	
Металл	т	%	204 103	100	32 000	15.7	101 103	49.5	71 000	34.8

По состоянию участка 3 залежи 1, изучены резервы урана категории С<sub>2</sub>, при этом учтены в сумме 4900 т, где выявлено среднее содержание урана – 0,087 % при средней рудной мощности - 4,79 м.

В АО "СП "Акбастау" с 2008 г. проводилась детальная разведка на участке по сети 200-400x50м серией профилем СВ ориентировок, что и предполагалось проектом по Договору № 8/АкБ от 24.01.2007 г., ответственным по выполнению являлся ТОО "ВерШИна" в 2007 г.

Во время разведочных работ в границах данного участка на основной залежи 1 в нижеинкудукском подгоризонте были выявлены урановые руды с промышленными параметрами в нижележащем мынкудукском горизонте (залежь 5).

В 2010 году в результате разведочных и поисково-оценочных работ по состоянию на 01.01.2012 г., на участке 3 АО "Волковгеология" по Договору № 72/АкБ-10 от 01.02.2010 г. с АО "СП "Акбастау" был составлен Технико-экономический аргумент промышленных кондиций для подсчета запасов

урана и ППК. ТЭА рассмотрен ГКЗ Республики Казахстан и условия утверждены Протоколом № 1157-12-К от 28 февраля 2012 г.

На момент подготовки отчета они (состояние на 01.01.2013 г.) пробурили 456 скважин различных назначений с общим объемом 326 132,5 п.м. При этом в 2010 году на разведанной части заложили опытный полигон ПВ, который действует по настоящее время [1,17,18,19].

## **2 Геологическое строение, тектоника и характеристика уранового оруденения месторождения и его района**

Поскольку интересующий нас объект локализован в водоносных горизонтах верхнего мела, в данной главе основное внимание уделено именно этой части мезозойского разреза.

Район месторождения установлен в юго-западной части Шу-Сарысуйской депрессии (рис. 1.2), которая имеет вид крупной эпикаледонской впадины с характерным трехъярусным строением. При вертикальном разрезе выделяют: 1. Складчатый фундамент, образованный дислоцированными раннепалеозойскими и протерозойскими отложениями; 2. Литифицированный осадочный слой либо промежуточный структурный этаж; 3. Платформенный чехол, представляющий собой слаболитифицированные мезозойско-кайнозойские отложения, содержащие промышленное урановое оруденение.

В рудном поле месторождения складчатый фундамент залегает на глубине более 2 км. Средне-верхнепалеозойские осадочные отложения промежуточного этажа в пределах северо-западной оконечности хребта Б. Каратау отходят на дневную поверхность. На самом же месторождении они обнаружены рядом со скважинами на глубинах от 540 м до 750 м с закономерным пологим спуском в сторону Главного Каратауского разлома. К ним относятся комплексы ранне-каменноугольной морской терригенно-карбонатной формации, характеризующиеся континентальной серией отложений мощностью до 1500 м: джезказганская ( $C_{2-3}dž$ ) и жиделисайская ( $P_{1}žd$ ) свиты. Среди последних преобладают красноцветные алевролиты с прослоями песчаников. [1,17,18,19]

### **2.1 Стратиграфия мезозойско-кайнозойского чехла**

В районе месторождения отложения осадков нижнего мезозоя практически отсутствуют. Самые древнейшие из которых, вероятно относятся к юрскому ( $J_{1-2}$ ), периоду. Установлены в одиночных скважинах на Аксумбинском выступе на глубине 580 м. Это типичная континентальная терригенная поласса, сформированная серыми алевролитами, песчаниками с обильными растительными углефицированными остатками. Этот комплекс является угленосным на территории Леонтьевского грабена (хребет Б. Каратау). [1,17,18,19]

#### **2.1.1 Платформенный мел-палеогеновый комплекс**

Нижний мел ( $K1$ ). Данный возраст установлен скважинами в западной части профиля I Аксумбинского поднятия на глубинах 490-540 м. Это красно-вишнево глины с прослоями глинистых алевролитов, мощность - до 23 м. Возраст (апт-альб – сеноман) определён условно, из-за схожести с нижним мелом Сырдарьинской депрессии. (рис. 1.3) [1,17,18,19].



**СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ КОЛОНКА  
мезозойско-кайнозойских отложений центральной части Чу-Сарысувской депрессии**

ГРУППА	КАЙНОЗОЙСКАЯ										ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА	МОЩНОСТЬ, В М	ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА	КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД		
	ПАЛЕОГЕНОВАЯ					НЕОГЕНОВАЯ										
	ПАЛЕОЦЕН		ЭОЦЕН		МИОЦЕН	ПАЛЕОЦЕН		ЭОЦЕН		МИОЦЕН						
	РАННИЙ	ПОЗДНИЙ	РАННИЙ	ПОЗДНИЙ	ПОЗДНИЙ	РАННИЙ	ПОЗДНИЙ	ПОЗДНИЙ	ПОЗДНИЙ	ПОЗДНИЙ						
М Е З О З О Й С К А Я	М Е Л О В А Я											0-400		конгломераты, гравелиты, песчаники, мергели, алевролиты, ариллиты с пластами бурых углей, реже пески и глины; окраска пород серая, темно-серая, черная, реже пестрая.		
	Ю Р С К А Я	РАННИЙ - СРЕДНИЙ	АЛЪБ	СЕНС-МАН	ТАНПАСКИЙ	К <sub>ab</sub>	0-140	К <sub>ab</sub>	0-140	К <sub>ab</sub>					0-140	пески, песчаники, алевролиты, черные углистые глины, конгломераты.
	УВАМСКИЙ (КАРКАГАСКИЙ)	П <sub>2</sub>	5-70	пески разнозернистые, среднезернистые, мелкозернистые серые, желто-белесые с углефицированными древесными остатками; прослои темно-серых (до черных) глин.												
					УЮКСКИЙ	П <sub>2</sub>	5-60	алевролиты, алевропесчаники зеленые, пестрые, черные (гумусированные) переходят в пески среднезернистые и крупнозернистые; остатки раковин пелеципод.								
	ИЧАНСКИЙ	П <sub>2</sub>	5-60	пески серые, желтые; вверху и в основании крупнозернистые и среднезернистые, в средней части средне-мелкозернистые; прослои алевролитов, глин, известковых песчаников; присутствуют углефицированные растительные остатки и сульфиды железа.												
					ИНТЧМАКСКИЙ	П <sub>2,3</sub>	20-150	глины серо-зеленые и слоистые с остатками рыб и раковин пелеципод; на востоке - среднезернистые и мелкозернистые пески; в нижней части - прослои опоквидных глин; в основании нередко проявлен базальный слой паттумов с гравием кварца, коллофана, с остатками скелета и зубов акул.								
	ВЕТНАМСКАЯ	П <sub>2,3</sub>	10-50	глины темно-серые, до черных с горизонтальной слоистостью, с остатками рыб.												
					ТОЛУСОВСКАЯ	П <sub>2,3</sub>	20-300	глины голубовато-зеленые, к бортам депрессии сменяются алевролитами и песками.								
	СВЯТАГОРОНТ. ТОЛЩА	П <sub>2,3</sub>	20-300	глины розовато-палевые, бурые, пестрые известковые запесоченные; пески полимиктовые разнозернистые; прослои, линзы, желваки известковых песчаников; обнаружены кости позвоночных.												
					ПЯНОСЛОК. РИЛЫ	П <sub>2,3</sub>	20-300	глины красно-бурые, кирпично-красные известковые запесоченные прослои и линзы глинистых алевролитов и песков (обычно в основании); в породах выделен комплекс остракод.								
	ЯРГУС ВЕКО	П <sub>2,3</sub>	20-300	глины голубовато-зеленые, к бортам депрессии сменяются алевролитами и песками.												
ПОДОБЕР. ПОДЪЯРГУС					П <sub>2,3</sub>	20-300	глины серо-зеленые и слоистые с остатками рыб и раковин пелеципод; на востоке - среднезернистые и мелкозернистые пески; в нижней части - прослои опоквидных глин; в основании нередко проявлен базальный слой паттумов с гравием кварца, коллофана, с остатками скелета и зубов акул.									
	НЕОГЕНОВАЯ	МИОЦЕН	П <sub>2,3</sub>	20-300				пески, супеси золотые; суглинки такырные; пески, суглинки гравий аллювиальные.								
ПАЛЕОЦЕН					ЭОЦЕН	П <sub>2,3</sub>	20-300		галечники, гравийники с прослоями палевых и бурых глин.							
	Ю Р С К А Я	РАННИЙ - СРЕДНИЙ	П <sub>2,3</sub>	20-300				бурые и палевые глины с прослоями разнозернистых палевых и ржаво желтых песков, известняков, мергели.								
ПАЛЕОЦЕН					ЭОЦЕН	П <sub>2,3</sub>	20-300		пески, супеси золотые; суглинки такырные; пески, суглинки гравий аллювиальные.							

Рисунок 1.3 - Стратиграфическая колонка мезо-кайнозойских отложений центральной части Шу-Сарысувской депрессии

*Верхний мел (K<sub>2</sub>).* Верхнемеловые отложения растягиваются в юго-западной части Шу-Сарысуйской депрессии на глубинах от 250 м до 670 м и глубже, представлены нелитифицированными породами, отложенными в условиях предгорно-аллювиальной и озерно-аллювиальной равнин. На кровле палеозоя они располагаются практически горизонтально или с более чем пологими (до 1-2°) углами падения.

Стратиграфическое расчленение разреза основано на принципах ритмостратиграфии и цикличности по каротажным данным, а также палеонтологическому определению возраста и анализу вещественного состава песков и глин. В районе месторождения Буденовское выделяются три горизонта верхнего мела (снизу вверх): Мынкудук, Инкудук и Залпак.

*Мынкудукский горизонт (K<sub>2t1mk</sub>)* вскрыт скважинами в глубинах от 410 м до 790 м и характеризуется сложением, в основном, светло-серыми и мелко-среднезернистыми песками с тонкими (до 0,1 м) прослоями темно-серых и серых алевролитов и глин. Доля грубозернистых разностей с галькой и гравием составляет от 10 % до 40 % от общего объема породы. Мощность горизонта равна 20-30 м. Пески являются олигомиктовыми с примесью полимиктового материала с пористым и пленочным цементом (каолинит и монтмориллонит). Реже встречается марганцево-сидеритовый, железистый, и карбонатный цемент. Породы содержат карбонизированное органическое вещество (C<sub>орг</sub> от 0,01% до 1-5%), связанное с сульфидами железа. В верхней части горизонта увеличивается содержание глинистой фракции, увеличивается количество и мощность слоев глины и ила.

*Инкудукский горизонт (K<sub>2t2-stin</sub>)* распределена на глубинах от 330 м до 720 м с размывом, впрочем без углового несогласия, на мынкудуке, чаще всего непосредственно на отложениях палеозойского фундамента.

Мощность макроритма варьирует от 100 до 140 м, средняя мощность составляет 120 м, иногда повышаясь на участках эрозионных врезов, до 160 м в нижележащий мынкудукский горизонт. Территория инкудука разделена на три подгоризонта; средний и нижний имеют примерно равную мощность, по 60 м каждая, верхний же - от 20 до 30 м. Очертания между ними выделяются линзовидными прослоями глин и алевролитов непостоянной мощности.

Состав макроритма характеризуется разнозернистыми и грубозернистыми песками в прослоях гравийно-галечных и мелко-среднезернистых отложений. Долю грубозернистых пород образуют до 95 % всего объема горизонта. Устанавливаются достаточно редкие маломощные (до 0,5 м) прослойки пестроцветных и темно-серых уплотненных алевролитов и глин. Окраска пород в верхней части горизонта, в основном, пестроцветно-сероцветная, в нижней части - сероцветная, в средней соответственно пестроцветная. Нижняя часть разреза включает прослойки (до 0,5 м) плотных песчаников в карбонатном цементе. По минералогическим характеристикам породы инкудука почти не отличаются от нижележащего мынкудука.

Нижняя граница горизонта довольно устойчиво устанавливается по появлению в разрезе крупнообломочных осадков, а верхняя иногда обнаруживается с трудом.

*Жалпакский горизонт ( $K_2kt-P_1^1gr$ )* без значительного размывания и видимого углового несогласия раскидывается на породах инкудука и составная часть которых, в большинстве, красноцветные, реже сероцветно-зеленоцветные среднезернистые пески из прослоев крупных песков с галькой и гравием. Нижняя граница выявляется редко вследствие отсутствия чётко выраженных базальных маркировочных слоев. Кровля более выражена за счет перекрытия на жалпак угловых и стратиграфических несогласий палеогеновых прибрежно-морских образований серого цвета.

Грубообломочные соотношения составляют от 10 % до 40 % от общего объема, мощность горизонта варьирует от 80 м до 120 м. Глубина залегания кровли варьирует от 260 м до 670 м. В составе горизонта чётко прослеживаются две пачки.

Нижняя граница вобрала в себя отсортированные полимиктовые и олигомиктовые среднезернистые пески с относительно высоким (0, n%) содержанием углефицированного органического вещества во взаимосвязи с сульфидами железа. Верхняя пачка представлена, в большинстве случаев, пестроцветными и зеленоцветными песками, алевритами, гравийниками и глинами, зачастую карбонатизированными и омарганцованными. При исследовании минералогического состава породы жалпака, выявлена схожесть с отложениями нижележащих горизонтов.

Установлено, что динамичная корреляция наблюдается в разрезах мела района Буденновского месторождения с месторождениями Инкайского и Мынкудукского. В данных месторождениях преобладает увеличение красноцветных отложений в объеме жалпакской свиты, и уменьшается мощность полного выклинивания около ГКР с отложениями в нижнем горизонте верхнего мела (мынкудука и базальных, наиболее грубозернистых пачек нижнего инкудука) что является отличительным свойством [1,17,18,19].

Палеоген (*P*).

Разрез палеогена выделяет следующие горизонты: уванасский (канжуганский), уюкский, иканский и интымакский. Ранее основанный в палеоцене горизонт Сузакская впадина "пестрый" и горизонт Бюртускенский по факту исследованиям, проведенных специализированных работ, являются основными или частично восстановленными зонами древних грунтовых окисления в кровле жалпакского горизонта.

*Уванасский ( $P_1^{1-2}uv$ )* горизонт является основным месторождением который представлен в Шу-Сарысуйской депрессии. В нижних частях представлен песком мелко-среднезернистым, полевошпат-кварцевым, светло-серым или зеленовато-белесым. Основание состоит из серых разномзернистых, местами гравийным песком с линзами от темно-серых до черных алевропелитов, лигнитов, с отпечатками листовой флоры, УРО. В верхних частях горизонта наблюдается преобладание зеленых (эпигенетически

восстановленных), местами пестроцветных глин, алевропелиты с прослоями черных, насыщенных остатками болотной растительности. Сила мощности уванаса стабильна – от 40 м до 50 м, при этом глубина залегания кровли – от 240 м до 510 м.

Рассматривая *Уюкского* ( $P_1^2$ -  $P_2^1_{ик}$ ) горизонта, можно отметить, мощность который составляет от 40 м до 60 м, состоит из глинисто-алевритовых отложений от темно-серого до серого цветов с чешуей рыб, костными детритами и сульфидами железа. Максимальная глубина залегания кровли колеблется от 250 м до 490 м.

По *Иканскому* ( $P_2^2_{ик}$ ) горизонту видно, что мощность колеблется от 30 м до 50 м при этом залегая в глубину от 200 м до 450 м и сложена карбонатной глиной и алевролитами с отложением карбонатных песчаников и мергелей. Окраска пород разнится от зеленовато-серой до серо-чёрной. Наблюдаются некоторые маломощные прослои (до 0,5 м) песков разной зернистости.

В связи с вышеизложенным видно что, уюкский и иканский горизонты схожи по системе образования (мелководный внутренний шельф морского бассейна) и литологии, поэтому они образуют единый иканско-уюкский комплекс на геологических разрезах.

Так, *Интымакский* ( $P_2^{2-3}_{им}$ ) горизонт представлен морской глубоководной листоватыми глинами серовато-зеленых оттенков. В центральной части выделяются прослойки опоквидных глин. Мощность горизонт колеблется от 140 м до 170 м и при этом залегают на глубинах от 30 м до 350 м.

Если рассматривать морские глинистые отложения палеоцена-эоцена который слагаются мощным региональным водоупором, при этом разделяя Шу-Сарысуйский артезианский бассейн на два самостоятельных гидродинамических систем: платформенная меловая и позднеальпийская неоген-четвертичную [1,17,18,19].

## 2.1.2 Позднеальпийский активизационный комплекс

Неогеновые отложения региона формируют основной компонент анализируемого осадочного комплекса. Его возникновение имеет взаимосвязь с новейшим этапом тектонической активизации. Преимущественное содержание и сущность неотектонического этапа складывается прогрессирующей интенсивностью тектонического перемещения. Неогеновая часть верхнего этажа образуют бетпакдалинская и тогузкенская свиты.

Бетпакдалинская свита ( $P_3^2$ - $N_1^1$ ). Её специфическая особенность - слабо сформированная красноцветность и карбонатность: в большинстве - это красно-коричневые, красные глины, комковатые, массивные включения зёрна кварца, мелкой гальки, некрупного гравия и кремнистых пород. Мощность свиты на максимальном уровне устанавливается до 150-180 м, которая проявляется в западной части территории по ГКР.

Тогузкенские пласты ( $N_1^2-N_2$ ). Анализируемая серия отложений состоит из следующего ряда местных свит - Аральского, Павлодарского, Асказансорского, Андасайского и Кеншагырского. Толща образована, преимущественно, из пролювиально-аллювиальных отложений песчано-гравийно-галечной структуры с прослоями песчано-карбонатных алевроитов и глин желтовато-серого, светло-коричневого цвета.

Четвертичные отложения (Q) на участках месторождения представлены всеми пачками и отделами (от нижних до современных). Характеризуются широким развитием на равнинных территориях, дающих начало для современных речных долин, сухих русел, такырных и солончаковых бассейнов, песчаных массивов. Мощность песчаных отложений не преодолевают 10 м, возвышаясь на десятки метров в конусах выноса предгорной части Б. Каратау и на границах песчаных массивов Моинкум [1,17,18,19].

## 2.2 Тектоника

Район месторождения - западная часть Сузакской впадины. Центральную структуру района составляет Аксумбинская котловина, длиной – 80 км, шириною - 40 км, протянувшаяся по хребту Б. Каратау в северо-западном направлении с отметками кровли палеозоя -до 600 м. Котловина вычерчена с запада – Даут-Бугуджильской седловиной, с юго-запада - горст-антиклиналью Б. Каратау, с севера – Бугуджильским поднятием. Юго-западный борт ограничен Аксумбинским выступом, размер которого 6×2 км, прослеживающийся под чехлом в северо-восточную сторону на 20 км.

Даут-Бугуджильская седловина, замыкающая Сузакскую впадину с запада, представляет собой субмеридиональную поднятую структуру с абсолютной отметкой кровли палеозоя - 350 м.

Характерной чертой современных структур служит конформность складок платформенного чехла, рельефа палеозойского основания.

Структурно-тектоническая структура южного участка рудного поля месторождения Буденовское достаточно сложная и обусловлена её расположением на северо-западном погружении активно развивающегося горст -антиклинального поднятия хребта. Б.Каратау. Воздействие блоковых структур северо-западной («Каратауской») ориентировки, ограниченные продолжительными сдвиговыми разломами, отложенными в верхнем палеозое (возможно, даже раньше), на палеоморфологию древней поверхности выравнивания до верхнемелового возраста характеризуется специфичностью, возрастая в юго-западном направлении по мере приближения к ГКР.

Разломная тектоника в этом районе довольно распространена. Наиболее четко выражены глубинные разломы северо-западного (Каратауского) простирания: Аксумбинский, ГКР и иные. Активация разломов в этом направлении с горизонтальными и вертикальными смещениями на сотни

метров связана с поднятием горсто-антиклинали в в неоген-четвертичное время.

К анализируемой территории также относятся Центральный и Жуантобинский разломы, локализованные на крайнем северо-восточном участке и окаймляющие Тастинское поднятие с юго-запада.

Наиболее значительными из разломов северо-восточного направления считаются Найманский и Даутский. Первая, пересекая месторождение Буденовское, усложняет северо-восточную сторону впадины в виде разломного желоба. Вторая отделяет Даут-Бугуджильское седловину от Аксумбинского выступа [1,17,18,19].

### **2.3 Характеристика уранового оруденения**

Месторождение Буденовское наряду с его северным продолжением - Инкай контролируется основной частью гигантской дуги, которая образована региональными рудообразующими фронтами окисления пластов в проницаемых горизонтах верхнего мела. Рудоносные зоны месторождения отслеживаются с севера на юг на расстоянии около 51 км от профиля 0 (северная граница) до профиля Жабаколь (на юге).

У наиболее пробуренного северо-западного геологического отвода 3-го участка (сеть 200 × 50 м) ширина крыловых прямолинейных элементов отложений нижнего подгоризонта Инкудук может достигать до 500 м (по нормали). А мешковая часть, по имеющимся источникам, достигать до 200 м [1,17,18,19].

#### **2.3.1 Литолого-фациальная и геохимическая характеристика продуктивных горизонтов. Контроль уранового оруденения**

Локация месторождения во фронтальной участке регионального потока пластовых вод, существенная мощность и высокая проницаемость продуктивных горизонтов установили ряд специфичности оруденения на этом объекте. Среди них следует отметить:

- очень сложную морфологию оруденения в плане, выразившаяся в извилистости, частой, и вместе с тем, глубокой и «гофрировке» рудных поясов, повторяющих причудливые очертания рудоконтролирующих границ ЗПО;

- наибольший вертикальный размах оруденения с ярко выраженной многоярусностью;

- весьма разнообразные и сложные формы рудных залежей в вертикальных разрезах;

- внушающие масштабы рудоносности;

- высокую продуктивность залежей;

- специфичные характеристики вещественного состава руд.

В сравнении с месторождением Мынкудук, у которого главным рудовмещающим горизонтом служит мынкудукский, и Инкай, где оба горизонта примерно равны по рудоносности, на Буденновском месторождении значительные запасы урана зафиксированы в инкудукском горизонте.

Отличительной особенностью месторождения Буденовское и Шу-Сарысуйской ураново-рудной провинции, среди прочего, является повсеместная приуроченность промышленного оруденения к сероцветным гравийно-песчаным и песчаным породам, восстановительные свойства которых определяются формой, качеством, количеством и распределением растительного углефицированного вещества. Другие восстановители, такие как дисульфиды железа, минералы двухвалентного железа, сидерит, слюды, хлориты и т. п., также отличаются сингенетическим происхождением. Постседиментационные восстановители в породах региона проявляются локально и в становлении эпигенетического оруденения, возможно, играют только вспомогательную роль.

Механизм размещения руд и связанная с этим эпигенетическая зональность на границах регионального ЗПО на проницаемых горизонтах верхнего мела подробно изучены на данной территории.

Основные характеристики данной зональности выражаются в двух профилях геохимических изменений - по железу (один из наглядных представителей окислительно-восстановительных процессов), и по урану, который образует зональный ряд от начала выщелачивания из пород до его концентрации. По железу и его формам зональность характеризуется следующим видом: зона эпигенетически неизменных сероцветных пород; зона пластового окисления (лимонитизации), зона накопления либо восстановления двухвалентного сульфидного железа.

Ряд зонального урана ЗПО, как правило, соответствует зоне выщелачивания урана, которая заменяется зоной эпигенетического накопления урана (урановой оруденения. Для зоны неизменных пород характерно отсутствие видимых эпигенетических признаков изменений, в том числе урановой ряда.

Зону уранового оруденения можно проследить на извилистой полосе по линии выклинивания из ЗПО. Значимая часть рудных тел растянута во фронтальной части ЗПО. В тыльной части - линзовидные рудные останцы [1,17,18,19].

Таблица 2.1 - Средние содержания элементов и соединений, влияющих на свойства геохимического барьера и качество руд

Геохимические типы пород	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>об.</sup>	Fe <sup>сульф.</sup>	S <sup>2-</sup>	Сорг.	CO <sub>2</sub>
	в процентах						
Верхнеинкудукский подгоризонт							
Пески серые безрудные	<u>0,15</u> 43	<u>0,53</u> 43	<u>0,63</u> 43	<u>0,14</u> 43	<u>0,12</u> 43	<u>0,011</u> 43	<u>0,09</u> 9
Пески серые рудные	<u>0,15</u> 6	<u>0,47</u> 6	<u>0,74</u> 6	<u>0,17</u> 6	<u>0,15</u> 6	<u>0,024</u> 6	<u>0,17</u> 14
Пески окисленные	<u>0,12</u> 24	<u>0,58</u> 24	<u>0,78</u> 24	<u>0,09</u> 24	<u>0,07</u> 24	<u>0,010</u> 21	-
Глины, алевроиты	<u>0,92</u> 14	<u>2,05</u> 14	2,75 14	<u>1,14</u> 14	<u>1,01</u> 14	<u>0,447</u> 14	-
Нижний и среднеинкудукский подгоризонты							
Пески серые безрудные	<u>0,19</u> 43	<u>0,52</u> 43	<u>0,75</u> 43	<u>0,16</u> 43	<u>0,14</u> 43	<u>0,042</u> 43	-
Пески серые рудные	<u>0,17</u> 30	<u>0,58</u> 30	<u>0,80</u> 30	<u>0,10</u> 30	<u>0,07</u> 30	<u>0,020</u> 30	<u>0,51</u> 37
Пески окисленные	<u>0,13</u> 45	<u>0,55</u> 45	<u>0,73</u> 45	<u>0,12</u> 45	<u>0,08</u> 45	<u>0,011</u> 45	-
Глины, алевроиты	<u>0,63</u> 30	<u>2,29</u> 30	<u>2,94</u> 30	<u>0,19</u> 30	<u>0,17</u> 30	<u>0,634</u> 30	-
1	2	3	4	5	6	7	8
Мынкудукский горизонт							
Пески серые безрудные	<u>0,26</u> 18	<u>0,85</u> 18	<u>1,33</u> 18	<u>0,28</u> 18	<u>0,24</u> 18	<u>0,027</u> 37	<u>0,09</u> 12
Пески серые рудные	<u>0,31</u> 13	<u>0,87</u> 13	<u>1,44</u> 13	<u>0,27</u> 13	<u>0,23</u> 13	<u>0,024</u> 13	<u>0,11</u> 19
Пески окисленные	<u>0,05</u> 20	<u>0,10</u> 20	<u>0,82</u> 20	<u>0,11</u> 20	<u>0,09</u> 20	<u>0,010</u> 20	<u>0,08</u> 14
Глины, алевроиты	<u>1,24</u> 11	<u>2,27</u> 11	<u>2,64</u> 11	<u>0,25</u> 11	<u>0,21</u> 11	<u>0,375</u> 9	-
Пермская система							
Аргиллиты красные	<u>0,84</u> 4	<u>3,10</u> 4	<u>4,25</u> 4	<u>0,37</u> 4	<u>0,34</u> 4	<u>0,814</u> 4	-

В знаменателе – количество проб.

Примечание: Содержания элементов и соединений приводятся по данным опробования всех скважин, пробуренных в пределах Южного фланга, в основном, на поисково-оценочной стадии (1987-1989 гг.).

Для продуктивных горизонтов характерно низкое содержание С<sub>орг.</sub> (от 0,01% до 0,51%), при этом а в рудах увеличение его содержания над окисленными песками не столько велико, всего вдвое, иногда немного больше. Схожая картина выявляется с формами железа и серы в инкудукском горизонте, где рудные, окисленные и серые безрудные пески практически не различаются по содержанию этих элементов. Ощутимо отмечается мынкудукский горизонт, в котором содержание серы и железа в руде в некоторые разы выше, чем в тыловом ЗПО.

Незначительные содержания основных восстановителей сингенетического генезиса в неизменных породах и рудах и при относительно одновременной высокой проницаемости осадков обуславливают контрастный восстановительный барьер в недостаточной мере, необычно протяженный профиль эпигенетической зональности с нечёткими очертаниями промеж отдельных зон и подзон. Результатом этих специфик стала уникальная мощность уранового оруденения, её высочайшая технологичность по отношению к методу ПВ, определенная структура состава и направленность распределения полезных компонентов [1,17,18,19].

### **2.3.2 Морфология уранового оруденения**

В Инкудукском горизонте находятся значимые запасы урана на месторождении и почти все запасы в детально разведанной части участка 3. Согласно данным, полученных в процессе поисковых и разведочных работ, в восточной половине геологического отвода урановое оруденение с промышленными параметрами в нижележащем мынкудукском горизонте на сегодняшний день недостаточно изучены.

В Инкудукский горизонте отмечают наибольшие мощности проницаемых осадков, более или менее чем невысокими восстановительными и высокими фильтрационными свойствами, благодаря чему рудоконтролирующая геохимическая граница в нём расположена намного западнее остальных. В плане рудные месторождения отмечены сложными гофрированными извилистыми лентами. У общего генерального меридионального направления рудоносной полосы, достигающем около 6,75 км на участке 3 (от профиля 292 до 1084), направление усложняющих морфологию заливов - фестонов – на северо-западное, почти 45 ° к общему.

Формы отложений в поперечно-вертикальных разрезах чрезвычайно разнообразны. Среди них выделяются:

- большая группа монороллов различных модификаций с разным соотношением мешковой и крыльевых частей рудных тел;
- группа «каскадных» роллов, которые были образованы при вертикальном слиянии от двух или более монороллов;
- группа «сопряженных» роллов, управляемых границами близ лежащих по бокам смежных языков ЗПО, вследствие чего мешковые части и взаимосвязанные с ними роллы сливаются.

Ширина замковых частей роллов составляет от нескольких десятков до сотен метров, редко более метров при мощности до 20 м, при этом выклинивание его происходит резко, тупо, без рудных затеков в сероцветный участой разреза. Крылья характеризуются повсеместным развитием, при этом нижнее наиболее выражено; мощность оруденения крыльевых частей не достигает нескольких метров, реже до 5 м. Единичные рудные тела, останцы, устанавливаются в центральных частях горизонта - в тыловой зоне окисления.

Причиной тому является гетерогенность разреза, обилие в составе горизонта мелких линз глинисто-алевритовых водоупорных пород.

Глубины простираения балансовых руд на участке 1 в нижнем подгоризонте инкудука постепенно повышается с севера на юг от 680 м до 705 м и более [1,17,18,19].

### 2.3.3 Вещественный и минералогический состав оруденения

#### 2.3.3.1 Общая минералого-петрографическая характеристика руд и вмещающих пород

Урановые руды характеризуют весьма неравномерное распределение гранулометрических классов, как по площади месторождения, так и в разрезе (Таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Гранулометрический состав рудных песков инкудукского горизонта (%)

Профиль	Кол-во проб	Гранулометрические классы, мм							Всего, %
		5,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	<0,05	
1064 (3 <sup>a</sup> )	2	1,4	18,2	14,1	19,6	12,8	7,2	11,7	
1048 (4)	6	13,6	7,7	13,5	34,4	12,2	4,6	14,0	
4 <sup>a</sup>	10	9,4	10,0	12,7	29,2	16,2	8,7	13,8	
1016 (6 <sup>a</sup> )	14	9,5	6,6	8,4	29,4	20,0	8,6	17,5	
1000 (7)	11	7,1	6,3	8,8	22,3	24,4	12,8	18,3	
Среднее по горизонту	43	11,2	9,8	11,5	27,0	17,1	8,4	15,0	100

Отмечается резкое преобладание фракции в рудных песках - от 0,5 до 0,25 мм и от 0,25 до 0,1 мм, суммарное количество, которых равна - от 44% в подгоризонте нижнего инкудука и до 62% в среднего инкудука. Доля глинисто-алевритовой фракции (менее 0,05 мм) в инкудуке варьирует от 10% до 25% (в среднем 15%).

Силикатная руда, хорошо видна из таблицы 2.3.

Таблица 2.3 - Химический состав рудных песков инкудукского горизонта (%)

Профиль	Кол-во проб	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Прочие
4	6	77,40	10,66	0,54	0,06	2,33	1,05	0,72	0,39	3,42	0,89	2,56
4 <sup>a</sup>	17	83,80	7,50	0,30	0,02	2,27	0,46	0,24	0,14	2,31	0,73	2,23
6 <sup>a</sup>	7	81,7	9,39	0,37	0,03	2,54	0,47	0,32	0,08	2,20	0,70	2,33
7	13	83,55	8,40	0,37	0,03	2,33	0,21	0,29	0,05	1,89	0,54	2,34
Сред-	43	81,60	8,99	0,39	0,04	2,37	0,55	0,39	0,16	2,46	0,72	2,33

Состав рудных песков характеризуется резким преобладанием нерастворимых и труднорастворимых минералов в кислотах (в ср. 98,9 %) (Табл.2.4). Преобладающими из них являются кварц (до 57,2 %), обломки кремнистых пород (до 17,8 %), полевой шпат (до 16,9 %) и слюды (до 3,6 %). Минералы глин – каолинит, монтмориллонит, а также слюды находятся в устойчивой взаимосвязи с друг с другом.

Таблица 2.4 - Средний минеральный состав руд участка 3(в процентах)

Минералы	Мынкудукский горизонт	Инкудукский горизонт
1	2	3
Нерастворимые		
Кварц	57,20	55,20
Обломки кремнистых пород	11,78	17,75
Акцессорные	0,31	0,44
Итого	69,29	73,39
Труднорастворимые		
Полевые шпаты	16,90	15,50
Каолинит	5,60	3,10
Монтмориллонит	4,24	3,33
Гидрослюды	1,72	2,82
Мусковит	0,64	0,41
Биотит	0,56	0,36
Органическое вещество	0,03	0,04
Итого	29,69	25,56
Растворимые		
Лимонит	0,64	0,73
Карбонаты	0,21	0,16
Сульфиды	0,10	0,10
Урановые минералы	0,07	0,06
Итого	1,02	1,05

Цементация рудных песков непрочная, они с лёгкостью размокают в воде. Заполнитель пор и в рудных, так и безрудных отложений сложен глинисто-алевритовым материалом полимиктового состава (от 11% до 27% от общей массы породы). По степени простираия и их количественному соотношению цемент можно отнести к пористым, неравномерным, пятнистым. Глинистые минералы наполнителя пор состоят из монтмориллонита, каолинита и гидрослюды.

В песчаных и гравийно-песчаных породах урановая минерализация отлагается в межзерновом, поровом пространстве (при этом мезопоры заполняются глинисто-алевритовым наполнителем), а также оседает на поверхности как песчаных, так и алевритовых фракций.

Дезинтеграция и отмучивание глинистых частиц в дистиллированной воде дает возможность перевести в водную вытяжку часть металла, а остальную часть обогатить алевритистоглинистыми классами.

Наименьшая концентрация урана фиксирована в виде псевдоморфоз по обугленному детриту, на зернах лейкоксена и ильменита, а также в кавернах, микропорах и микротрещинах песчаников, в зёрнах гравия и гальки, в прослоях слюд.

Урановые минералы в виде коффинита и настурана, наблюдаются и в зёрнах цемента, и в песчинках. В рудах инкудукского горизонта количественное соотношение их составляет (1: 1), а в рудах мынкудукского горизонта долевое участие настурана резко повышается, до 4:1 в пользу оксида.

У руд инкудукского горизонта выявлены случаи симбиотического залегания селеновых и урановых минералов. Аутигенное оруденение в виде кальцита (до 0,26%), пирита, марказита (до 0,6%), лимонита, гетита (до 0,81%), самородного  $\gamma$ -селена (до 0,19%) [1,17,18,19].

### 2.3.3.2 Характеристика сопутствующих элементов

Урановые руды месторождения Будденовское, в преимуществе - монометаллические. Сочетаемость элементов-спутников, установленных в рудных отложениях либо в их среде, крайне ограничена, и их концентрация чаще всего не достигает внушительных содержаний и нестабильна в распределении при горизонтальном разрезе. Представлены содержания сопутствующих элементов согласно данным опробования на территории всей площади южного фланга месторождения за все периоды разведывательных работ.

Таблица 2.5 - Среднестатистические содержания сопутствующих элементов в профиле эпигенетической зональности

Геохимические типы пород	Re, г/т	Sc, г/т	Y, г/т	Se, %	$\Sigma TR+Y$ , г/т
Пески серые безрудные	$\frac{0,02}{782}$	$\frac{3,7}{817}$	$\frac{19,9}{172}$	$\frac{0,003}{125}$	$\frac{129,9}{172}$
Пески серые рудные	$\frac{0,04}{151}$	$\frac{3,3}{148}$	$\frac{17,7}{134}$	$\frac{0,006}{127}$	$\frac{140,0}{131}$
Пески окисленные	$\frac{0,00}{649}$	$\frac{3,4}{690}$	$\frac{20,4}{147}$	$\frac{0,004}{163}$	$\frac{139,3}{171}$
Глины и алевриты	$\frac{0,02}{77}$	$\frac{19,7}{278}$	$\frac{34,3}{144}$	$\frac{0,009}{174}$	$\frac{161,5}{137}$

*Рений.* Размещение Re в урановых рудах, в общем, неравномерно. Наибольшее концентрирование (до 0,27 г/т, скв. 10518, проект 6<sup>а</sup>) наблюдаются в местах с более усложнёнными геохимическими границами. Повышенное концентрирование Re образует маломощные е (до 4,0 м, скв. 10184), не протяжённые (до 100 м) линзы, подходящие к опережающим участкам рудного

ролла. Ореолы рения не часто перекрываются с рудой и наиболее часто смещаются за ее пределы на фронтальной части потока. Урановые руды с Re характеризуются грубозернистыми и средне-крупнозернистыми песками, со стяжениями или горошинами (до 15 мм) карбонатов с напутствующим сдвигом радиоактивного равновесия до 340%. Единичные рениевые ореолы формируют сложнопостроенные линзы длиной до 200 м и толщиной до 5 м (скв. 10561). Повышенная концентрация Re сопровождается Mo (8,5 г/т), Mn (до 0,8%) и Cu (до 120 г/т), и во всех случаях обнаруживают наличие карбонатов и растительного детрита.

Концентрации Re (до 0,2 г / т), связанные с крыловыми частями урановорудных тел, имеют вид маломощных (до 1,75 м, скв. 10585) линз, простирающиеся до 200 м, находящиеся во взаимосвязи с мышьяком ( $K_k=0,41$ ), с медью ( $K_k=0,44$ ), молибденом ( $K_k=0,37$ ), серебром ( $K_k=0,34$ ) и ванадием ( $K_k=0,31$ ).

Усредненная концентрация Re в рудах участка 3 соответствует 0,4 г/т.

*Скандий*. Его размещение в урановых рудах, в большинстве случаев, выявляется литологическим типом пород. Концентрация в рудах варьирует в пределах (от 3,2 г / т в Нижнем Инкудуке до 4,6 г / т в Среднем Инкудуке) и почти соответствует его концентрации во вмещающих породах (до 3,12 г / т в окисленных и до 4,9 г/т в сероцветных песках Верхнего Инкудука).

Наибольшее его количество отмечено в каолиновых корках выветривания (до 25,6 г / т, скв. 10125) аргиллитов пермского возраста.

Концентрация Sc в песках повышается пропорционально повышению глинистого компонента независимо от положения в эпигенетической зональности. Усредненная концентрация Sc в рудах составляет 2,4 г / т.

$\Sigma TR$  и иттрий неравномерно раскинуты, в урановых рудах, обусловленные их литологическим составом. Наиболее высокие концентрации (260г/т, скв.1054) выявлены в серых алевритах подзоны рассеивания урана. Накопление  $\Sigma TR$  и Y в большинстве случаев происходит в окисленных песках задней части роллов. В этом случае концентрация иттрия (до 49 г / т, скв. 10149 в среднем 29,7 г / т) соответствует не более 15% от суммы редкоземельных элементов.

Селен распределен в рудах с неравномерным постоянством. Наибольшая его концентрация выявлена в тыловых частях ЗПО в орудененных, окисленных песках (до 0,102%, скв. 10103). В неизменённых породах на участках относительного низкого содержания (усредненное 0,003%), единичные возвышения (до 0,08%) устанавливались в виде маломощных (до 2,7 м) линз, протяженность которых составляла до 200 м. В этом случае характерным являются сочетания концентрации с серебром (до 2,6 г / т) и медью (до 0,9 г / т). Во многих случаях в образцах проб обнаруживаются содержания мелкокристаллический пирита, кристаллов самородного селена и умангита ( $Cu_3Se_2$ ). Помимо вышеперечисленных сопутствующих элементов в урановых рудах выявлялось содержание ванадия, молибдена, висмута, серебра, свинца, меди и кобальта и др. Их простираение и концентрация обнаруживается в пределах фоновых [1,17,18,19].

### 3 Применения метода КНД-М для количественного определения содержания урана в рудовмещающей среде

#### 3.1 Краткая история развития метода КНД-М

Определение параметров уранового оруденения в скважинах полигонов ПВ на современном этапе базируется в основном на интерпретации результатов гамма-каротажа. Линейные запасы по аномальным пересечениям технологических скважин являются одним из основных факторов формирования качественных по содержанию урана продуктивных растворов на технологических блоках полигонов ПВ. В связи со сложной радиологией руд, присущей месторождениям урана гидрогенного типа, параметры рудных пересечений: мощность, содержание урана, определенные по результатам гамма-каротажа, могут иметь существенные погрешности. В качестве метода прямого определения содержания урана во вмещающих породах был предложен каротаж нейтронов деления (мгновенных) – КНД-м.

В начале 1980-х гг. в НПО «Рудгеофизика» была разработана и внедрена в производство скважинная аппаратура АГА-101 «Импульс» ТСКУ-91 (выпуск прекращен в конце 80-х гг.) для прямого определения урана в рудах песчано-глинистого состава на гидрогенных месторождениях методом КНД-М. Аппаратура АГА-101 «Импульс» ТСКУ-91 успешно использовалась в ПГО Мингео СССР для подсчета запасов на стадии предварительной разведки месторождений с получением подсчетных параметров по рудным интервалам, близким к фактическим. Наиболее важным применением каротажа КНД-М (АГА-101 «Импульс» ТСКУ-91) было его использование при контроле процесса динамики извлечения урана из рудных интервалов по наблюдательным скважинам полигонов ПСВ.

Последняя модификация скважинного прибора, реализующего метод КНД-М по однозондовой методике *СПМ-60* (длина 3300 мм, диаметр 60 мм), была выпущена НПО «Рудгеофизика» в 1987 г.

Современным аналогом аппаратуры *СПМ-60* является аппаратура *АИНК-60*, используемая на рудниках НАК «Казатомпром» с 2000 г. Учитывая габаритные размеры скважинного прибора аппаратуры *АИНК-60* (длина 3250 мм, диаметр 60 мм), возникли проблемы ее использования в технологических скважинах с обсадкой трубами ПВХ 90x8 мм и ПНД 110x18 мм. Следует отметить, что каротаж КНД-М с аппаратурой *СПМ (АИНК-60)* не определяет пористость (влажность)  $K_n$  и с необходимой точностью  $K_{гп}$  в пределах рудных интервалов. Распределение значений  $K_n$  и  $K_{гп}$  по рудовмещающим отложениям, включая рудные, подрудные и надрудные интервалы, учитывается в геотехнологических расчетах на современном этапе при проведении ПСВ. Наряду с этим остается открытым вопрос влияния  $K_n$  на точность определения содержания урана методом КНД-М аппаратурой *АИНК-60* в рудных интервалах скважин [2].

## 3.2 Физико-геологические основы метода КНД-М

### 3.2.1 Геологические основы метода КНД-М

Месторождения урана имеют различный возраст и происхождение, находятся в разных геологических обстановках и распадаются на ряд генетических формационных групп. Среди них особый интерес вызывают инфильтрационные (или пластово-инфильтрационные, или гидрогенные, или песчанниковые – по классификации МАГАТЭ) месторождения, возникшие в результате деятельности пластовых и грунтовых вод в осадочных толщах активизированных депрессионных структур земной коры (чехлах платформ, палеодолинах, орогенных впадинах). Они обычно локализованы в водоносных горизонтах проницаемых осадочных пород. Месторождения этого типа связаны с зонами пластового и грунтового окисления в терригенных отложениях молодых платформ и межгорных впадин. Интерес к таким месторождениям обусловлен в основном возможностью их отработки методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ).

Применение метода ПСВ позволяет снизить затраты на разработку месторождений урана, улучшить условия труда и уменьшить отрицательное воздействие процесса добычи на окружающую среду в сравнении с традиционным горным способом.

Месторождения вышеуказанного типа формируются в осадочных проницаемых толщах горных пород на границе окислительно-восстановительного барьера. В связи с тем, что в окислительной и восстановительной обстановках поведение подвижных форм материнского урана и дочернего радия существенно различаются, в процессе их переноса (и особенно проведения ПСВ) возникают геохимические зоны, в которых соотношения массовых долей радия и урана очень сильно отличаются от состояния радиоактивного равновесия, иногда на несколько порядков.

Состояние радиоактивного равновесия между радием и ураном принято характеризовать коэффициентом радиоактивного равновесия  $K_{рр}$ , который равен отношению массовых долей радия в единицах равновесного урана ( $1 \text{ г U} \sim 3,4 \cdot 10^{-7} \text{ г Ra}$ ) и урана. Значение  $K_{рр}=1$  соответствует состоянию радиоактивного равновесия, а отличие значений  $K_{рр}$  от 1 означает нарушение равновесия. Существенные отклонения значений  $K_{рр}$  от 1 (более чем на 40 % в обе стороны), указывает на геологическую особенность, в которой метод гамма-каротажа (ГК) становится не надежным. При больших коэффициентах вариации  $K_{рр}$  в пределах рудной залежи применение ГК для подсчета запасов становится практически невозможным в связи с большими погрешностями метода. Именно такого рода геолого-технологические обстановки с существенным нарушением радиоактивного равновесия неизбежно возникают в пластово-инфильтрационных месторождениях, особенно при их промышленной отработке способом ПСВ. Причин этому несколько.

Во-первых, геологические процессы в водонасыщенных пластово-

инфильтрационных месторождениях с высокой проницаемостью приводят к изначальному нарушению радиоактивного равновесия.

Во-вторых, при бурении проницаемых пород в околоскважинном пространстве чаще всего происходит «отжатие» радоносодержащих пластовых вод фильтратом промывочной жидкости от стенок скважины в пласт. Это ведет к еще большему нарушению радиоактивного равновесия в уран-радиевом ряду – уже между радием и радоном, продукты распада которых являются основными источниками гамма-излучения при ГК.

Поправочные коэффициенты и зависимости, применяемые при интерпретации гамма-каротажа, рассчитываются статистическими методами в соответствии с [4] обычно для всего объекта в целом или его частей, и поэтому для каждого конкретного уранового рудного интервала их фактические значения будут отличаться. Погрешность определения параметров рудных интервалов по гамма-каротажу определена в [3].

В-третьих, в процессе выщелачивания раствором серной кислоты в продуктивные растворы переходит лишь уран. Радий вместе с короткоживущими продуктами его распада (висмут-214, свинец-214), являющиеся основными гамма-излучателями в ураново-радиевом ряду, практически целиком остается на месте залегания. Этот фактор приводит к наиболее сильному смещению радиоактивного равновесия между ураном и радием, когда коэффициент  $K_{рр}$  может многократно превышать равновесное значение  $K_{рр}=1$ , нередко даже на несколько порядков.

Для месторождений урана пластово-инфильтрационного типа, в обстановках со смещенным радиоактивным равновесием между ураном и радием, метод КНД-М является, наряду с геологическим опробованием керна, наиболее точным методом определения массового содержания урана и других параметров уранового оруденения в скважинах: среднего содержания, мощности, линейных запасов (метропроцента).

При этом одной из ядерно-физических основ определения содержания урана по данным регистрации КНД-М мгновенных нейтронов деления урана-235 является существующее в природе постоянное изотопное соотношение в естественной смеси изотопов природного урана:  $^{238}\text{U} - 99,274 \%$ ,  $^{235}\text{U} - 0,7196 \%$ ,  $^{234}\text{U} - 0,0057 \%$ .

### **3.3 Физические основы метода КНД-М**

Метод КНД-М является одной из модификаций импульсного нейтронного каротажа. Принципиальное его отличие от ИНК заключается в том, что при КНД-М измеряется плотность потока нейтронов, не непосредственно от скважинного импульсного генератора после их замедления и термализации, а плотность потока мгновенных нейтронов деления (МНД), источником которых является урановая руда, как природный генератор быстрых нейтронов, при этом эффект создается исключительно мгновенными нейтронами деления урана-235.

Мгновенные нейтроны деления (МНД) – нейтроны, возникающие в результате ядерных реакций деления, протекающих непосредственно на радионуклидах  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ . При облучении нейтронами природных образований (рудовмещающих пород) происходит захват первичных нейтронов ядрами этих нуклидов, который приводит к расщеплению ядер на осколки (реакция деления ядер), при этом каждый акт деления сопровождается выделением двух-трех «мгновенных» нейтронов деления (МНД) с непрерывным спектром и средними энергиями около 2 МэВ, а также с испусканием 8-10 «мгновенных» гамма-квантов деления. После этого возбуждение осколков снимается в каскаде  $\beta$ -распадов с периодами полураспада от долей до десятков секунд и образованием «запаздывающих» нейтронов деления с такими же задержками и примерно на 2 порядка меньшей множественностью. Энергия, выделяемая в (n,f)-реакции деления, огромна и, например, для  $^{235}\text{U}$  составляет ~200 МэВ, но зондирующим руду при КНД-М мгновенным нейтронам деления достается всего в сумме ~6 МэВ. Природные актиноиды  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$  имеют эффективный порог деления ~1,4 МэВ. Их «мгновенные» нейтроны деления также испускаются в течении  $\sim 10^{-8}$  с, имеют близкую среднюю энергию ~2 МэВ и похожие непрерывные энергетические спектры деления. Поэтому их замедление и термализация происходит одновременно с быстрыми нейтронами, инжектированными генератором. Термализованные нейтроны распространяются в веществе по законам диффузии, пока не будут захвачены ядрами вещества в системе «прибор-скважина-пласт». Время термализации  $t_{th}$  очень сильно зависит от замедляющих и рассеивающих свойств рудовмещающих пород, прежде всего от их влажности, возрастая от первых единиц до ~100-200 мкс с уменьшением влажности до нулевых значений; для горных пород и руд силикатного состава измеренная на моделях достаточно малой влажности максимальная величина  $t_{th} = 150 \pm 5$  мкс. Так как урановые руды относятся к замедлителям со слабым поглощением нейтронов, то за время полной термализации в среде останутся только тепловые нейтроны, вызывающие деление ядер урана-235 с испусканием в основном мгновенных и маленькой доли запаздывающих нейтронов (разработан также вид «каротажа на уран по запаздывающим нейтронам деления» ядер урана-238 на быстрых нейтронах и урана-235 на тепловых нейтронах, которые регистрируются в тепловой области энергий).

Физическая суть метода КНД-М состоит в измерении мгновенных нейтронов деления (МНД) урана-235, возникающих при взаимодействии его ядер с тепловыми нейтронами, образовавшимися в результате замедления и термализации нейтронов с энергией 14 МэВ импульсного генератора нейтронов. Возникшие мгновенные нейтроны деления имеют энергетический спектр деления со средней энергией порядка 2 МэВ, они тоже начинают замедляться, термализоваться и становятся тепловыми нейтронами, не отличимыми от первичных тепловых нейтронов генератора, поток которых гораздо мощнее.

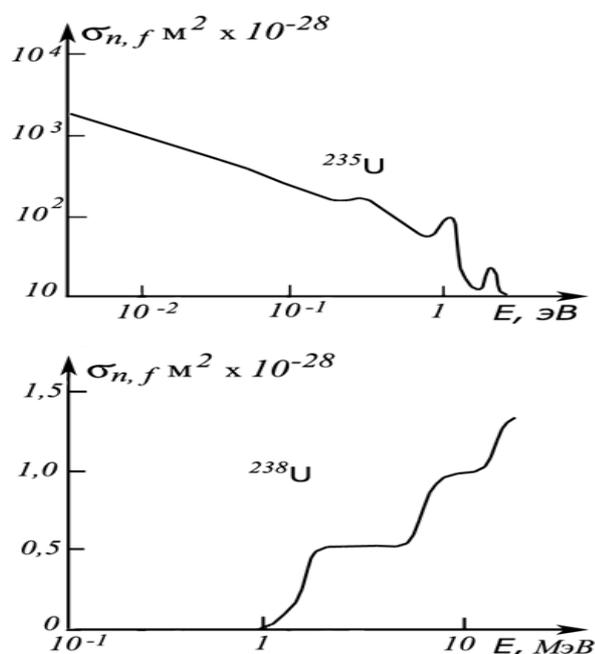


Рисунок 3.1 – Сечение деления ядер изотопов урана в зависимости от энергии нейтронов

С ростом энергии нейтронов  $E$  сечение деления  $\sigma_{nf}(E)$  на уране-238 после порога  $\sim 1.4$  МэВ увеличивается примерно до постоянного значения  $\sim 0,5 \cdot 10^{-28}$  м<sup>2</sup>. В области  $E \geq 6$  МэВ сечение вновь возрастает, поскольку добавляется канал реакции  $(n, n', f)$  — неупругое рассеяние нейтронов  $(n, n')$ , после которого ядра  $^{238}\text{U}$  остаются со столь большой энергией возбуждения, что способны разделиться на осколки. В целом сечение деления  $^{238}\text{U}$  на быстрых нейтронах не превышает  $1,5 \cdot 10^{-28}$  м<sup>2</sup> вплоть до максимальных энергий  $\sim 10$  МэВ.

Для редкого изотопа  $^{235}\text{U}$  сечение деления  $\sigma_{nf}(E)$  по мере снижения энергии нейтронов от верхней границы надтепловой области  $E_{нт} \sim 1$  эВ сечение  $\sigma_{nf}(E)$  резко возрастает тоже по «закону  $1/v$ » и для тепловых нейтронов с  $E \sim 0,025$  эВ оно достигает значений  $\sim 10^{-25}$  м<sup>2</sup>, превышающих сечение деления изотопа  $^{238}\text{U}$  на 3 порядка.

Следовательно, несмотря на малую распространенность изотопа  $^{235}\text{U}$  в природном уране ( $\sim 0,72$  %), основной вклад в реакцию деления, вызываемую тепловыми нейтронами, будут вносить ядра  $^{235}\text{U}$ .

Для выделения довольно слабого сигнала МНД на фоне первичных нейтронисточника применяются одновременно две физические отсечки – по времени задержки и по энергии нейтронов.

Блокировка измерений на время отсечки после импульса, превышающее максимальное время термализации нейтронов  $t_{th} \sim 160$  мкс в типовых для гидrogenных месторождений породах, позволяет отсечь все быстрые, промежуточные и надтепловые нейтроны генератора, оставив только первичные тепловые нейтроны генератора. Важно, что в силу очень резкого убывания времени термализации от влажности,  $t_{th}(W)$ , с одной стороны, и

повышенной величины нижней границы влажностей  $W_{\min} \approx 10\%$  на гидrogenных месторождениях урана, с другой, максимальное время термализации  $t_{th}(W_{\min}) \approx t_{th}(10\%)$  может быть всего 50-60 мкс. Это означает, что допустимое время отсечки для блокировки измерений после импульса ИНГ (импульсного нейтронного генератора) может быть тоже снижено до значений  $t_{th}(W_{\min}) \approx 50-60$  мкс, т.е. примерно на 100 мкс, что позволяет увеличить самую критичную величину – скорость счета МНД в 1.5-2 раза или повысить скорость каротажа.

Отсечка по энергии измеряемых нейтронов достигается путем окружения счетчика медленных нейтронов фольгой из кадмия, который имеет аномально большое (2450 барн) сечение поглощения нейтронов в тепловой области, но достаточно хорошо пропускает нейтроны с надтепловыми (выше 0,7 эВ) энергиями. Для повышения эффективности регистрации между кадмиевой фольгой и счетчиком медленных нейтронов размещают в замедлитель из оргстекла толщиной 5 мм.

В результате надтепловая и более высокоэнергетическая часть спектра образовавшихся нейтронов МНД проходит в детектор и дает сигнал о наличии в рудном теле урана, в то время как интенсивный поток первичных тепловых нейтронов генератора полностью поглощается слоем кадмия толщиной от 0,5 до 1,0 мм. В итоге детектор КНД-М регистрирует практически чистый сигнал от урана-235, который в силу постоянства изотопного состава природного урана точно характеризует и общее массовое содержание урана.

Деление урана-238 быстрыми нейтронами происходит только в течение нескольких десятков наносекунд после окончания нейтронного импульса, поэтому за время блокировки регистрации импульсов, составляющего несколько десятков микросекунд, мгновенные нейтроны деления урана-238 практически одновременно с нейтронами источника достигнут тепловых скоростей и не будут регистрироваться детектором. По той же причине и наличие тория не создает заметного эффекта.

Следовательно, измеряемая при проведении КНД-М скорость счета потока нейтронов не содержит в себе информацию о содержании в рудах радия, тория, радиоизотопа калия. Результаты интерпретации по определению содержаний урана, в отличие от интерпретации данных гамма-каротажа, не требуют корректировки на радиоактивное равновесие между ураном, радием и дочерними продуктами их распада. Это является определяющим при выборе места и роли метода в комплексе геофизических работ, проводимых как при разведке пластово-инфильтрационных месторождений урана, так и при их обработке способом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ).

### **3.3.1 Физические основы однозондовой методики КНД-М**

Методика реализуется на базе скважинного прибора АИНК-60. Для метода КНД-М установлены следующие закономерности.

а) В однородной бесконечной среде скорость счета МНД, равная

интегральному временному спектру надтепловых МНД  $N1(t_1)$  в полубесконечном временном окне  $t > t_1$ , и массовая доля урана  $C_U$  связаны соотношением (3.1)

$$N1 = K_0 C_U \quad (3.1)$$

где  $K_0$  – пересчетный коэффициент, численно равный скорости счета МНД от единичной массовой доли урана  $C_U$  при единичном потоке нейтронов генератора ( $Q=1 \cdot 10^8 \text{ c}^{-1}$ ).

б) В однородной среде площадь  $S(\text{МНД})$  под каротажной диаграммой скорости счета МНД  $N1(H)$  в рудном интервале (РИ) пропорциональна метропроценту (линейному запасу)  $M$  этого РИ, согласно уравнению (3.2):

$$S(\text{МНД}) = K_0 M \quad (3.2)$$

где  $M = m C_U$  – линейный запас (метропроцент), м%;  $m$  – мощность рудного интервала, м.

в) Пересчетный коэффициент  $K_0$  определяется следующим образом (3.3):

$$K_0 = A K_\tau K_L \rho_p / \rho_o \quad (3.3),$$

где  $A$  – градуировочный коэффициент аппаратуры;  
 $K_\tau$  – временной пересчетный коэффициент, учитывающий временное распределение мгновенных нейтронов деления  $N1(t > t_1)$ ;  
 $K_L$  – пространственный пересчетный коэффициент, учитывающий пространственное распределения мгновенных нейтронов деления;  
 $\rho_p$  – плотность руды, г/см<sup>3</sup>;  
 $\rho_o$  – плотность рудного материала, г/см<sup>3</sup> в стандартных образцах или плотность руды в контрольно-поверочных скважинах, которые использовались для определения градуировочного коэффициента  $A$ , г/см<sup>3</sup>.

г) Поток мгновенных нейтронов деления в исследуемой среде затухает со временем почти по экспоненциальному закону с кажущимся временем жизни  $\tau_{mnd}$  или декрементом затухания  $G_{mnd} = 1000/\tau_{mnd}$ . А т.к. временной пересчетный коэффициент  $K_\tau$  отражает величину интегрального временного спектра МНД  $N1(t > t_1)$  с нижней отсечкой  $t_1$  по времени задержки, то  $K_\tau$  вычисляется по формуле (3.4):

$$K_\tau = \tau_{mnd} \exp(- t_1 / \tau_{mnd}) = (1 / G_{mnd}) \exp(- G_{mnd} t_1) \quad (3.4)$$

Где  $\tau_{mnd}$  – кажущееся время жизни (или затухания) надтепловых мгновенных нейтронов деления, в мкс,

а  $G_{mnd}$  - декремент затухания МНД, в 1/мс, измеряемые на зонде МНД.

Отсечка  $t_1$  по времени задержки, или нижняя граница интегрального временного спектра  $N_1(t > t_1)$  должна быть аппаратурно регулируемой и выбираться для исследуемого объекта, исходя из минимальной величины влажности  $W$  исследуемого объекта. При отсутствии возможности регулировки, обычно выбирается равной 160 мкс из следующих физико-технических соображений:

1)  $t_1 = 160 \text{ мкс}$  близко к максимальному времени термализации замедлившихся нейтронов в силикатной породе с почти нулевой влажностью, равному примерно 150 мкс, чем реализуется временная селекция первичных надтепловых нейтронов генератора в любых разрезах (как главной помехи МНД), поскольку при  $t > t_1 = 160 \text{ мкс}$  в системе «скважина-пласт» их уже не остается;

2) время задержки  $t_1 = 160 \text{ мкс}$  кратно ширине применяемого временного окна  $Dt = 32 \text{ мкс}$  (В приборе ЦСП КНД60  $Dt = 40 \text{ мкс}$ ), что удобно для обработки, поскольку время задержки  $t$  всегда измеряется в единицах  $Dt$ .

Для определения  $K_\tau$  используется более точный и устойчивый параметр - время жизни тепловых нейтронов на зонде ТН(ИННК), которое определяется по асимптоте временного спектра тепловых нейтронов.

д) Пространственный пересчетный коэффициент  $K_L$  зависит от конструкции скважинного прибора, от диаметра скважины  $D$  и от влажности руд  $W$ . Для его определения необходимо иметь предварительно рассчитанные палеточные зависимости  $K_\tau = f(D, W)$ , которые являются частью программно-интерпретационного обеспечения (ПИО).

Диаметр скважины  $D$  определяют по данным кавернометрии. При отсутствии данных кавернометрии принимается номинальный диаметр породоразрушающего инструмента.

$W$  - Для однозондовой методики, при которой тепловой зонд отсутствует, применяют среднее значение влажности, определенное для месторождения по анализам кернового материала. Это основной источник погрешности метода.

е) Границы рудных интервалов мощностью более 30 см и с «резкими» границами с точностью до 5 см соответствуют положению точек на каротажной диаграмме, в которых значение сигнала МНД  $N_1$  равно половине максимального значения. При относительно равномерном характере оруденения (аномалия с небольшими градиентами содержаний на крыльях), границы РИ могут быть определены по точкам, соответствующим заданным бортовым значениям урана.

ж) Распределение содержания урана  $C_U(H)$  в исследуемом РИ находится по диаграмме КНД-М  $N_1(H)$  путем решения интегрального уравнения Фредгольма 1 рода (3.5):

$$N_1(H_k) = K_0 \int_0^{\infty} \Psi(H_k - H) C_U(H) dH \quad (3.5)$$

где  $N_1(H_k)$  – значение сигнала на каротажной диаграмме МНД в кванте на

глубине  $H_k$ ;

$K_0$  – пересчетный коэффициент по формуле (3.3);

$\Psi(H_k - H)$  – нормированная на единицу «элементарная» каротажная диаграмма

(НЭКД) зонда МНД в зависимости от глубины  $H$  для тонкого рудного интервала толщиной 1 квант (0.1 м) с единичным содержанием урана, расположенного на глубине  $H_k$ ; НЭКД зависит от конструкции скважины и скважинного прибора и от влажности руд  $W$ ;

$H_k$  – глубина кванта, для сигнала МНД в котором  $N_1(H_k)$  решается уравнение (3.5);

$H$  – переменная координата интегрирования по глубине (вдоль оси скважины). Вариант интерпретации данных КНД-М с использованием программы REG сводится к решению интегрального уравнения (3.5) относительно  $C_U(H)$ .

### 3.3.2 Физические основы двухзондовой методики КНД-М

В двухзондовой аппаратуре КНД-М к основному зонду МНД добавлен дальний (относительно мишени генератора) зонд ТН (ИННК), реализующий стандартный метод импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК) по тепловым нейтронам, с целью использования его показаний для количественной оценки влажности руды  $W$ .

Метод ИННК основан на изучении поведения нестационарных полей нейтронов от импульсного источника в системе «скважина – пласт».

В зависимости от ГТУ и временного режима измерений, данные ИННК могут содержать или не содержать информацию о физических параметрах пласта. Доказаны два строгих условия информативности ИННК относительно сечения поглощения нейтронов в пласте  $\Sigma_a$  и времени задержки  $t$ , при выполнении которых возможно его количественное определение:

а) поглощение нейтронов в пласте должно быть слабее, чем в скважине (случай «слабого поглощения»):

$$\Sigma_a < \Sigma_{\text{скв}};$$

б) времена задержки  $t$  должны быть больше асимптотического времени  $t_{ac}$ ,

$$t > t_{ac},$$

начиная с которого, динамическое влияние скважины затухает настолько, что им можно пренебречь.

В связи с практической важностью критериев «а» и «б» следует отметить ряд уточняющих их особенностей:

Критерии «а» и «б», включающие 4 параметра  $\Sigma_a$  ( $K_p, S_{пл}$ ),  $\Sigma_{\text{скв}}$  ( $S_{пж}$ ),  $t, t_{ac}$  ( $D_c, S_{пж}$ ), которые зависят от геолого-технических условий,  $\Gamma TУ = \{K_p, S_{пл}, S_{пж}, D_c, t\}$  и фактически очерчивают область применимости ИНК в пространстве параметров ГТУ;

- Под критериальным параметром «макросечение поглощения тепловых

нейтронов в скважине»  $\Sigma_{скв}(Спж, Dс)$  понимается среднее значение макросечения захвата  $\Sigma_a$  по объему скважины в интервале от мишени генератора до дальнего торца счетчика ТН(ИННК), которое зависит от конструкции прибора, Спж, Dс, но не зависит от эксцентриситета прибора в скважине;

- Критерии информативности «а» и «б» относятся только к оценке макросечения захвата тепловых нейтронов в породе,  $\Sigma_a$ , связанного с минерализацией и водонасыщенностью пластов, и не относятся к информативности ИНК относительно водородосодержания пород. Последняя формируется в основном на этапе замедления быстрых нейтронов и слабее связана с нейтронопоглощающими свойствами системы и временными режимами измерений, которые управляют нестационарной диффузией тепловых нейтронов;

- ограничительные рамки критериев информативности «а» и «б» значительно ослабляются при переходе к скважинам и приборам очень малого диаметра.

При выполнении двух вышеуказанных условий информативности пласт при больших значениях  $t > t_{ас}$  аккумулирует подавляющую часть оставшихся непоглощенными нейтронов, поток нейтронов направлен радиально из пласта в скважину, и пространственно-временное распределение нейтронов в скважине формируется нейтронами из пласта и повторяет их распределение в пласте.

Измеряемая в скважине скорость временного затухания нейтронов определяется величиной макросечения захвата  $\Sigma_a$  пласта, а измеряемое пространственное распределение нейтронов – водородосодержанием пласта.

Согласно условию «а» ИННК информативен при измерениях в большинстве водоносных пластов, поскольку они относятся к случаю «слабого поглощения»  $\Sigma_a < \Sigma_{скв}$ .

Высокопористые ( $K_p$  более 25 %) и одновременно высокоминерализованные ( $C_{пл}$  более 200 г/л) водонасыщенные коллекторы относятся к случаю более «сильного поглощения» нейтронов в пласте по сравнению со скважиной, когда  $\Sigma_a$  более  $\Sigma_{скв}$  и нарушается первое условие информативности. При этом тепловые нейтроны на всех временах задержки аккумулированы в основном в скважине, и поэтому влияние параметров пласта на регистрируемые в скважине показания очень мало, т.е. ИННК неинформативен.

Диапазон времени задержек  $t$  при ИННК можно разбить на три интервала, в которых закономерности переноса нейтронов существенно различаются: малые значения до 300 мкс, средние - от 300 до 700 мкс и большие свыше 700 мкс.

В интервале малых значений времени задержек процессы диффузии и поглощения тепловых нейтронов в породе слабо влияют на результаты измерений в скважине. Нейтроны сосредоточены в основном в скважине, где

их плотность выше, чем в пласте (особенно в области малых зондов), и они диффундируют из скважины в пласт (рисунок 3.2). Пространственное распределение тепловых нейтронов вдоль оси скважины не успевает заметно измениться по сравнению с начальным распределением надтепловых нейтронов. Последнее очень чувствительно к водороду  $W$  и нечувствительно к  $\Sigma_a$ , почему малые задержки и используются для определения  $W$ . Это осуществляется с помощью измерения отношения  $R$  скоростей счета тепловых нейтронов на двух расстояниях от импульсного источника быстрых нейтронов ( $A$ ), которое не только чувствительно к изменению влажности  $W$ , но и гораздо более помехоустойчиво по сравнению со скоростями счета  $J_i$  на отдельных зондах. Чувствительность  $R$  к  $W$  максимальна в плотных пластах, а при  $W$  более 25 % наблюдается ее снижение (как и в стационарном НК). Временное распределение  $J(t)$  регистрируемых в скважине нейтронов еще слабо зависит от  $\Sigma_a$ , и поэтому область малых задержек для определения  $\Sigma_a$  не используется.

На больших, асимптотических значениях времени задержки,  $t > t_{ас}$ , градиент радиального перетока устанавливается постоянным вдоль скважины, как показано на рисунке 3.2.

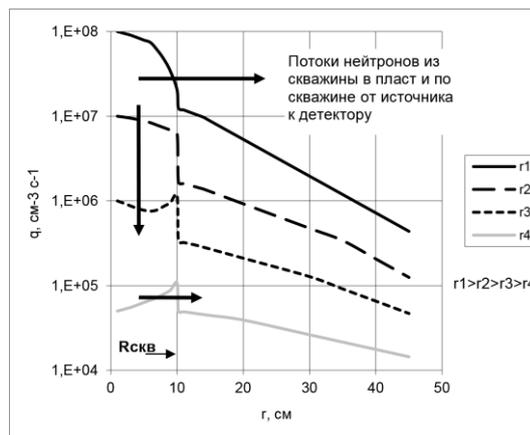


Рисунок 3.2 - Радиальное распределение плотности замедления надтепловых нейтронов в системе скважина-пласт на малых зондах ( $r_1, r_2$ ) и больших зондах ( $r_3$  и  $r_4$ ) и направления основных потоков тепловых нейтронов при малых значениях времени задержки

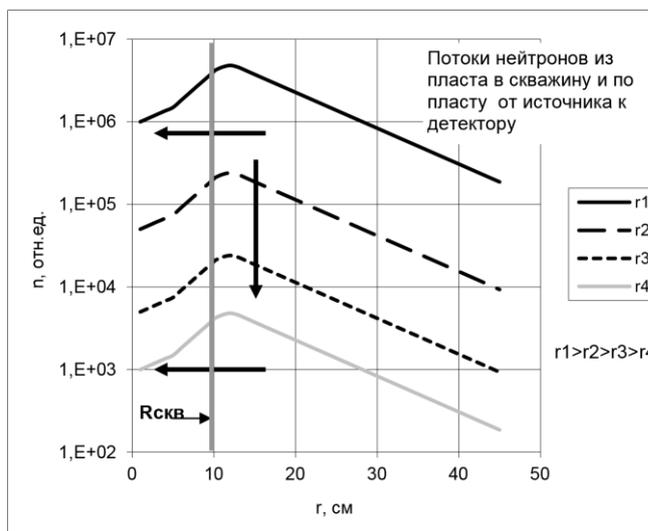


Рисунок 3.3 - Радиальное распределение плотности тепловых нейтронов в системескважина-пласт на малых зондах ( $r_1$ ,  $r_2$ ) и больших зондах ( $r_3$ ,  $r_4$ ) и направления основных потоков тепловых нейтронов при больших значениях времени задержки.

При средних значениях времени задержки  $t$  происходят основные процессы перераспределения нейтронов между пластом и скважиной: в скважине нейтроны быстрее вымирают при  $\Sigma_{скв}$  более  $\Sigma_a$ , а пласт их медленнее поглощает и накапливает (относительно скважины) и становится источником нейтронов. С ростом времени плотность нейтронов в скважине становится ниже, чем в пласте при всех расстояниях от источника нейтронов, после чего радиальное направление потока нейтронов меняется на противоположное - из пласта в скважину. Динамическое влияние скважины затухает, т.е. нейтронный поток к детекторам по скважине становится много меньше потока к ним из пласта (рисунок 3.3). Результаты измерений при средних временах задержки можно использовать для определения  $W$  и  $\Sigma_a$ .

Он обеспечивает повторение в скважине того пространственно-временного распределения нейтронов, которое установилось в пласте, поскольку пласт является источником нейтронов, регистрируемых в скважине. Нейтронное поле в пласте из-за длительного времени пребывания там нейтронов зависит в основном только от диффузионных нейтронных параметров пласта, которые определяют закономерности измеряемого в скважине временного распределения нейтронов. В частности, измеряемый в скважине декремент временного затухания нейтронов приближается к такому в пласте, который в основном определяется макросечением  $\Sigma_a$ .

Данные ИННК при больших  $t$  используются для определения  $\Sigma_a$ , а  $W$  здесь не оценивается. С ростом времени  $t$  увеличивается средний путь непоглощенных тепловых нейтронов в пласте, что обуславливает заметный рост радиальной глубинности ИННК со временем примерно по закону  $\sqrt{t+const}$ , которая достигает в высокопористых пластах гидрогенных месторождений урана значений 35-50 см, что при тех же  $K_p$  заметно

превышает глубинность стационарного НК ~15-25 см. Временное затухание измеряемой скорости счета нейтронов после импульса излучения генератора длительностью  $\Delta_{\text{имп}}$  описывается двухкомпонентной моделью сигнала ИННК по уравнению (3.6):

$$J(t) = A_{\text{скв}} \exp(-G_{\text{скв}} t) + A_{\text{пл}} \exp(-G_{\text{пл}} t), \quad (3.6)$$

$G_{\text{пл}} < G_{\text{скв}}$ ;  $t > \Delta_{\text{имп}} < 100\text{-}200$  мкс.

Согласно (4.6) сигнал представляется в виде суммы двух экспонент – «скважинной» и «пластовой», которые описывают потоки нейтронов, приходящие к детектору преимущественно по скважине и по пласту, соответственно.

Декремент  $G_{\text{скв}}$  короткоживущей «скважинной» ветви кривой  $J(t)$  зависит от параметров скважины  $S_{\text{пж}}$  и  $D_{\text{с}}$ .

Декремент  $G_{\text{пл}}$  долгоживущей «пластовой» ветви близок к сечению поглощения нейтронов в пласте  $\Sigma_a$  по формуле (4.7):

$$G_{\text{пл}} = \Sigma_a + \Delta \quad (3.7)$$

где  $G_{\text{пл}}$  – пластовый декремент временного затухания нейтронов,  $\text{мкс}^{-1}$ ;  
 $\Sigma_a$  – сечения поглощения нейтронов в пласте,  $\text{мкс}^{-1}$ ;

$\Delta$  -диффузионная поправка, обычно не превышающая 20 % от  $G_{\text{пл}}$ .

Выражение  $\Sigma_a$  в единицах обратного времени ( $\text{мс}^{-1}$ ) обусловлена следующим:

а) метод ИННК является нестационарным, и при определении  $\Sigma_a$  основной, выделенной координатой является время задержки  $t$ , его физически естественным масштабом – время жизни  $\tau$ , а основные процедуры обработки представляют временной анализ сигнала;

б) скорость убывания сигнала  $J(t)$  со временем есть декремент временного затухания  $G$  ( $\text{мс}^{-1}$ ), который является основным интерпретационным параметром ИНК. В этих единицах  $G$  фактически совпадает с  $\Sigma_a$  ( $\text{мс}^{-1}$ ) (с точностью до небольшой аддитивной поправки):

$$\begin{aligned} \lambda &= \Sigma_a + \Delta; \quad |\Delta| \ll \Sigma_a; \\ J(t) &\sim \exp(-Gt), \text{ если } G \text{ в } \text{мс}^{-1}, t \text{ в } \text{мс} \\ J(t) &\sim \exp(-t/\tau_k), \text{ если } \tau_k \text{ и } t \text{ в } \text{мкс}; G = 1000/\tau_k, \end{aligned}$$

где  $\tau_k$  – измеренное, или кажущееся значение времени жизни тепловых нейтронов.

Скважинные условия измерений влияют на величину  $G_{\text{пл}}$  в пределах 3 %. Поправка  $\Delta$  зависит в основном от длины зонда ( $Z_i$ ) и влажности ( $W$ ), убывая с ростом последних. При этом с ростом длины зонда  $Z_i$  зависимость

$\Delta(Z_i)$  меняет знак с положительного на отрицательный: а) на малых зондах  $\Delta(Z_i \sim 20-30 \text{ см}) > 0$  и максимальна, т.е.  $G_{пл} > \Sigma a$ ; б) на средних зондах поправка минимальна  $\Delta(Z_i \sim 40-50 \text{ см}) \approx 0$ , т.е.  $G_{пл} \approx \Sigma a$ , что служит одной из причин выбора второго, среднего по длине зонда  $Z_2$  для измерения декремента  $G_{пл}$ , который просто принимается за сечение в пласте  $\Sigma a$ ; в) на больших зондах  $\Delta(Z_i > 60-70 \text{ см}) < 0$ , т.е.  $G_{пл} < \Sigma a$ . Декремент  $G_{пл}$  линейно связан с искомым параметром пласта  $\Sigma a$  и близок к нему; поэтому  $G_{пл}$  принимается в качестве первого интерпретационного функционала ИННК. При обработке данных ИННК его вычисляют с помощью алгоритмов декомпозиции измеряемого сигнала  $J(t)$  по программе DECOMP как один из коэффициентов ( $G_{пл}$ ) разложения  $J(t)$  на экспоненты. Сечение  $\Sigma a$  определяется по измерениям  $G_{пл}$  с помощью теоретико-экспериментальных палеток декремента  $G_{пл}(\Sigma a, W)$  или диффузионной поправки  $\Delta(W)$ .

В двухкомпонентной модели сигнала ИННК рассмотренные выше 3 области значений времени задержки означают следующее:

- малые значения – преобладание «скважинной» компоненты;
- средние значения – обе компоненты соизмеримы;
- большие, или асимптотические времена  $t > t_{ас}$  – «скважинная» компонента становится пренебрежимо малой и остается только «пластовая» компонента.

Для интерпретации результатов повторных измерений ИННК используются следующие соотношения:

а) Измеряемый декремент  $G$  отличается от физического параметра  $\Sigma a$  на величину поправки, которая зависит в основном от водородосодержания пласта. При смене насыщения пористого пласта величина влажности  $W$  меняется незначительно, и изменения измеряемого параметра с глубиной  $H$ ,  $dG(H)$ , совпадают с колебаниями порождающего его физического параметра  $d\Sigma a(H)$ , т.е. на КД ИННК соблюдается условие:

$$G = \Sigma a + \Delta(W); \quad dG(H) \approx d\Sigma a(H);$$

б) Связь нейтронного параметра  $\Sigma a$  в многокомпонентной горной породе с объемными долями компонент  $V_i$  (скелет, вода, глина, нефть и т.д.) выражается петрофизическими моделями (3.8) и (3.9):

$$\Sigma a = \sum_i V_i \cdot \Sigma a_i \quad (3.8),$$

$$\sum_i V_i = 1 \quad (3.9),$$

где  $V_i$  – объемные доли компонент горной породы, доли;  
 $\Sigma a_i$  – макроскопическое сечение захвата тепловых нейтронов в  $i$  компоненте горной породы,  $\text{мс}^{-1}$ .

Простой линейный закон (3.8) связи параметра  $\Sigma_a$  с содержанием компонент породы, позволяет представить эффект различия  $dV$  двух пластов по параметру объемного содержания  $V_i$  любой  $i$ -компоненты пласта через вызванную им величину  $d\Sigma_{a,i}$  изменения параметра  $\Sigma_a$ . В этом случае чувствительность  $Q_{V_i}$  сечения  $\Sigma_a$  к изменению объемного содержания  $V_i$  компоненты  $i$  определяется соотношением (3.10):

$$Q_{V_i} = d\Sigma_{a,i} / dV_i \quad (3.10),$$

где  $dV_i$  – изменение объемного содержания  $V_i$  компоненты  $i$ ,  
 $d\Sigma_{a,i}$  – вызванное этим изменение сечения захвата тепловых нейтронов  $\Sigma_a$ .

### **3.4 Основные проблемы количественного определения содержания урана во вмещающих породах.**

Главную общую проблему современного состояния КНД-М, интегрирующую в себе все конкретные недостатки и трудности его аппаратного и методического обеспечения, можно сформулировать так: несмотря на то, что метод КНД-М «прямой», имеет большой физический потенциал и разрабатывается уже свыше 40 лет, в России и СНГ он до сих пор не стал надежным методом количественного определения урана. Отечественные АМК не позволяют контролировать погрешность определения урана  $С_u$ , которая всегда неизвестна, и поэтому во многих геолого-технических условиях (ГТУ) метод КНД-М используется фактически как индикаторный.

Конкретные проблемы и недостатки КНД-М, приведшие к такой ситуации, и предлагаемые пути их решения естественно разделить на 4 группы, соответствующие 4-м составным частям «обеспечения» метода:

- теоретико-вычислительное обеспечение,
- аппаратно-методическое обеспечение,
- программно-интерпретационное обеспечение,
- метрологическое обеспечение.

При исследовании помех для КНД-М и оценке вызываемых ими погрешностей будем опираться на следующие факты из опыта применения и из теории КНД-М:

- Основными геолого-физическими помехами при КНД-М являются переменная влажность  $W$ , или влагонасыщенная пористость  $K_p$  (главная); изменения диаметра скважины  $D_s$ ; вариации глинистости  $K_{gl}$  и концентраций АНПЭ (особенно,  $B$  и  $Gd$ ) в глинах (плазменно-масс-спектрометрический анализ образцов керны по водородному месторождению Мынкудук (Казахстан) показал, что этот фактор приводит к значительным вариациям  $S_{a,gl}$  в диапазоне 2.5-15  $mc^{-1}$ ).

- Важной геолого-физической помехой при КНД-М является слоистая, неоднородная по урану (и, возможно, по W) структура разрезов гидрогенных месторождений. Так, в Казахстане продуктивные интервалы имеют мощности от малых ~0.3-0.8 м (значительная доля) до очень больших ~10-12 м (тоже большая доля), но последние характеризуются низкими  $C_u$ , иногда распадаются на мало- и среднемощные пропластки и плохо выраженную затянутую переходную границу с фоновыми интервалами.

- Основные измерительные помехи при КНД-М:

а) низкая статистика счета основного «зонда МНД на уран» в бедных рудах, особенно в дальнем окне  $t > 352$  мкс (и тем более на дальнем зонде МНД в двухзондовых СП), что вынуждает проводить каротаж на низкой скорости 30-40 м/ч;

б) это все равно часто не обеспечивает нужную погрешность измерения  $TAU_{МНД}$ , особенно в бедных рудах, где она соизмерима с погрешностью, обусловленной изменением влажности;

в) для СП с зондом ИННК его просчеты искажают показания на временах задержки  $t < 300-500$  мкс, затрудняя оценку W;

г) в СП малого диаметра  $D_c < 50$  мм заметный вклад в погрешность определения  $C_u$  может давать монитор выхода быстрых нейтронов.

### **3.4.1 Теоретико-вычислительное обеспечение КНД-М: проблемы и пути решения**

1 Роль теории, а точнее, ее вычислительного аппарата в современной ядерной геофизике выросла чрезвычайно: в основном с его помощью создаются физические основы новых методов и модификаций, они почти полностью обеспечивают объем и качество обработки и интерпретации данных каротажа, они активно используются для оптимизации зондовых установок скважинных приборов и методик измерения, а также для исследования их метрологических характеристик. Таким образом, теоретико-вычислительный аппарат участвует или должен участвовать в разработке всех видов обеспечения любого метода ядерного каротажа. Однако этот подход пока слабо коснулся отечественной урановой ядерной геофизики и только начал проникать в нее. Поэтому для перевода КНД-М на современный уровень необходимо прежде всего заменить устаревшее теоретико-вычислительное обеспечение КНД-М на современные численные методы.

2 Интерпретационные зависимости, алгоритмы, формулы, таблицы и методика интерпретации, применяемые в ныне действующих комплексах КНД-М, приведены в инструкциях ВИРГ/Рудгеофизики 1980, 1983, 1986 гг. [1,8,9]. Они были получены в основном теоретически, на основе простейших математических моделей метода типа [7], получивших дальнейшее развитие в недавней работе И.М. Хайковича и др. [10].

Эти модели включали:

- уравнения замедления и переноса нейтронов на основе грубых приближений (1,2,3-групповые диффузионные приближения, теория возраста и т.п.), имеющих плохую точность, ограниченную область применимости, требующих подгонки нейтронных констант и нередко неприменимых для неоднородных систем;

- решение их традиционными аналитическими методами математической физики, накладывающими серьезные ограничения на класс решаемых задач по сложности геометрии и по числу и сложности используемых уравнений переноса;

- модели геометрии формулируют задачи в виде простейших начальных идеализаций реальной геометрически-сложной системы «неоднородный разрез–скважина–прибор»: а) однородная среда; б) однородная среда с рудным пластом без скважины и прибора; в) двухслойная цилиндрическая среда, где внутренний цилиндр имитирует некую гомогенизированную смесь элементов конструкции прибора и скважины (с неизвестным законом осреднения);

- условие азимутальной симметрии, т.е. 2D-геометрии задач, ограничивающее положение прибора местом только на оси скважины, а также исключающее из рассмотрения наклонные скважины и пласты;

- условие однородности пласта по свойствам пород: литологии, влажности и др., из-за чего разрезы с границами или конечной мощностью пластов по ним не могут исследоваться.

Эти простые аналитические теории КНД-М, распространенные около полувека назад, в эпоху до персональных компьютеров и численных методов теории переноса, не могли адекватно отразить сложную физику и геометрию важных условий измерения:

- конструкцию и диаметр СП,

- тип скважины (обсаженная/необсаженная), ее конструкцию (материал и толщину обсадных труб), ее заполнение (буровой раствор, его плотность, сухие скважины СО);

- положение прибора при каротаже на стенке скважины,

- неоднородность исследуемых разрезов по любым свойствам пород,

- сложный характер энергетической зависимости сечений взаимодействия нейтронов с ядрами на огромном диапазоне энергий от 14МэВ до 0.1эВ.

На базе таких грубых и ограниченных математических моделей КНД-М нельзя было создать количественные интерпретационные зависимости, учесть влияние влажности и других геолого-технических условий (ГТУ), тем более на количественном уровне. А целый ряд важных практических задач не мог быть решен в принципе, например, влияние типа, обсадки и заполнения скважин, расчет СО, неоднородные разрезы, эксцентричное положение СП и др. Таким образом, давно стало ясным, что использованные в [7–10]

теоретические модели КНД-М оказались неадекватными решаемым задачам, т.е. непригодными для практики.

3. Описанная выше ситуация потребовала прежде всего привлечения для КНД-М современного теоретико-вычислительного аппарата, позволяющего реализовать адекватные физико-геометрические модели КНД-М и использовать точные численные методы решения возникающих прямых задач. В качестве такого аппарата были разработаны и адаптированы вычислительные алгоритмы – пакет программ POLE и Универсальная Лос-Аламосская программа MCNP5.

- Многогрупповой конечно-разностный пакет программ POLE решает прямую задачу КНД-М в 3D-геометрии с учетом всех элементов конструкции прибора и скважины, в т.ч. эксцентричного положения СП в скважине, с учетом слоисто-неоднородной структуры пластов.

- Ядерно-петрофизический модуль пакета ПОЛЕ позволяет исследовать любые литологии и вещественные составы пород и руд. для моделирования переноса нейтронов, фотонов и электронов методом Монте-Карло в системах с любой сложностью геометрии и вещества, адаптированная и настроенная для расчета прямых задач ядерной геофизики. Супермощный алгоритм MCNP5 позволяет реализовать высокоточные физико-математические модели геометрии, переноса, взаимодействия и регистрации частиц при решении прямых задач КНД-М. Программы ряда MCNP используются всеми ведущими геофизическими фирмами мира и России для точного расчета показаний, интерпретационных зависимостей и оптимизации аппаратуры любых методов ядерной геофизики, успешно заменяя при этом физический эксперимент на натуральных моделях пластов.

4. Аналогичную эволюцию претерпела теория КНД-М и в США – от грубых, идеализированных моделей на основе аналитических методов до численных методов конечных элементов, конечных разностей и Монте-Карло.

### **3.4.2 Аппаратурно-методическое обеспечение КНД-М: проблемы и пути решения**

1 С целью решения задачи оптимизации зондовой установки и временных режимов измерений, а также выбора наилучших измеряемых параметров были математически смоделированы и исследованы различные возможные составы нейтроно-детектирующих систем аппаратуры КНД-М. Испытывались различные комбинации из зондов мгновенных нейтронов деления (МНД), первичных тепловых нейтронов (ИННК, или ТН) и монитора (МОН). Критерием, или целевой функцией оптимизации этих систем служила минимизация влияния основной помехи метода – неконтролируемых вариаций влажности  $W$  пород в диапазоне  $W=10-25\%$ , характерном для гидrogenных месторождений.

Предложено 2 критерия или способа минимизации влияния влажности  $W$ :

1) « $W_{min}$ »: минимизация или наибольшее подавление влияния  $W$  на интерпретационный параметр, измеряемый для определения урана, с помощью конструктивно-аппаратурных и методических средств, т.е. достижение максимальной или абсолютной помехоустойчивости;

2) « $W_{reg}$ »: регистрация и учет  $W$  путем, наоборот, максимального увеличения чувствительности к  $W$  одного из элементов измерительной системы с целью более точного измерения  $W$  и ее учета при оценке урана  $Cu$  с помощью палеточных зависимостей от  $W$ .

Заметим, что в рамках введенной классификации способов учета  $W$  большинство существующей отечественной аппаратуры КНД-М, включая серийную АИНК-60 и ее прообразы, следует отнести к способу « $W_{max}$ » - максимального и неучитываемого влияния  $W$ .

2 Рассмотрим основные возможные типы систем нейтрон-детектирующих систем КНД-М с различными комбинациями зондов МНД и ТН, а также с использованием блока мониторов МОН или без него, ориентированных на способы учета  $W$  по критериям « $W_{min}$ », « $W_{max}$ » или « $W_{reg}$ »:

I Однозондовые «МНД+МОН+ $W_{max}$ » (в т.ч. АИНК-60) и «МНД1+МНД2+МОН+ $W_{reg}$ » с двумя зондами. Системы предложены, теоретически и экспериментально обоснованы в 1970-е годы ВИРГом, реализованы в «железе» в 1970-1980-е годы ВНИИА, Рудгеофизикой и др. Содержание урана  $Cu$  определяется по традиционному параметру  $M=МНД1/МОН$ , а влажность  $W$  по отношению  $МНД1/МНД2$ , а в однозондовых СП  $W$  не измеряется.

II «МНД+ИННК+МОН+ $W_{reg}$ ». Система реализована в приборах ЦСП КНД-60 (ВНИИГИС, 2003г.) и АИНК-48 (ВНИИА, 2013). Уран  $Cu$  определяется по параметру  $M=МНД/МОН$ , а  $W$  - по декременту ИННК (как в ЦСП КНД-60) или по скорости счета ИННК/МОН и декременту ИННК (как в АИНК-48) для ее учета при оценке урана.

III «МНД+ИННК+МОН+ $W_{min}$ ». Теоретическая система, предложенная, оптимизированная и исследованная А.Л. Поляченко, еще не реализована. Патент на помехозащищенную методику принадлежит АО «Волковгеология» (Республика Казахстан). Уран  $Cu$  определяется по новому параметру  $MT=МНД/ИННК$  и не требует учета  $W$ . Для определения  $W$  используются декремент ИННК и скорость счета ИННК/МОН.

IV «Совмещенные МНД с ИННК +  $W_{min}$ ». Однозондовая система с двумя совмещенными детекторами МНД и ИННК, без монитора. Реализована в американской аппаратуре PFN (Sandia Nat. Lab.& Mobil, 1982-87). Оценка  $Cu$  производится по параметру  $MT=МНД/ИННК$ , учет  $W$  не предусмотрен.

Рассмотрим достоинства и недостатки существующих приборов КНД-М, реализующих предложенные типы компоновки нейтрон-детектирующих систем:

### ***АМК АИНК-60***

### **Конструкционная схема «МНД+МОН+ $W_{max}$ ».**

Этот однозондовый прибор в идейном и методическом планах является завершением линии аппаратуры ряда ТСКУ, созданной в ВИРГ/Рудгеофизике под руководством Б.М. Колесова в 1970-1980-х гг. и продолженной совместно с ВНИИА. Весь АМК был проработан очень добротнo, что обеспечило его столь длительный 30-летний жизненный цикл. Приборы этой линии широко применялись при разведке и ПВ-разработке гидрогенных месторождений урана на всех промышленных комбинатах бывшего СССР.

Большой опыт эксплуатации АИНК-60 и подобных однозондовых приборов выявил также целый ряд их недостатков как технического, так и методического характера.

К их основным техническим недостаткам следует отнести:

1т) Недостаточный выход использовавшихся нейтронных трубок (НТ), который далеко не всегда позволяет получать статистически достоверные результаты в бедных рудах с содержанием урана до 0.1% и заставляет снижать скорость каротажа до 30-40 м/ч;

2т) Очень маленький ресурс наработки нейтронных трубок, в среднем не выше 30-40 часов; это обстоятельство вместе с плохой ремонтоспособностью СП резко удорожает стоимость каротажа и снижает его технологичность;

3т) Слишком большой диаметр приборов (60 мм и более), который не позволяет каротировать скважины с фильтрами и обсадными колоннами малых диаметров.

К основным методическим недостаткам АМК АИНК-60 следует отнести:

1м) Низкую помехоустойчивость интерпретационных функционалов к главной помехе – неконтролируемым вариациям влажности  $W$  (суммарного водородосодержания) и отсутствию технологичных способов ее учета;

2м) Низкую помехоустойчивость метода и к остальным значимым при КНД-М помехам: колебаниям диаметра скважины за счет каверн в рыхлых инфильтрационных породах, вариациям глинистости, вариациям концентраций элементов с аномальными нейтронопоглощающими свойствами (бор, гадолиний, самарий и др.);

3м) Отсутствие до последнего времени надежных баз данных и интерпретационных палеточных зависимостей КНД-М, которые бы опирались на точную теорию метода и давали палетки, позволяющие учитывать все существенные геолого-технические условия (ГТУ) на количественном уровне;

4м) Наличие в методике измерений и интерпретации данных АИНК-60 очень слабого звена – измерения кажущегося времени жизни надтепловых нейтронов на зонде МНД, ТАУмнд. Во-первых, этот параметр плохо обеспечен статистически, с уменьшением содержания урана  $Cu$  его статпогрешность резко возрастает, и в наиболее бедных рудах с  $Cu < 0.03-0.04\%$  определение урана из-за него практически становится невозможным. Во-вторых, по своему физическому смыслу ТАУмнд должен отражать нейтронопоглощающие свойства разреза и его влажность, не завися от распределения урана  $Cu$  по разрезу; однако ТАУмнд, вопреки этому, прежде

всего зависит от распределения урана по разрезу, причем, как показывают расчеты, очень сложным и причудливым образом.

5м) К важным недостаткам АИНК-60 следует отнести его недостаточную геологическую информативность: нейтронная часть прибора не является комплексной, может определять только содержание урана  $Cu$  и в принципе не может определять влажность и глинистость. Последние важны для постороения фильтрационной модели при ПВ и выделения технологически забалансовых руд.

Причины помех (1м - 4м), как показывает их сравнительный точностной анализ, можно ранжировать по величине их вклада в суммарную погрешность определения содержания урана  $Cu$  в среднем следующим образом (в порядке снижения вклада):

$$(1м) \rightarrow (4м) \rightarrow (3м) \rightarrow (2м).$$

Помехи (1м - 4м), и в первую очередь главная из них (1м), не позволяют проводить определение урана на количественном уровне и не позволяют контролировать погрешность определения содержания урана  $Cu$ . Это делает крайне сложной и вряд ли возможной аттестацию АМК АИНК-60 на количественном уровне. С другой стороны, эти же причины зачастую фактически низводят метод до уровня индикаторного, особенно в бедных рудах.

Поскольку бедные руды с  $Cu < 0.1\%$  составляют значительную, а может и основную часть запасов гидрогенных месторождений Казахстана и России, то отсюда вытекает необходимость замены устаревшей линии АМК КНД-М с однозондовыми приборами типа АИНК-60 на современные аппаратурно-методические комплексы АМК, в которых устранены указанные выше 3 технических и 4 методических недостатка.

Первыми попытками в этом направлении и явились АМК на основе двухзондовых приборов КНД-М: сначала в 2005г «ЦСП КНД-60» (ВНИИГИС, ВНИИГеосистем, Казатомпром), а затем, с завершением в 2013-2014 гг., «АИНК-48» (ВНИИА, ВНИИГеосистем, Геологоразведка).

#### ***АМК ТСКУ-111 (двухзондовый вариант ТСП-111)***

#### **Конструкционная схема «МНД1+МНД2+МОН+Wreg».**

Этот прибор был первой двухзондовой российской аппаратурой КНД-М, разработанной по идеям ВИРГа и реализованной в железе во ВНИИА. Он появился примерно одновременно с первой американской двухзондовой аппаратурой КНД-М с именем PFN (USA, Sandia&Mobil). Однако, в отличие от американской аппаратуры, в которой в качестве второго зонда был введен зонд регистрации первичных тепловых нейтронов (ТН) генератора для измерения ИННКт, в аппаратуре ТСКУ-111/ТСП-111 в качестве второго зонда был введен зонд регистрации вторичных надтепловых нейтронов МНД (разнос между зондами составлял около 20 см). Данное обстоятельство явилось принципиальным физическим пороком данной измерительной

установки. Авторы (ВИРГ) действовали по аналогии с двухзондовыми приборами стационарного нейтронного каротажа по надтепловым нейтронам 2ННКнт, которые были разработаны Ю.А. Гулиным и хорошо зарекомендовали себя в нефтегазовой геофизике. Но в аппаратуре 2ННКнт регистрировалось пространственное затухание поля первичных надтепловых нейтронов от радионуклидных источников типа Po-Be, Pu-Be и Cf-252, которое было чувствительным к водородосодержанию пород  $W$  и использовалось для определения  $W$ . А в приборе ТСКУ-111/ТСП-111 эта же идея определения  $W$  может быть реализована только в случае строго постоянного распределения урана  $Cu$  в исследуемом рудном интервале, поскольку неравномерное распределение  $Cu$  может искажать показания на обоих зондах МНД сильнее, чем влажность  $W$ .

И второй, не менее серьезный недостаток этого прибора в том, что невозможно обеспечить приемлемую статистику счета на дальнем зонде МНД даже при самых низких скоростях каротажа, в особенности в бедных рудах, характерных для гидрогенных месторождений Казахстана и России.

Причина кроется в неудачности самой физической идеи ВИРГа использования двух зондов МНД для определения  $W$ . Поток нейтронов, предназначенный для оценки одного элемента – водорода, порождается другим элементом – ураном, и зависит от содержания урана, как слабого источника нейтронов с выходом, зависящим от глубины (!). Это порождает 2 неустранимых порока системы I на уровне физических основ метода. Во-первых, отношение показаний на двух зондах МНД будет характеризовать не только и не столько величину  $W$ , сколько распределение урана напротив обоих зондов. Во-вторых, выходит, можно или нельзя определять водород в пласте, целиком зависит от того, сколько там урана – если мало, то нельзя из-за низкого счета МНД на дальнем зонде (даже на минимальной скорости каротажа 30м/ч). Это абсурдные свойства для геофизического метода. И они не могут быть оправданы технической необходимостью, поскольку в системе I имеется мощный источник, а специально для определения водорода  $W$  добавлен отдельный детектор.

### ***АМК ЦСП КНД-53***

#### **Конструкционная схема «МНД+ИННК+МОН+Wreg».**

Этот двухзондовый прибор в идейном и методическом планах является основным в аппаратурном ряде ЦСП КНД-48, КНД-53, КНД-60, разработанном во ВНИИГИС под руководством Е.С. Кучурина в 2001-2005 гг. Несомненным достоинством этого прибора является то, что в нем впервые реализован правильный (оптимальный) состав нейтроно-детектирующих компонентов: зонд МНД + зонд ТН (ИННК) + монитор. В этом смысле он является точным прообразом разработанного во ВНИИА двухзондового прибора АИНК-48, причем в обоих СП близко совпадают даже длины зондов.

Основные недостатки этой аппаратуры связаны с проблемами аппаратурно-методического обеспечения. Во-первых, при разработке ЦСП КНД-60 не существовало даже идеи подавления помех от вариаций  $W$  с

помощью оптимизации зондовой установки и МИ. Во-вторых, прибору явно не хватило информативности, т.е. число неизвестных параметров и помех для показаний ИННК превышало число уравнений (независимых измерений) для их определения или учета. В-третьих, что усугубило недостаток 2, сильное влияние просчетов до значительных времен задержки привело к тому, что оба интерпретационных параметра ИННК – декремент затухания  $G$  и нормированная скорость счета ИННК в широком окне оказались сильно коррелированными. И в-четвертых, Заказчиком была навязана слишком сложная петрофизическая интерпретационная модель пород, включающая произвольное сочетание влажности, глинистости, содержания аномально нейтронопоглощающих элементов (АНПЭ), и слоистой неоднородности пластов. Последнее, в частности, обусловило появление на каротажных диаграммах зонда ИННК прибора ЦСП КНД-60 нового типа «ложных» аномалий, которые не встречались в нефтегазовой геофизике. Последние потребовали разработки слишком сложного алгоритма интерпретации, который было трудно реализовать при практической обработке и реально невысоком качестве каротажных данных.

#### **АМК АИНК-48**

##### **Конструкционная схема «МНД+ИННК+МОН+Wreg».**

Для этого АМК показано, по крайней мере, на уровне численного моделирования, что  $W$  и  $Su$  здесь могут быть, хотя и с большим трудом, одновременно определены с нормативными погрешностями, если методика измерений АИНК-48 будет учитывать все полученные научные и расчетные рекомендации, в т.ч. методически новые.

Исходная МВИ для него (отв. разработчик «Геологоразведка») полностью повторяла устаревшие МВИ для зондов МНД прибора АИНК-60 и старых приборов ВИРГ/Рудгеофизики. Эта МВИ включала:

1) Отказ от измерения дифференциального временного спектра ИННК и замеры лишь двух интегральных показаний ИННК (типа  $N1$  и  $N2$  для МНД);

2) Выбор для этих двух интегральных показаний ИННК отсечек по времени задержки 192 мкс и 384 мкс, которые не годятся в общем случае сразу по двум причинам: а) для средних и больших диаметров скважин они лежат на «скважинной» ветви сигнала ИННК  $J(t_i)$  и отражают параметры скважины, а не пласта; б) отсечка 192 мкс лежит в области больших просчетов, которые не всегда можно будет восстановить из-за недопустимо больших перегрузок при таких временах задержки ( $>3-4$ );

3) Игнорирование проблемы АНПЭ и неучет реальных содержаний АНПЭ в руде в пересчете на бор  $S_{bor}$ , предполагающий использование при интерпретации минимального значения  $S_{bor} = S_{bor.min} \approx 0$  (несмотря на прямые измерения АНПЭ по анализам керна на месторождении Мынкудук, показавшие содержание бора порядка 100-150 г/т, гадолиния порядка 5 г/т и др. АНПЭ);

4) Попытка определения влажности  $W$  только по одному декременту ИННК  $G$ , который помимо  $W$  не менее сильно зависит от  $C_{\text{вог}}$ , что часто это делает определение  $W$  по декременту  $G$  просто невозможным;

5) Использование вместо точного распределения влажности  $W$  по разрезу, среднего значения  $W$  в пределах рудного по урану интервала (иногда протяженностью порядка 10 м), что резко снижает эффект от введения второго зонда ТН для определения влажности;

6) Использование для вычисления пересчетного коэффициента  $K_{\text{тау}}$ , прямо входящего в формулу для определения урана  $C_u$ , значения  $TAU_{\text{мнд}}$ , измеренного на зонде МНД, - как было показано выше, это неизбежно приводит к недопустимо большим погрешностям определения  $C_u$ , особенно в бедных рудах.

Принятая старая методика МВИ и соответствующее ей штатное ПО регистрации данных измерений не позволяют устранить указанные недостатки.

Для обеспечения возможности использования данного типа измерительной системы для количественного определения содержания урана с нормативной точностью предлагаются следующие новые аппаратурно-методические элементы:

- на зонде ИННК необходимо поквантово измерять полный дифференциальный временной спектр тепловых нейтронов  $J(t_i)$  в каналах шириной 16-32 мкс до задержки  $t \sim 2000$  мкс. Отмечается, что спектр  $J(t_i)$  содержит максимальную информацию, которую может дать зонд ИННК. Все остальные интерпретационные функционалы ИННК, в т.ч. основной из них – пластовый декремент затухания  $G$ , могут быть из него получены (если нужно, и интегральные показания  $J(t > t_i)$ , но не наоборот).

Напомним, что в нефтегазовой геофизике каротажные диаграммы  $TAU$ , или декремента  $G=1/TAU$  представляют основную промышленную информацию, получаемую от ИНК при любых видах исследований скважин. И в урановой геофизике этот опыт нельзя не учитывать.

- на зонде МНД поквантово измеряются не две ( $N_1$  и  $N_2$ ) интегральные скорости счета нейтронов деления, а лишь одна  $N_1$ . Счет  $N_2$  во 2-м канале  $t > 352$  мкс не измеряется и время жизни нейтронов на зонде МНД,  $TAU_{\text{МНД}}$ , по нему не определяется, а пересчитывается из более точных данных измерений декремента  $G$  на зонде ИННК.

- интегральная скорость счета МНД  $N_1$  измеряется с переменной отсечкой  $t > T_{\text{мнд}}$ , которая должна быть больше времени термализации нейтронов  $T_{\text{терм}}(W) = 15-50$  мкс в породах с влажностью  $W = 10-25\%$ . Счет  $N_1(t > T_{\text{мнд}})$  может превышать обычно измеряемый  $N_1(t > 160$  мкс) в 1.5-2 раза, что немного ослабляет проблему низкой статистики зонда МНД.

- рассматривается возможность поквантового измерения на зонде МНД дифференциального временного спектра первичных надтепловых нейтронов источника  $J_{\text{нт}}(t_i)$  в каналах шириной  $\sim 4-10$  мкс в интервале времен от заднего фронта вспышки до  $t = T_{\text{мнд}}$ , который может быть использован для

независимой оценки влажности  $W$  (дифференциация  $\sim 2$  по  $W$ ). Кроме того, верхняя временная граница спектра  $J_{nt}(t_i)$  позволит более обоснованно выбрать нижнюю границу отсечки  $T_{мнд}$  основного уранового сигнала  $N1(t > T_{мнд})$ .

- поскольку любые измеряемые для определения влажности  $W$  характеристики на зонде ИННК зависят также и от неизвестного содержания нейтронопоглощающих элементов, равного  $C_{бор}$  в пересчете на бор, то необходимо измерять 2 параметра, зависящих оба от  $W$  и  $C_{бор}$ , но по-разному. Они дадут 2 отличающихся уравнения, нужные для однозначного и устойчивого определения  $W$  и  $C_{бор}$ . Единственными имеющимися и подходящими такими 2-мя параметрами являются нормированная скорость счета зонда ИННК  $J(T, DT)$  на не слишком большой задержке  $T \leq 500-600$  мкс в широком временном окне  $DT \sim 300$  мкс и  $L$  - пластовый, или асимптотический декремент затухания ИННК.

- Также для снижения погрешности определения влажности  $W$ , керн исследуемого объекта предварительно необходимо анализировать на содержание аномально нейтронопоглощающих элементов ( $B, Ld, Sm$ ) и на глинистость  $K_{гл}$  с целью установления корреляционной связи  $K_{гл}(C_{бор})$ , где  $C_{бор}$  – суммарное содержание нейтронных поглотителей в пересчете на бор.

Таким образом, внедрение данного типа аппаратуры для практического использования с целью количественного определения содержания урана с нормированной точностью, требует большой математической и методической подготовки. В 2020 году была закончена работа по созданию и регистрации методики выполнения измерений МВИ, учитывающей практически все указанные требования. В настоящее время ведется работа по внедрению МВИ в производство на уранодобывающих предприятиях НАК «Казатомпром»

#### ***АМК PFN (США, Sandia & Mobil, 1989)***

#### **Конструкционная схема «Совмещенные МНД с ИННК + $W_{min}$ ».**

Прибор PFN (США) системы V, успешно применяемый в Австралии, Канаде, США и др. странах, из всех реализованных «в железе», является наиболее близким АМК к оптимальной системе III.

Его достоинства:

- введен второй зонд ТН(ИННК),  
- для определения  $C_u$  использован более помехоустойчивый параметр  $MT = MND/ИННК$ ,

- отсутствует монитор, который самими разработчиками называется «головной болью» отечественной аппаратуры КНД-М.

Ко времени разработки старших моделей аппаратуры КНД-М ряда ТСКУ прибор PFN уже был известен, опробован и эксплуатировался.

Прибор PFN имеет 70 мм в диаметре, 3 метра в длину, весит 25 кг.

Импульсный нейтронный источник имеет выход  $10^8$  н/с. Тепловые и надтепловые нейтроны регистрируются различными детекторными каналами, чтобы по их отношению измерять содержание  $U$ , свободное от влияния выхода нейтронов, а также с более слабым влиянием мешающих скважинных

факторов, которые приближенно одинаковы для обоих каналов. Прибор также содержит стандартный интегральный счетчик гамма-квантов.

Порог определения содержания урана прибором PFN составляет примерно 0.02-0.025%.

Калибровку аппаратуры PFN выполняют, проводя измерения в моделях с известным содержанием урановой руды  $Cu$  и значениями пористости. Для метрологического обеспечения PFN используются модели на основе равновесного урана. Комплект моделей включает 4 точки по  $Cu$ , включая чистую модель без урана  $Cu=0$ .

Поправки за влажность  $W$  (экспериментальные или расчетные) в публикациях по PFN не упоминаются, но подчеркивается, что  $W$  влияет достаточно сильно и ее необходимо учитывать на основе модельных измерений. Зависимость поправки за диаметр скважины  $D_c$  для сухой скважины и заполнения ствола скважины пластовым флюидом нелинейна (см. рисунок 17 ниже). Основной диаметр скважин в моделях  $D_c=120$  мм, только одна модель (0.17%  $U_3O_8$ ) включает три диаметра  $D_c = 95, 120, 145$  мм. Размеры моделей одинаковы: высота 1.5м, диаметр – 1 м. Зависимости поправок за  $D_c$  проэкстраполированы (довольно произвольно) до значения  $D_c=200$  мм. Заполнения скважины: сухая, пресная вода, буровой раствор, пластовая вода. Материал моделей включает песок с водой, желтую глину -кек (yellow cake), и урановую руду.

Исследования по оценке точности определения урана прибором PFN, показывают следующее:

- предел обнаружения урана методом PFN составляет 0.025%  $U_3O_8$ ;
- ошибка (СКО) опробования методом PFN КНД-М составляет примерно ~20% относительных, в то время как ошибка (СКО) опробования по керну (при использовании квартования образца) составляет примерно ~36% отн.;
- точность измерений аппаратурой PFN обеспечивается регулярными калибровочными измерениями в моделях;
- постоянно проверяется соответствие значений содержания урана по данным метода PFN и данным опробования керна;
- выполняются повторные замеры методом PFN в скважинах.

1.5.9 Наиболее перспективной в плане минимизации погрешности определения содержания урана измерительной системой представляется система III «МНД+ИННК+МОН+Wmin», в которой выполнены 2 аппаратурно-методических условия:

1) для определения  $Cu$  используется отношение скоростей счета зондов МНД и ИННК, т.е.  $MT=МНД/ИННК$  (разумеется, взятое в одной физической точке, т.е. при совмещении обоих детекторов);

2) конструкции зондов МНД и ИННК и времена задержки для них оптимизированы по критерию максимального подавления помех от влажности «Wmin».

Доказано для широкого диапазона ГТУ, что вместе эти условия обеспечивают практически абсолютную помехоустойчивость КНД-М к

влажности  $W$  и к остальным помехам ( $D_c$ ,  $S_a$ ,  $K_{гл}$ ). Так, дифференциация  $MT$  по  $W$  на интервале  $W=10-25\%$  снижается до 5-7%отн вместо 200-230% отн для традиционного параметра  $M=MНД/МОН$ .

Из реализованного «в железе» наиболее близкой к системе III можно считать АМК системы V – это прибор PFN (США) [16], успешно применяемый в Австралии, Канаде, США и др. странах.

Физическое объяснение очень высокой помехоустойчивости системы III дает Рисунок 3.4: благодаря близости зависимостей показаний зондов  $MНД(W)$  и  $ИННК(W)$  от водородосодержания при оптимизированной конструкции зондов и временных режимов измерений возникает эффект сильного подавления влияния  $W$  на отношение  $MT=MНД/ИННК$ , где эти зависимости в числителе и знаменателе почти полностью взаимно компенсируются. Этим же объясняется и помехоустойчивость отношения  $MT$  к вариациям других параметров ГТУ:  $D_c$ ,  $S_a$  и  $K_{гл}$ .

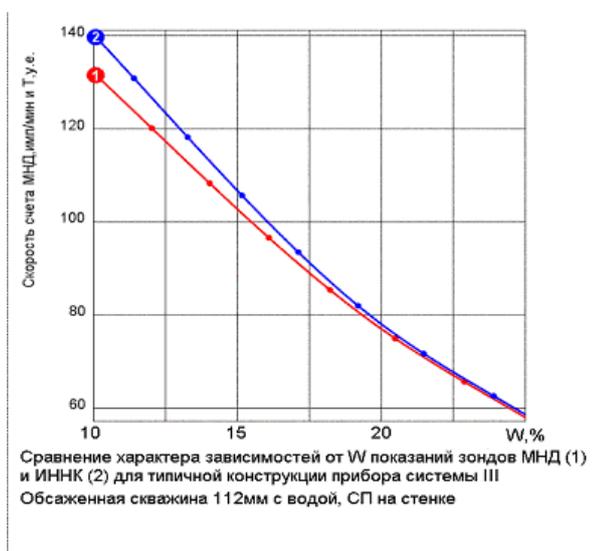


Рисунок 3.4 - Сравнение характера зависимостей от  $W$  показаний зондов МНД (1) и ИННК (2)

Еще одним достоинством параметра  $MT$  является то, что зонд ИННК приближенно выполняет роль монитора. При этом он выполняет ее лучше самого монитора, поскольку имеет существенно более высокую статистику счета и является более надежным элементом аппаратуры, чем монитор с 8-ю счетчиками бета- и гамма-излучений.

Монитор в системе III играет вспомогательную роль. Он нужен лишь для «совмещения» детекторов зондов МНД и ИННК в одну «физическую точку пласта» (что особенно важно в тонкослоистых разрезах), когда показания детектора ИННК на каротажной диаграмме берутся со сдвигом по глубине, равным разности длин зондов ИННК и МНД, что требует отслеживания нестабильности выхода на интервале перемещения СП примерно 30 см.

Нормированные на монитор показания зонда тепловых нейтронов,  $ИННК/МОН$ , могут быть также использованы для оценки влажности  $W$ , если

она представляет интерес сама по себе (т.к. для определения урана она в системе III не нужна).

### **3.4.3 Программно-интерпретационное обеспечение КНД-М: проблемы и пути решения**

За последние 10 лет коллективом филиала АО «Волковгеология»-«Геотехноцентр» и группой проф. Поляченко (г. Москва) проведена большая работа по доработке ПИО КНД-м для приборов с конструкционной схемой «МНД+ИННК+МОН+Wreg» - АИНК-48 и ЦСП КНД-60. Также проводились расчеты для АИНК-60 со схемой «МНД+МОН+Wmax», так как именно данный тип аппаратуры широко использовался на рудниках НАК «Казатомпром». Данная аппаратура до сих пор применяется, однако, проблема неучитываемых колебаний влажности не позволяет принимать результаты измерений как количественные. При этом, проводимые сравнения значений содержания урана, определенных по результатам КНД-м и по анализу ядерного материала, показали хорошую сходимость результатов (расхождение около 25% на содержаниях  $<0.03\%$  и до 10% на высоких содержаниях), в том числе и на Буденновском месторождении.

1. Опыт современной ядерной геофизики, особенно в США и в России, показывает, что теоретико-вычислительный аппарат является определяющим фактором создания качественного интерпретационного обеспечения любых приборов ядерного каротажа. А для КНД-М это верно вдвойне, т.к. здесь очень беден парк метрологических моделей пластов и у нас, и за рубежом. Так, он даже не позволяет получить экспериментальную зависимость показаний ни по 3-м, ни даже по 2-м точкам ни от одного параметра ГТУ. Это свидетельствует о крайне неудовлетворительном состоянии метрологического обеспечения метода КНД-М, да и всей урановой ядерной геофизики. Поэтому роль модельных экспериментов выполняют времяемкие, но высокоточные расчеты программой MCNP5 с применением максимально детальных математических моделей приборов КНД-М.

2. Выше говорилось о применении по отдельности пакетов ПОЛЕ и MCNP5 для получения нужных систем геофизических зависимостей КНД-М различного объёма, точности и практического назначения. Но разработка многомерных баз данных интерпретационных зависимостей (палеток) большого объёма требует от алгоритмов матмоделирования одновременно и высокой точности, и быстродействия для расчета очень большого числа вариантов ГТУ (порядка  $10^4$ - $10^5$ ), что не может обеспечить ни один из алгоритмов в отдельности, т.к. эти две счетные характеристики взаимопротиворечивы.

Для решения этой проблемы был разработан «метод теоретико-экспериментальных палеток» - ТЭП. Он состоит в том, что сначала на нужной области ГТУ рассчитываются полный набор зависимостей показаний на густой сетке узлов быстрым пакетом ПОЛЕ («теоретический массив») и очень

ограниченный набор зависимостей показаний на редкой сетке узлов медленным пакетом MCNP5 (играет роль «экспериментального массива»), а затем специальной программой «ТЭП-3» производится математический синтез обоих массивов показаний. Результирующий массив теоретико-экспериментальных палеток ТЭП наследует только положительные свойства обоих исходных массивов – полноту «теории» и точность «эксперимента-MCNP5».

Правильность абсолютных скоростей счета обеспечивалась привязкой ТЭПов к экспериментальным показаниям, измеренным в хорошо известных ГТУ: стандартных образцах руд типа СОСВУРТ-1,2,3 и метрологических контрольно-поверочных скважинах (КПС).

3. Описанный метод разработки интерпретационного обеспечения аппаратуры КНД-М представляется единственно возможным, т.к. построить ряд урансодержащих моделей пластов с переменной влажностью  $W$  в широком диапазоне  $W$  и с идентичными остальными параметрами ГТУ практически нереально.

4. Методом теоретико-экспериментальных палеток (ТЭП) созданы многомерные палеточные базы данных («БД палеток») для приборов ЦСП КНД-60, АИНК-60 и проектируемого прибора АИНК-48.

5. Интерпретационные зависимости КНД-М, содержащиеся в описанных БД палеток, могут использоваться не только по своему основному назначению – для количественной интерпретации данных КНД-М программами обработки, но и для оценки влияния различных факторов ГТУ на показания КНД-М (оценки чувствительностей, или, как говорят метрологи, «функций влияния»).

6. Учет основной помехи КНД-М – неконтролируемых вариаций влажности  $W$ , в действующих инструкциях предлагается делать, приписывая единое значение  $W$  всему рудному интервалу независимо от его протяженности и геолого-литологической обстановки. Для однозондовой аппаратуры КНД-М это было оправдано, поскольку локальные измерения  $W$  отсутствовали и информация о  $W$  вводилась из априорных геолого-геофизических данных по месторождению, участку, горизонту, блоку и т.п.

Для новых двухзондовых приборов КНД-М, в которых дальний зонд ИИНК вводится как раз для детального измерения и учета  $W$ , подобный подход на основе «единого среднего  $W$  по интервалу» является ошибкой. Дело в том, что распределение урана  $U$  и распределение водорода  $W$  по разрезу геологически достаточно независимы, и потому внутри любого рудного интервала распределение влажности может оказаться любым, в т.ч. переменным. Чем протяженнее продуктивный интервал, тем выше вероятность больших вариаций  $W$  внутри него. Поэтому усреднение  $W$  по рудному интервалу означает ничем не оправданное искажение измеренного точного попластового распределения влажности  $W$  по разрезу, которое внесет погрешности в определение  $U$  и значительно обесценит эффект от введения второго зонда. Поэтому нужно сначала проводить разбиение диаграммы

ИННК на приближенно однородные каротажные пласты по  $W$ , оценивать средние попластовые значения  $W$  и затем переводить их в массив поквантовых значений  $W$  для использования при поквантовом определении содержаний урана  $Cu$ . Для этого следует применять методики нефтегазовой ядерной геофизики, где уже 60 лет успешно применяются однозондовые приборы нейтронного каротажа НКт, НКнт, НКГ с ампульными радионуклидными источниками для определения общего водородосодержания пород или водонасыщенной пористости  $K_p$ . Этот богатый опыт нужно использовать и в урановой геофизике.

7. Аналогичной и еще более сложной является и ситуация с учетом кажущегося (измеренного) времени жизни нейтронов деления  $TAU$  на зонде МНД,  $TAU\_МНД$ . Его распределение по разрезу регулируется сразу 3-мя неизвестными переменными геологическими параметрами - распределениями урана  $Cu$ , влажности  $W$  и поглощением нейтронов в глинах  $Sa_{гл}$ , поэтому оно в общем случае является сложным и переменным внутри рудных интервалов. Физически же  $TAU(МНД)$  должно быть не зависящим от распределения урана и определяться только распределением  $W$  и  $Sa_{гл}$ . Распределение  $TAU\_МНД$  внутри однородного продуктивного интервала ограниченной мощности (до ~80 см) и его ареала, даже при постоянном значении содержания урана  $Cu$  в нем, отнюдь не постоянное, а наоборот, имеет очень сложный характер. По указанным причинам вклад ошибки измерения  $TAU\_МНД$  в полную погрешность определения урана обычно значителен, соизмерим с влиянием  $W$  и нередко является основным и потому стоит, если это возможно, избавиться от измерения и использования этого во всех отношениях плохого параметра  $TAU\_МНД$ .

В двухзондовой аппаратуре КНД-М с зондом ИННК (приборы ЦСП КНД-60, АИНК-48) это можно сделать, если регистрировать на нем дифференциальный временной спектр первичных тепловых нейтронов. Он с помощью современных программ декомпозиции [16] поквантово восстанавливается за просчеты и раскладывается на сумму экспонент, давая асимптотический декремент  $G$  (или  $TAU\_ИННК=1/G$ ), который затем пересчитывается в  $TAU\_МНД$ . На зонде ИННК декремент  $G$  всегда измеряется надежно и с малой статпогрешностью, поэтому полученное пересчетом значение  $TAU\_МНД$  будет существенно точнее непосредственно измеренного на зонде МНД.

Если  $TAU$  в мкс, а декремент  $G$  в  $мс^{-1}$ , то  $G(мс^{-1})=1/TAU(мс)=1000/TAU(мкс)$ . Тогда найденная связь имеет вид следующего аппроксимирующего линейного соотношения между декрементами:

$$G\_МНД \approx G_i\_МНД = A * G\_ИННК + B \quad (G \text{ в } мс^{-1}), \quad (3.11)$$

где для коэффициентов  $A$  и  $B$  установлены следующие границы их значений:

$$A = 0.78 - 0.96, \quad B = 1.27 - 1.56, \text{ мс}^{-1}. \quad (3.12)$$

Эти границы могут быть сужены до точных значений А и В при помощи расчетов по MCNP5 в широком диапазоне ГТУ отдельно для каждого типа конструкции СП.

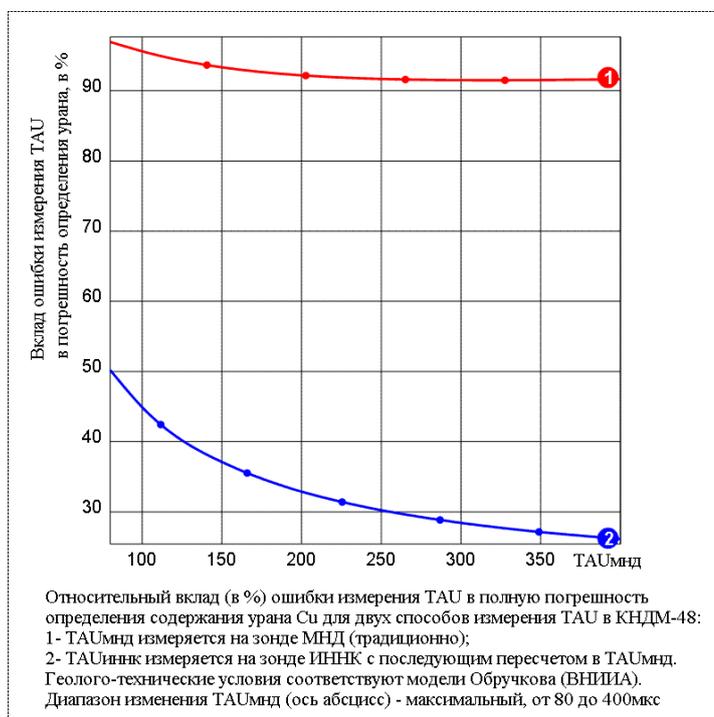


Рисунок 3.5 - Относительный вклад (в %) ошибки измерения ТАУ в полную погрешность определения содержания урана Су

На рисунке 3.5 показаны вклады в % в полную погрешность определения урана  $dC_{uотн}$  стат. ошибок нахождения  $TAU_{мнд}$  по данным зондов МНД (кривая 1) и ИННК (кривая 2).

Отметим, что поскольку замена  $TAU_{МНД}$  на  $TAU_{ИННК}$  позволяет исключить из методики измерений замер на зонде МНД скорости счета  $N_2(t > 352 \text{ мкс})$  с самой плохой статистикой, то можно увеличить скорость каротажа. Это бывает весьма желательным, например, для условий Казахстана или для экономии ресурса нейтронной трубки.

Первичная обработка дифференциального спектра  $J(t_i)$  должна включать следующие процедуры (общепринятые для ИНК в нефтегазовой геофизике):

- стандартные для ГИС операции редактирования, оценки качества, увязки, разбиения на каротажные пласты, фильтрации, усреднения;
- поквантовое восстановление временных сигналов  $J(t_i)$  за просчеты до заданного критического (максимального) уровня перегрузки  $R_{кр}$  с использованием классической формулы для мертвого времени непродлевающегося типа;
- попластовая декомпозиция восстановленных временных спектров на сумму экспонент. Определение первого интерпретационного параметра

ИННК – декремента  $L$  пластовой компоненты (или  $TAU=1/L$ ) как одного из коэффициентов декомпозиции;

- расчет второго интерпретационного параметра ИННК как дважды нормированной скорости счета  $S$  в широком окне:

$$S(W, C_{bor} | T, DT) = J(W, C_{bor} | T, DT) / J_{вод}(T, DT), \text{ на выход } 108 \text{ н/с,}$$

т.е. параметр  $S$  это скорость счета  $J(T, DT)$  в широком окне  $(T, DT)$ , нормированная на аналогичные показания в баке с водой и приведенная к выходу 108 н/с. Она формируется путем суммирования отсчетов в каналах дифференциального спектра  $J(t_i)$  в интервале от  $T$  до  $T+DT$ , и начало окна  $T$  должно лежать за областью просчетов:  $T > T_{кр}$ ,  $J(T, dt) < J_{кр}$ .

- расчет попластовой погрешности определения декремента  $L$ , который используется при оценке качества каротажной диаграммы зонда ИННК.

Все эти операции рекомендуется выполнять одной из известных высокоточных программ обработки данных ИННК и ИНГК, апробированных в нефтегазовой геофизике (например [16].)

- фильтрацию диаграмм лучше выполнять с помощью фильтра Калмана, который минимально искажает поведение КД в области границ пластов и позволяет выделять даже слабые аномалии. При применении же стандартных многоточечных фильтров следует включать в интервал фильтрации не более 3-5 квантов.

Методика интерпретации данных двухзондового КНД-М предполагает разработку и использование программно-интерпретационного обеспечения, включающего:

- набор многомерных баз данных интерпретационных палеточных зависимостей (БД палеток) для всех интерпретационных параметров зондов МНД и ИННК;

- БД каротажных диаграмм (БД КД) для зонда МНД от элементарного 10см-пропластка;

- набор программных интерпретационных модулей для определения  $W$ ,  $C_{bor}$ ,  $K_{гл}$ ,  $KL$ ,  $TAU\_МНД$ ,  $K_{тау}$ , умеющих работать с многомерными БД палеток;

- штатная программа регистрации, просмотра и первичной обработки данных КНД-М, управления работой этих модулей, формирования выдачи результатов и т.д.

Типовой состав баз данных (БД) интерпретационных зависимостей двухзондового КНД-М должен включать:

- БД палеток дважды нормированной скорости счета  $S$  от  $W$ ,  $C_{bor}$ ,  $TipSkv$ ,  $Dc$ ,  $R$  в заданной области геолого-технических условий (ГТУ), а также в виде БД палеток  $1/S$ ;

- БД палеток декремента ИННК  $G$  от  $W$ ,  $C_{bor}$ ,  $TipSkv$ ,  $Dc$ ,  $R$  для той же области ГТУ, а также в виде БД палеток  $TAU=1/G$ ;

- БД палеток пространственного пересчетного коэффициента  $KL$  от  $W$ ,  $C_{bor}$ ,  $TipSkv$ ,  $D_c$ ,  $R$  для той же области ГТУ, а также в виде БД палеток обратного коэффициента  $1/KL$ ;

- БД палеток кажущегося времени жизни на зонде МНД,  $TAU\_МНД$  от  $W$ ,  $C_{bor}$ ,  $T_C$ ,  $D_c$ ,  $R$  для той же области ГТУ, а также в виде БД палеток  $G_{мнд} = 1 / TAU\_МНД$ ;

- БД палеток дважды нормированной скорости счета первичных надтепловых нейтронов генератора  $J_{нт}/J_{нт.вод}$  от  $W$ ,  $TipSkv$ ,  $D_c$ ,  $R$  в заданной области ГТУ.

Методика выделения пластов по влажности  $W$  на диаграммах зонда ИННК должна использовать известные методики оценки водонасыщенной пористости  $K_p$  в нефтегазовой геофизике однозондовыми приборами стационарного нейтронного каротажа типа НКнт, НКт, НКк. При этом благодаря наличию монитора в аппаратуре метода КНД-М методика оказывается еще проще и точнее, т.к. отпадает необходимость использовать опорные пласты, поиск и оценка которых является непростой и не всегда решаемой задачей. Методика реализуется в интерактивном режиме путем визуализации кривых  $S(H)$  и  $G(H)$  в штатной программе просмотра и первичной обработки.

Влажность  $W$  определяется попластово из решения системы численных уравнений:

$$\begin{aligned} \langle S_{изм} \rangle &= S(W, C_{bor}) \\ \langle L_{изм} \rangle &= L(W, C_{bor}) \end{aligned} \quad (3.13)$$

по измеренным средним попластовым значениям интерпретационных параметров ИННК  $\langle S_{изм} \rangle$  и  $\langle L_{изм} \rangle$  и сеточным палеточным зависимостям  $S(W, C_{bor})$  и  $L(W, C_{bor})$  из БД.

Решение системы сеточных уравнений (3.13) выполняется в отдельном модуле программы интерпретации из ПО, умеющем работать с многомерной БД палеток.

Представление каротажной диаграммы влажности  $W(H)$  для передачи ее в модуль расчета пространственного пересчетного коэффициента  $KL$  должно быть поквантовым.

Из решения системы уравнений (3.13) находится также  $C_{bor}$ , которое само по себе, вероятно, не представляет интереса. Но оно служит единственным связующим звеном для выхода на глинистость по КНД-М, если керновые данные по данному объекту обнаруживают достаточно тесную корреляционную связь между  $K_{гл}$  и  $C_{bor}$ . Другого выхода на определение глинистости по данным КНД-М «не видно».

Т.о., для оценки коэффициента глинистости  $K_{гл}$  на исследуемом объекте необходимо проведение на нем анализа кернового материала с целью исследования тесноты корреляционной связи  $K_{гл}$  и  $C_{bor}$  - содержания нейтронопоглощающих элементов ( $B$ ,  $Ld$ ,  $Sm$ ) в пересчете на бор. Последние,

как правило, геологически ассоциированы с глинисто-алевролитовым цементом силикатных пород. При достаточно большом коэффициенте корреляции двухзондовый КНД-М даст возможность количественно оценивать глинистость  $K_{гл}$ , которая в свою очередь позволит решить проблему забалансовых руд и уточнить фильтрационную модель объекта для технологии подземного выщелачивания.

В программах и модулях интерпретации данных зонда ИННК удобнее использовать в качестве интерпретационного параметра для определения влажности  $W$  обратную величину параметра  $S$ , т.к.  $S-1(W)$  практически линейно и аддитивно зависит от литологического состава пород, в т.ч. от влажности  $W$ , а  $S(W)$  – нелинейно и неаддитивно.

Аналогично, там же следует использовать именно декремент  $L$ , а не  $TAU= 1/L$ , поскольку  $L$  линейно и аддитивно зависит от литологического и компонентного состава пород, в т.ч. от влажности и глинистости, а  $TAU_{иннк}$  – нелинейно и неаддитивно.

Учет диаметра скважины  $D_c$  производится с помощью БД палеток:

- а) для обсаженных скважин в качестве  $D_c$  принимается известный внешний диаметр обсадной колонны;
- б) для необсаженных скважин в качестве  $D_c$  принимаются данные кавернометрии, а в случае ее отсутствия – номинальные значения диаметров бурильных долот.

Для обоих типов скважин палеточные зависимости из БД интерполируются к указанным текущим  $D_c$ .

#### **3.4.4 Метрологическое обеспечение КНД-М: проблемы и пути решения**

Ядром метрологического обеспечения метода КНД-М служат 5 объектов, играющих роль натуральных метрологических моделей: три аттестованных государственных стандартных образца состава рудных тел СОСВУРТ-1,2,3 (или ГСО-1,2,3) и две контрольно-поверочных скважины КПС-1,2. В создании этих моделей, оценке их параметров и аттестации решающая роль принадлежит Рудгеофизике/Геологоразведке (И.М. Хайкович, Г.И. Ганичев и др.).

Система метрологического обеспечения (МО) КНД-М создана давно и с тех пор не развивалась с учетом современного развития и потребностей метода. Она, например, в десятки раз уступает системе МО в нефтегазовой ядерной геофизике и по числу моделей, и по их качеству и особенно, по темпам их роста.

Недостатки МО:

- 1) Оно недостаточно для поверки всех нужных градуировочных зависимостей современной двухзондовой аппаратуры КНД-М, например, от влажности  $W$  и диаметра скважин  $D_c$ :

- В ГСО-1  $W=1\%$  , и потому эта модель не нужна для применений КНД-М на гидрогенных месторождениях, где  $W>10\%$ ;

- в ГСО-2 и 3 обе влажности близки:  $W=18\%$  и  $15.6\%$  (или  $13\%$ ) и далеки от перекрытия нужного диапазона  $W=10-25\%$  , т.е. зависимость от  $W$  не получается;

- Во всех 5-ти моделях диаметр скважин  $D_c$  почти не меняется (от 104 до 130 мм), в то время как применяемые диаметры бурильных долот меняются от 70 до 250 мм, т.е. зависимость от  $D_c$  тоже не получается;

- Во всех трех ГСО-1,2,3 скважины сухие, а на месторождениях в них всегда вода или ПЖ;

2) Существует ряд несогласованностей даже внутри этой скромной системы МО:

а) КПС1 и КПС2 имеют весьма близкие характеристики скважины и пласта (кроме  $C_u$ ), но существенно различные времена жизни  $TAU(МНД) = 252.5$  мкс и  $182.4$  мкс, физические и геологические причины чего непонятны и до сих пор не выяснены.

б) по значению влажности в ГСО-3 имеются разногласия специалистов ( $W=13$  или  $15.6\%$ ).

в) плотность скелета пород  $R_{ск}$  в ГСО в среднем превышает  $2.6$  г/см<sup>3</sup>, в то время как в инструкциях [8, 9] рекомендуется принимать  $R_{ск} = 2.5 \pm 0.07$  г/см<sup>3</sup>.

Критические значения  $J_{кр}$ ,  $T_{кр}$ ,  $R_{кр}$  для восстановления сигналов ИННК в приборах КНД-М разработчиками аппаратуры должны быть определены экспериментально.

Методика измерений зонда ИННК должна включать средства подавления не только нестабильности выхода генератора путем нормировки на монитор, но и подавления еще 2-х типов нестабильности: эффективности детектора ИННК и технологии установки его и нейтронной трубки в СП, т.е. нестабильности длины зонда ИННК, достигающей  $\pm 2$  см. Для этого метрология зонда ИННК должна предусматривать еще нормировку его скорости счета в широком окне  $DT$  на аналогичные данные в баке с водой, снятые перед каротажем, т.е. переход к измерению и интерпретации данных ИННК в условных единицах,  $J(DT)/J_{вода}(DT)$ , у.е.

Градуировка зонда ИННК приборов АИНК-48 по влажности  $W$  требует построения градуировочной зависимости  $S(W)$  и  $L(W)$  по данным измерений в моделях пластов. Для решения этой задачи метрология зонда ИННК должна предусматривать его градуировку в (желательно) 3-х моделях влагонасыщенной пористости со значениями  $K_{pi}>15\%$ , пересеченной необсаженными скважинами с одинаковым диаметром  $D_c$  в интервале  $D_c=130-216$  мм, с одинаковым заполнением пресной водой и положением СП на стенке скважины. Нужные ряды моделей имеются в нескольких нефтегазовых метрологических центрах России.

### 3.4.5 Экспериментальная часть. Сравнительный анализ данных КНД-М и ГК.

Метод КНД-М исключает погрешности, вызванные нарушением радиоактивного равновесия между продуктами распада урана (Ra-226), обусловленное их различной миграционной способностью.

Двухзондовый каротаж нейтронов деления позволяет напрямую определять содержание урана в рудном интервале, исключая влияние других факторов в скважине, заполненной грунтовыми водами, слабокислым, слабощелочным или буровым растворами.

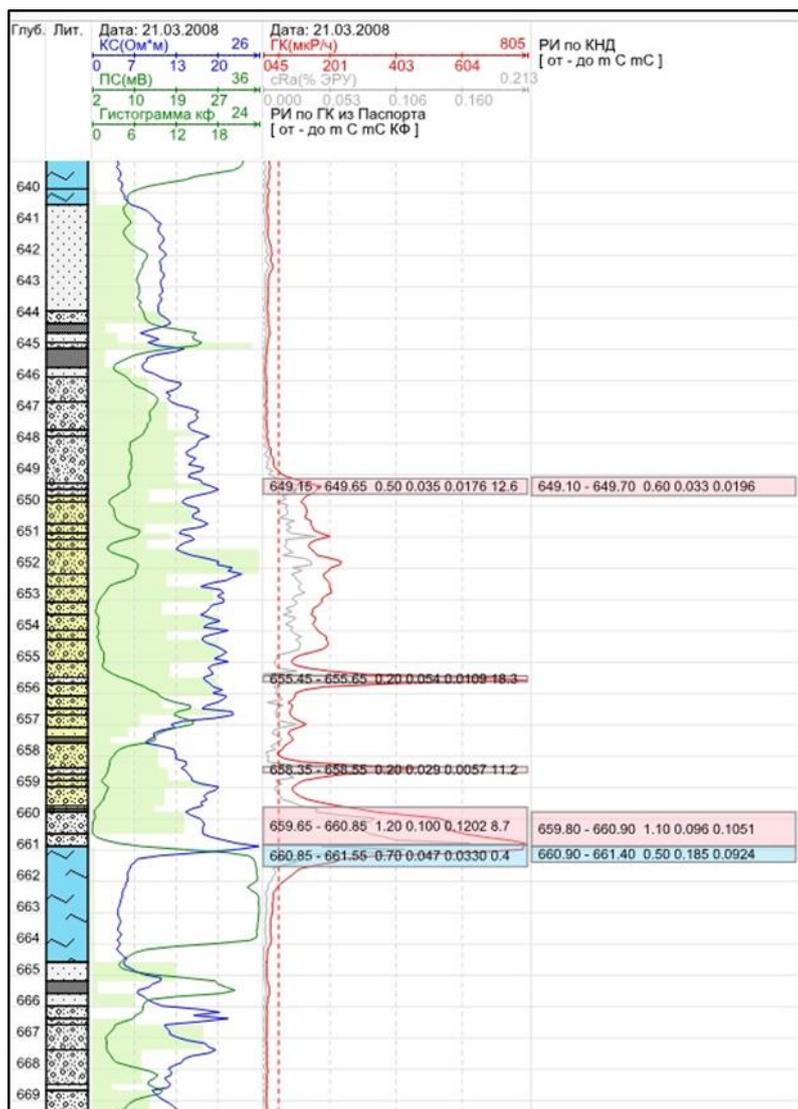


Рисунок 3.6 - Пример сопоставления данных КНД-М и гамма-каротаж.

Приведенная на рисунке 3.6 диаграмма сравнения данных гамма-каротажа (красная диаграмма) и КНД-М (серая диаграмма) по скважине наглядно показывает неприемлемость использования для определения основных рудных параметров (мощность, содержание урана) такого традиционного метода, как гамма-каротаж, гамма-каротаж требует дополнительных исследований по изучению радиологических условий

каждого месторождения, а в отдельных случаях конкретных залежей и даже подсчетных блоков месторождения гидрогенного типа.

Алгоритм интерпретации данных каротажа скважинного прибора КНД-48 позволяет решать следующие задачи:

- фильтрацию исходных каротажных данных;
- выделение аномальных и фоновых участков, расчет фоновых значений нейтронных сигналов по каналу регистрации нейтронов деления урана;
- определение нейтронных параметров и физических характеристик (пористости) по каждому аномальному интервалу (части интервала) или интервалу записи по рудовмещающим отложениям;
- проведение дифференциальной интерпретации результатов каротажа КНД-М по рудоносной зоне;
- выделение кондиционных по урану интервалов, расчет параметров мощности, линейного запаса, среднего содержания;
- расчленения рудных интервалов и рудовмещающих отложений с расчетом содержания алеврит - глинистой фракции в (%) < 0,05 мм - (Кгл) в абсолютных значениях.

На рисунке 01, приведено сопоставление графиков, построенных по результатам гамма-каротажа и КНД-м. Измерения проводились в технологической скважине, расположенной в пределах месторождения Буденовское. Графики на рисунке 1 явно указывают на различие природы радиоактивных аномалий, выявленных этими методами. Две аномалии, зафиксированные методом гамма-каротажа в интервале 668-677,5 м, по данным КНД-м обусловлены только высокими содержаниями радия, содержания урана здесь находятся в пределах фонового уровня. В тоже время, в интервалах 664,5-666,5, 667,9-668,1 и 685-690м по данным КНД-м содержание урана превышает значения, полученные по интерпретации результатов ГК. Это обусловлено радиологией месторождения.

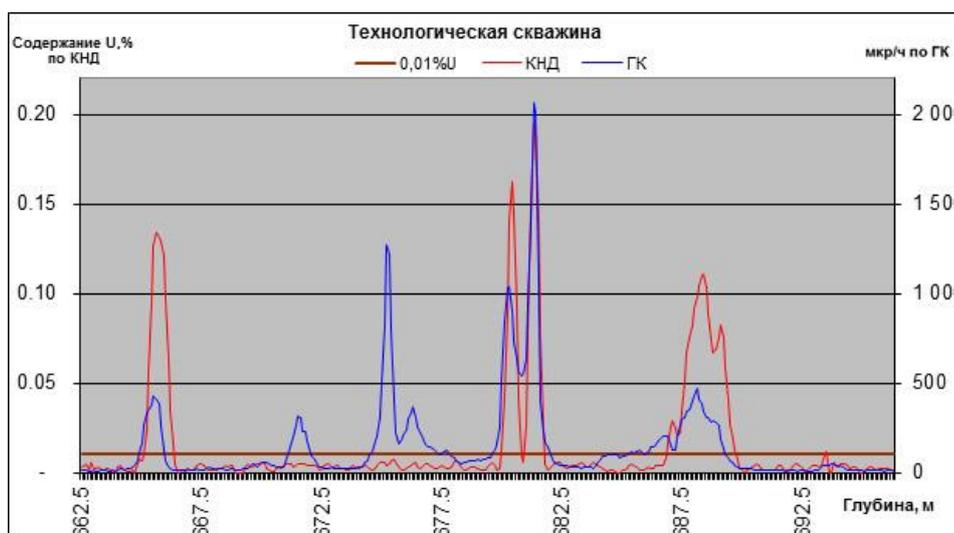


Рисунок 3.7 - Результаты сопоставления данных ГК и КНД-м показывающий различия в ореолах распределения урана и радия в пределах скважины

Таким образом, внедрение метода КНД-м в комплекс ГИС выполняемых на всех видах скважинах является оптимальным решением задачи повышения эффективности поисково-оценочных и разведочных работ. К тому же, при отработке месторождений способом ПСВ из руды извлекается уран, а радий остается на месте, поэтому результаты определений содержаний урана по гамма-каротажу теряют практический смысл, единственным способом оценки остаточных содержаний урана в выщелачиваемых пластах для контроля за динамикой и оперативным управлением процесса ПВ является метод КНД-м.

### **3.4.6 Экономическая часть**

В данном разделе показан примерный экономический эффект внедрения метода КНД-м как количественного метода определения содержания урана. Всем известно, что в процессе проведения геологоразведочных работ (ГРР) отбирают керн с разведочных скважин и геологическая служба занимается исследованием керна. В этом не легком процессе геологи используют радиометр СРП, который в свою очередь мерит гамма аномалию керна. Далее пробы отправляют в лабораторию для проведения лабораторных работ (определения вещественного состава руд, измерения содержания урана в руде и т.д.), данный процесс, в свою очередь, занимает немалое время (месяц или более). Тем временем геологоразведочные работы продолжаются, и геологическая служба без результатов керна продолжают свою работу, опираясь только на данные гамма-каротажа, тем самым, не имея точной информации о содержании урана в руде и о коэффициенте радиоактивного равновесия ( $K_{rp}$ ) по данному участку.

Надо отметить, что проводимые сравнения значений содержания урана, определенных по результатам КНД-м и по анализу кернового материала, показали хорошую сходимость результатов (расхождение около 25% на содержаниях  $<0.03\%$  и до 10% на высоких содержаниях), в том числе и на Буденновском месторождении.

В связи с этим, для оперативного получения точной информации о параметрах уранового оруденения, предлагается проводить каротаж КНД-м на всех разведочных скважинах. Так как, данные КНД-м будут интерпретированы и выданы геологической службе через сутки после проведения ГИС. Полученные данные позволят геологической службе оперативно принимать те или иные решения для оптимизации процесса ГРР.

В таблицах 3.1 и 3.2 ниже указаны виды работ и цена проведения комплекс ГРР за 1 единицу скважины.

Таблица 3.1- виды работ и цена проведения комплекс ГРР за 1 единицу скважины

<b>П/п</b>	<b>Наименование работ при ГРР</b>	<b>Цена за 1 скважину без НДС</b>
<b>1</b>	Механическое колонковое бурение с отбором керна (710 м)	7 406 670,30
<b>2</b>	Геологическое сопровождение буровых работ	2 006 177,80
<b>3</b>	Геофизические работы (Инкл, ГК, ЭК, Индукционный, КМ)	676 530,00

Продолжение таблицы 3.1

П/п	Наименование работ при ГРР	Цена за 1 скважину без НДС
4	Организация полевых работ	102 037,10
5	Ликвидация полевых работ	81 629,70
6	Лабораторные работы	273 620,00
7	Камеральные работы	248 296,00
8	Радиоэкологическое сопровождения буровых работ	110 480,70
9	Сопутствующие работы	2 109 868,30
	<b>Всего</b>	<b>13 015 309,90</b>

Таблица 3.2 - виды работ и цена проведения комплекс ГРР за 1 единицу скважины

П/п	Наименование работ при ГРР	Цена за 1 скважину без НДС
1	Механическое бурение сплошным забоем без отбора керна (710м)	6 666 003,30
2	Геологическое сопровождение буровых работ	
3	Геофизические работы (Инкл, ГК, ЭК, Индукционный, КМ, КНД-м)	1 207 530,00
4	Организация полевых работ	102 037,10
5	Ликвидация полевых работ	81 629,70
6	Лабораторные работы	
7	Камеральные работы	50 000,00
8	Радиоэкологическое сопровождения буровых работ	110 480,70
9	Сопутствующие работы	2 109 868,30
	<b>Всего</b>	<b>10 327 549,10</b>

Согласно данным таблиц 3.1 и 3.2 мы можем предположить, что при проведении ГРР (на стадии разведки, доразведки) на месторождениях пластово-инфильтрационного типа на 1 скважине мы можем сэкономить до 2 687 760,80 тенге, что существенно повлияло бы на себестоимость ГРР, а в последующем и на себестоимость готовой продукции.

Таким образом, в комплекс ГИС необходимо включить метод КНД-м для количественного определения содержания урана в руде.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная диссертация на соискание степени магистра является научным вкладом в перспективу внедрения метода КНД-М, для количественного определения содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождениях.

В работе приведен анализ современного аппаратурно-методического состояния каротажа нейтронов деления КНД-м, рассмотрены основные погрешности метода, а также, необходимые шаги для обеспечения использования метода КНД-М для количественного определения содержания урана во вмещающих породах с нормированной точностью. Опыт применения метода в индикаторном режиме рассмотрен на примере месторождения Буденовское.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований состоят в следующем:

1) Из существующих приборов перспективным представляется аппаратура типа АИНК-48 реализующая компоновочную схему с зондом МНД, зондом ТН и блоком мониторов. Выше перечислены необходимые шаги по развитию методики выполнения измерений и интерпретации данных для обеспечения получения результата с нормированной точностью.

В 2020-м году в Филиале АО «Волковгеология» - «Геотехноцентр» была разработана и принята методика выполнения измерений (МВИ), учитывающая все приведенные в данной диссертации доработки. В 2021-м году проводится внедрение данной МВИ на производстве. По мере наработки статистического материала будут выработаны методические рекомендации по принятию метода КНД-м как количественного для подсчета запасов;

2) Очень перспективно создание прибора, реализующего помехозащищенную схему измерений. Прибор изготавливается, после испытаний будет разрабатываться математический аппарат и методические требования;

3) После перехода на количественные измерения метод КНД-м может быть использован на всех стадиях эксплуатации урановых месторождений:

Актуальность работы в том, что метод КНД-М становится совершенно необходимым для участков со сложной геологической ситуацией, где представительный керновый материал для опробования получить практически невозможно, например, когда рудовмещающие породы представлены валунно-галечными отложениями.

Представляется достаточно важным применение метода КНД-М для оперативного принятия решения о дальнейшем направлении разведочных работ, поскольку метод позволяет получать экспресс-информацию о наличии и параметрах оруденения в тот же день.

При подготовке месторождений к эксплуатации способом ПСВ на участках, где высока вероятность распространения радиевых ореолов, метод

КНД-М позволяет уточнить наличие и глубину залегания рудных по урану интервалов для установки фильтров в технологических скважинах.

При отработке месторождений способом ПСВ из руды извлекается уран, а радий остается на месте, поэтому результаты определений содержаний урана по гамма-каротажу теряют практический смысл, единственным способом оценки остаточных содержаний урана в выщелачиваемых пластах для контроля за динамикой и оперативным управлением процесса ПВ является метод КНД-м.

При завершении отработки запасов (ликвидация участка) метод КНД-М позволит оценить полноту отработки участка, выделить площади с сохранившимися в недрах продуктивными растворами, и определить степень проникновения металла в смежные водоносные горизонты. По данным КНД-М может определяться остаточное содержание металла в недрах и рассчитываться коэффициент извлечения металла из недр.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Отчет по результатам детальной разведки участка 3 месторождения Буденовское с подсчетом запасов урана и ППК., Алматы, 2014 – 189 с.
- 2 Демехов Ю. В. Диссертация на тему: Каротаж нейтронов деления (КНД-М) при разведке и эксплуатации месторождений урана гидрогенного типа, Екатеринбург, 2013 - 221с.
- 3 Инструкция МВИ (методика выполнения измерений) по определению содержания урана методом каротажа по мгновенным нейтронам деления (КНД-М) на месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа
- 4 Инструкция по применению Классификации запасов к гидрогенным месторождениям урана (дополнение к Инструкции по применению классификации запасов к месторождениям радиоактивных руд) (утверждена приказом Министерства энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан от 26 декабря 2008 года № 319).
- 5 ГОСТ Р 54362-2011 Геофизические исследования скважин. Термины и определения.
- 6 Инструкция МВИ (Методика выполнения измерений) по гамма-каротажу на месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа / Рег. № KZ.07.00.03328-2016
- 7 Аппаратурно-методические комплексы каротажа мгновенных нейтронов деления (АМК КНД-М), в аппаратурной реализации-АИНК-48, АИНК-60. Методика поверки. / Рег. № KZ.04.02.12477-2019.
- 8 Технический регламент «Ядерная и радиационная безопасность» (утвержден Приказом Министра энергетики Республики Казахстан от 20 февраля 2017 года № 58).
- 9 Давыдов Ю.Б., Кузин В.Ф. Теоретические предпосылки каротажа нейтронов деления. Новосибирск: В.О. Наука, 1994.
- 10 Поляченко А.Л., Поляченко Л.Б., Румянцев Д.Р. Программно-интерпретационное и методическое обеспечение каротажа на уран по мгновенным нейтронам деления (КНД-М). Доклады Международной. научно-технической конференции «Ядерно- геофизические полевые, скважинные и аналитические методы при решении задач поиска, разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых» (27-29 мая 2009г, Башкортостан, г.Октябрьский). М., изд. РОО ЯГО, 2009.- С.190-205.
- 11 Инструкция по каротажу методом мгновенных нейтронов деления при изучении урановых месторождений гидрогенного типа. НПО «Рудгеофизика», ред. Миронов А.И. Сост.: Ганичев Г. И., Макаров Н.А., Хайкович И. М. и др. - Ленинград, 1986.
- 12 Инструкция по каротажу мгновенных нейтронов деления при подготовке к эксплуатации и эксплуатации пластово-инфильтрационных

месторождений урана. Алматы, НАК «Казатомпром», 2003 г. Сост.: Хасанов Э.Г., Абрамов Е.К. и др.

13 Методические рекомендации по геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений металлов и нерудного сырья. М., ФГУ ГКЗ, 2007 (утв. распоряжением МПР России №37-р от 05.06.2007).

14 Поляченко А.Л. О развитии каротажа на уран по мгновенным нейтронам деления. Сборник докладов Международной научно-технической конференции

15 «Портативные генераторы нейтронов и технологии на их основе» (Москва, 22-26 октября 2012 г.). М., изд. ВНИИАвтоматики, 2013, с. 381-409.

16 Под науч. ред. А.Л. Поляченко, В.Г. Цейтлина, Ю.С. Шимелевича. Импульсный нейтронный каротаж. Методические указания по проведению измерений и интерпретации результатов. МУ 41-06-026-83. М., ВНИИЯГТ, 1984.

17 Темирханова Р.Г. диссертационная работа на тему: Совершенствование методики определения геолого-геотехнологических параметров рудовмещающих пород по данным индукционного каротажа. Алматы, 30.06.2017.

18 Касымбеков А.Д. диссертационная работа на тему: Геолгические и гидрогеологические сложности и пути их решения при освоении «Мынкудукского» горизонта участка №4 месторождения «Буденовское». Алматы, 10.12.2019.

19 Мурзалин А.Е. дипломная работа на тему: Геологическая разведка участка №2 месторождения «Буденовское». - Алматы, 2.05.2018.

## Перечень принятых сокращений, терминов

Подземное скважинное выщелачивание	ПСВ
Геофизические исследования в скважинах	ГИС
Гамма-каротаж	ГК
Каротаж сопротивления	КС
Каротаж потенциалов самопроизвольной поляризации	ПС
Нейтронный каротаж по мгновенным нейтронам деления	КНД-м
Индукционный каротаж	ИК
Токовый каротаж	ТК
Коэффициент радиоактивного равновесия	К <sub>рр</sub>

**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

Магистерская диссертация  
(наименование вида работ)

Байниязов Шынгысхан Ерзакович  
(Ф. И. О. обучающегося)

7М07218 - Геология и разведка твердых полезных ископаемых  
(шифр и наименование специальности)

**Тема:** Перспективы внедрения метода КНД-М как количественного определения содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождения на примере месторождения Буденовское.

В данной магистерской диссертации магистрант Байниязов Шынгысхан Ерзакович описывает перспективы внедрения метода КНД-М как количественного определения содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождения на примере месторождения Буденовское. В ходе работы магистранту была поставлена задача изучить и представить в диссертационной работе всю информацию о методе КНД-м, аппаратурном комплексе, сущности метода, методике обработки и метрологии.

В ходе выполнения магистерской диссертации Байниязов Шынгысхан Ерзакович продемонстрировал достаточные знания о геологических, геотехнологических и геофизических материалах, производстве в целом. Он также показал, что может не только самостоятельно решать задачи поставленные научным руководителем, но и самостоятельно ставить задачи для выполнения магистерской работы.

Результаты настоящей диссертации позволяют рассмотреть перспективы внедрения метода КНД-м для количественного определения содержания урана в процессе геолого разведочных работ и эксплуатации на месторождениях пластово-инфильтрационного типа.

Считаю, что магистерская диссертация Байниязова Шынгысхана Ерзаковича соответствует требованиям к выпускным квалификационным работам по дайному направлению «7М07218 – Геология и разведка твердых полезных ископаемых» и заслуживает оценки 95% (отлично). Автор диссертации заслуживает получения академической степени «магистр техники и технологии».

Научный руководитель  
канд.геол.-мин. наук, асоц.профессор  
кафедры ГСПиРМПИ Satbayev University

 Я.К. Аршамов

«29» марта 2021 г.

## РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Байниязова Шынгысхана Ерзаковича

7M07218 - Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых

На тему: Перспективы внедрения метода КНД-М как количественного определения содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождения на примере месторождения Буденовское

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

**Актуальность.** При добыче урана на рудниках Казахстана применяется наиболее безопасный и экологически чистый метод добычи – метод подземного скважинного выщелачивания (ПСВ), но поскольку при отработке месторождений урана большинство скважин проходится без отбора керна, геофизические исследования скважин являются основным методом получения наиболее полной информации об особенностях геологического строения разреза и характеристики уранового оруденения по каждой скважине.

Для расчета средней концентрации урана в рудном интервале, традиционно на всех месторождениях пластово-инфильтрационного типа применяется гамма-каротаж. Применение гамма-каротажа базируется на предположении о постоянстве коэффициента радиоактивного равновесия в руде. Однако, основные параметры подсчета запасов (мощность и среднее содержание урана), определяемые с помощью гамма-каротажа, могут иметь значительные погрешности. На пластово-инфильтрационных месторождениях урана природное нарушение радиоактивного равновесия – обычное и характерное явление.

Анализ разработки методом ПСВ Казахстанских и некоторых мировых месторождений урана гидрогенного типа, сформировавшихся на больших глубинах, также показал низкую эффективность использования традиционного геофизического метода исследований скважин гамма-каротажа для определения основных параметров рудного тела.

Автор предлагает для решения проблемы, то есть, для прямого определения содержания урана использовать метод каротажа мгновенных нейтронов деления (КНД-М).

В диссертации приведены результаты анализа современного аппаратурно-методического состояния каротажа нейтронов деления КНД-м, рассмотрены основные погрешности метода, а также, необходимые шаги для обеспечения использования метода КНД-М для количественного определения содержания урана во вмещающих породах с нормированной точностью, на примере месторождения Буденовское.

Диссертационная работа была выполнена на основе фактического материала, собранного в период работы диссертанта в системе АО НАК "Казатомпром". Основные положения диссертации нашли отражение в публикации автора.

**ОЦЕНКА РАБОТЫ**

Рецензент считает, что диссертационная работа отвечает всем требованиям, выполнена на основании собственных материалов, а магистрант Байниязов Ш.Е. заслуживает оценку отлично (97%) и присвоения академической степени магистра в области геологии по специальности 7М07218 – Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых

**Рецензент**

Заведующий лабораторией редких и редкоземельных металлов,  
Института геологических наук им. К.И. Сатпаева,

РФП



Тогизов Куаньш Серикханович

«26» мауы 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: Байниязов Шынгысхан Ерзакович

Название: Перспективы внедрения метода КНД-М как количественного определения содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождения на примере месторождения Буденовское.

Координатор: Аршамов Ялкунжан Камалович

Коэффициент подобия: 9.2

Коэффициент подобия: 2.9

Замена букв:68

Интервалы:59

Микропробелы:60

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: Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными.

В связи с эти, признано работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией

<p><u>28.03.2021</u> Дата</p>	<p> Подпись научного руководителя</p>
-----------------------------------	--

**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: Байниязов Шынгысхан Ерзакович

Название: Перспективы внедрения метода КНД-М как количественного определения содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождения на примере месторождения Буденовское.

Координатор: Аршамов Ялкунжан Камалович

Коэффициент подобия: 9.2

Коэффициент подобия: 2.9

Замена букв:68

Интервалы:59

Микропробелы:60

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;**

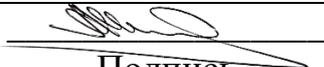
□ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;

□ 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.....

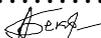
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

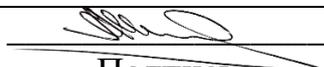
Дата	 Подпись научного руководителя
------	---

начальника структурного подразделения

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

.....  
Диссертация допущена к защите.....  
.....  
.....  
.....

.....  
 Бекботаева А.А.  
.....

<u>29.03.2021</u> Дата	 Подпись научного руководителя
---------------------------	---

начальника структурного подразделения

**«Волковгеология»  
акционерлік қоғамы**

Қазақстан Республикасы, 050012,  
Алматы қаласы, Бөгенбай батыр көшесі, 168  
Тел.: +7 (727) 343 60 00, 343 60 08  
e-mail: priemnaya@vg.kz; site: www.vg.kz



**Акционерное общество  
«Волковгеология»**

Республика Казахстан, 050012,  
г. Алматы, ул. Бөгенбай Батыра, 168  
Тел.: +7 (727) 343 60 00, 343 60 08  
e-mail: priemnaya@vg.kz; site: www.vg.kz

№ 15-03/0748

« 29 » 03 2021 ж.г

**ОТЗЫВ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

Магистерская диссертация

Байниязов Шынгысхан Ерзакович

7M07218 - Геология и разведка твердых полезных ископаемых  
(шифр и наименование специальности)

**Тема:** Перспективы внедрения метода КНД-М как количественного определения содержания урана на пластово-инфильтрационных месторождения на примере месторождения Буденовское.

В данной магистерской диссертации магистрант Байниязов Шынгысхан Ерзакович рассмотрены проблемы применения метода каротажа нейтронов деления КНД-М в качестве количественного для определения содержания урана в рудовмещающих породах на пластово-инфильтрационных месторождениях.

В работе обоснована необходимость применения метода КНД-М для пластово-инфильтрационных месторождений, для которых характерны нарушения радиоактивного равновесия и определение концентрации урана в породе с помощью гамма-каротажа не всегда дает корректные результаты.

Магистрантом проведен подробный анализ существующего аппаратурно-методического обеспечения метода, источники помех и просчетов, а также погрешностей, как аппаратурно-измерительных, так и связанных с методикой интерпретации данных измерений. В работе обоснованы современные требования к аппаратурно-методическому обеспечению КНД-М, позволяющие определять содержание урана в породе с номрированной точностью, т.е. обеспечивающие переход к количественным измерениям.

На примере применения метода на месторождении Буденовское проанализированы возможности и перспективы КНД-М как прямого метода определения урана на всех стадиях отработки месторождения.

При выполнении работы Байниязов Шынгысхан Ерзакович показал всестороннее знание процессов работы рудодобывающих предприятий, геофизических организаций, умение работать с геологическими и геофизическими материалами.

Результаты настоящей диссертации обозначают пути развития аппаратурно-методического обеспечения КНД-м, необходимые для внедрения метода как количественного для определения содержания урана в процессе геолого разведочных работ и эксплуатации на месторождениях пластово-инфильтрационного типа.

Считаю, что магистерская диссертация Байниязова Шынгысхана Ерзаковича соответствует требованиям к выпускным квалификационным работам по дайному направлению «7M07218 – Геология и разведка твердых полезных ископаемых» и заслуживает оценки 95% (отлично). Автор диссертации заслуживает получения академической степени «магистр техники и технологии».

Производственный руководитель

Ведущий менеджер ГФУ

Филиала АО «Волковгеология» - «Геотехноцентр»

Л.И.Каменев

00258

  
Менеджмент жүйесі  
ҚР СТ ИСО 9001-2009  
сейкестігі бойынша МК  
СРО «QS Azia Sertik» ЖШС  
сертификаттаған  
Система менеджмента  
сертифицирована ОПС  
СМ ТОО «QS Azia Sertik»  
на соответствие  
СТ РК ИСО 9001-2009

  
Менеджмент жүйесі  
ҚР СТ ИСО 14001-2006  
сейкестігі бойынша МК  
СРО «QS Azia Sertik» ЖШС  
сертификаттаған  
Система менеджмента  
сертифицирована ОПС  
СМ ТОО «QS Azia Sertik»  
на соответствие  
СТ РК ИСО 14001-2006

  
Менеджмент жүйесі  
ҚР СТ ОHSAS 18001-2008  
сейкестігі бойынша МК  
СРО «QS Azia Sertik» ЖШС  
сертификаттаған  
Система менеджмента  
сертифицирована ОПС СМ  
ТОО «QS Azia Sertik»  
на соответствие  
СТ РК ОHSAS 18001-2008

  
Менеджмент жүйесі  
ҚР СТ ИСО 50001-2012  
сейкестігі бойынша МК  
СРО «QS Azia Sertik» ЖШС  
сертификаттаған  
Система менеджмента  
сертифицирована ОПС  
СМ ТОО «QS Azia Sertik»  
на соответствие  
СТ РК ИСО 50001-2012

## СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Байниязов Шынгысхан Ерзакович

Магистранта, обучающегося по образовательной программе «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	Метод КНД-м как один из методов прямого определения урана на примере месторождения Буденовское	Статья	«ПРАКТИКА ГЕОЛОГОВНА ПРОИЗВОДСТВЕ» IV Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН Ю. А. Жданова Секция: Особенности методики геофизических исследований по материалам производственных практик	2 страниц	Научный руководитель - Аршамов Я.К. к.г.м.н., ассоциированный профессор

«27» марта 2021 года

Автор



Байниязов Ш.Е.

Заверяю:

Директор ИГНГД



Рысбеков К.Б.

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ



Бекботаева А.А.