

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра геофизики

**«Интерпретация геофизических данных на основе результатов  
радиоактивного и акустического каротажа на примере Терско-  
Камовского месторождения Восточной Сибири»**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 261 группы  
направления подготовки 05.04.01 «Геология»  
геологического факультета  
Волкова Богдана Алексеевича

Научный руководитель

К. г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Б.А. Головин

Зав. кафедрой

К. г.- м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2024

**Введение.** Объектом исследования являются рифейские карбонатные породы Терско-Камовского месторождения Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления, на примере скважин кустовой площадки №73.

Актуальность темы обусловлена необходимостью исследования и выявления перспективных зон и интервалов в сложном коллекторе на территории Восточной Сибири с применением одновременно ~~престых~~ и нестандартных методов. Сложная структура емкостного пространства, изучаемого природного резервуара обуславливает трудности выделения, прослеживания и прогнозирования коллекторов по данным ГИС. Поэтому необходимо выработать сочетание методов исследования, позволяющее достичь максимальной результативности в изучении всего интервала коллектора на месторождении.

Целью данной работы изучить интерпретацию геофизических данных на основе результатов радиоактивного и акустического каротажа на примере Терско-Камовского месторождения Восточной Сибири.

Для осуществления поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать геолого-геофизические характеристики геологического разреза Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления.
2. Изучить комплекс ГИС, применяемый на скважинах.
3. Выявить коллектора по данным ГИС с учетом данных гамма-спектрометрического каротажа.
4. Анализировать структурно-текстурные характеристики разреза на основе акустического каротажа с помощью микроимиджевой аппаратуры.

**Основное содержание работы.** Первый раздел «**Геолого-геофизическая характеристика района исследования**». Терско-Камовское нефтегазовое месторождение расположено в Эвенкийском муниципальном районе Красноярского края. Расположено на востоке от Енисея и к северу

от Ангары, преимущественно по левому берегу реки Подкаменная Тунгуска. Населённые пункты непосредственно на территории участка отсутствуют. В 80 км к северу расположен ближайший населенный пункт — село Байкит. Юрубчено-Тохомская зона нефтегазонакопления (ЮТЗ) находится в Эвенкийском районе Красноярского края, в междуречье Ангары и Подкаменной Тунгуски.

Терско-Камовское газонефтяное месторождение в тектоническом отношении располагается в Камовском районе в пределах Байкитской антеклизы – крупнейшей положительной структуры на юго-западе Ленно-Тунгусской нефтегазонаосной провинции Сибирской платформы. Юрубчено-Тохомская зона нефтегазонакопления является одним из наиболее перспективных объектов добычи УВ-сырья в Восточной Сибири, включает Юрубченское, Вэдрэшевское, Куюмбинское и Терско-Камовское месторождения, основные залежи которых связаны с карбонатными отложениями среднего и верхнего рифея и венда.

В разрезе представлены Кембрийские известняки и доломиты характеризующиеся мощностью от 1750 до 2500 метров. Кембрийские эвапориты считаются региональной покрывкой на месторождении. Вендские отложения представлены песчаниками, доломитами и вулканогенными породами. Основные залежи находятся в верхней части рифейского разреза, который может достигать общей мощности до 3000 метров в наиболее полных разрезах.

Разрез осадочного чех Месторождение входит в состав Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления и приурочено к природному резервуару в рифейских доломитовых породах-коллекторах, средний возраст которых составляет от 700 тыс. до 1 млн лет.

Характеристика: месторождение нефтегазоконденсатное, залежь массивная, литологически и тектонически экранированная, коллекторы

карбонатные, с трещинным и каверновым типом пустотного пространства. Нефти метановые, малопарафинистые, малосмолистые, бессернистые, легкие.

Потенциально извлекаемые углеводороды залегают на глубине 2,2—2,5 км, преимущественно в трещинах, пустотах и кавернах доломитов. Газовая залежь расположена в западной части месторождения на глубине 2,2 км. Углеводороды месторождения залегают неравномерно, что связано с резко неоднородным строением нефтегазоносного резервуара.

**Второй раздел «Методика исследования».** Нейтрон-нейтронный каротаж тепловых нейтронов представляет собой важный метод исследования горных пород, который активно применяется в различных отраслях, таких как нефтегазовая геология, гидрогеология, инженерная геология и другие. Этот метод основан на взаимодействии потока тепловых нейтронов с веществом горных пород и позволяет получить информацию о их составе, пористости, литологическом составе, а также о наличии нефтегазовых пластов.

При использовании метода ННК-ТН в скважину опускается источник нейтронов (обычно калифорний-252). Указанный источник испускает нейтроны, которые замедляются в процессе упругих столкновений с ядрами атомов горных пород. Замедленные нейтроны регистрируются детектором, расположенным на определенном расстоянии от источника. Количество зарегистрированных нейтронов зависит от состава горных пород, в частности от содержания водорода. Метод применяется в нефтегазовой геологии - для поисков и разведки месторождений углеводородов; в гидрогеологии - для изучения подземных вод; в инженерной геологии - для оценки состояния грунтов.

Гамма-гамма каротаж является одним из наиболее распространенных методов геофизических исследований скважин, предназначенным для определения плотности горных пород. Метод основан на взаимодействии гамма-излучения с веществом породы и регистрации рассеянного излучения.

По его результатам можно оценить плотность породы, литологический состав, пористость и другие геологические параметры.

Физическую основу метода составляет взаимодействие гамма-излучения с веществом. Гамма-излучение представляет собой поток фотонов высокой энергии, которые при прохождении через вещество взаимодействуют с атомами, вызывая различные процессы: фотоэффект; комптон-эффект; образование пар: фотон высокой энергии в поле ядра атома превращается в электрон и позитрон.

Геологическую основу метода составляет геологический характеристики свойств горных пород. Плотность горных пород является важным геологическим параметром, который влияет на многие другие свойства, такие как пористость, проницаемость, механические свойства и др. Плотность пород зависит от их минерального состава, степени уплотнения и наличия пустот.

Поскольку разные минералы имеют разные атомные номера, они по-разному поглощают и рассеивают гамма-излучение. Это позволяет использовать ГГК для определения литологического состава пород.

Пористость горных пород характеризует объем пустот в породе. Поскольку пустоты заполнены воздухом или жидкостью, имеющей меньшую плотность, чем минералы, пористость влияет на плотность породы. ГГК позволяет оценивать пористость по изменению плотности.

Гамма-гамма каротаж сжатых источников отличается от обычного гамма-гамма каротажа тем, что вместо использования радиоактивных источников, которые находятся на дне скважины, он использует сжатые источники радиации, которые опускаются в ствол скважины. Гамма-гамма каротаж с сжатыми источниками обеспечивает более точные данные о плотности породы и содержании жидкости, так как источник находится поблизости от интересующей области породы.

Сжатый источник радиации - это источник радиоактивности, который помещается в специальную защитную оболочку, обычно в виде канистры или контейнера, чтобы минимизировать его воздействие на окружающую среду. Такой источник легче и безопаснее переносить и использовать, по сравнению с несжатыми источниками, которые могут быть менее компактными и требовать дополнительной защиты.

Основное отличие сжатого источника радиации от обычного заключается в его конструкции: сжатый источник обычно имеет компактный и прочный корпус, который предотвращает утечку радиации и обеспечивает безопасное использование и хранение. В то время как обычные источники могут быть менее компактными и требовать более сложных систем защиты.

Гамма-каротаж спектрометрический проводится с помощью специального гамма-спектрометра, который позволяет анализировать спектр гамма-излучения, испускаемого из породы в скважине. Этот метод позволяет получить информацию о содержании радиоактивных элементов в породе, таких как уран, торий и калий, что может быть полезно для определения литологических свойств породы и ее потенциальной продуктивности.

Гамма-каротаж спектрометрический может использоваться для:

1. Идентификации типов пород по их радиоактивности, так как разные породы содержат разные уровни радиоактивных элементов.
2. Оценки содержания породами урана, тория и калия, что может помочь в определении свойств породы и ее водоносность.
3. Поиска зон с пониженной или повышенной радиоактивностью, что может указывать на изменения в свойствах породы и потенциальную наличие полезных ископаемых.

Акустический каротаж основан на изучении характеристик упругих волн ультразвукового и звукового диапазона в горных породах. При АК в скважине

возбуждаются упругие колебания, которые распространяются в ней и в окружающих породах и воспринимаются приемниками, расположенными в той же скважине. В естественном залегании горные породы практически являются упругими телами. Если в элементарном объеме некоторой упругой среды в течение короткого времени действует внешняя возбуждающая сила, в среде возникают напряжения, вызывающие относительное перемещение частиц. Это ведет к возникновению двух типов деформации: деформации объема (растяжения, сжатия) и деформации формы (сдвига). Процесс последовательного распространения деформации называется упругой сейсмической волной, которая распространяясь во все стороны захватывает все более удаленные области. Поверхность, отделяющая в данный момент времени область среды, в которой уже возникло колебание частиц, от той, где колебания еще не наблюдаются, называется фронтом волны.

Ультразвуковой каротаж – это метод исследования, используемый в геофизике для определения физических свойств пород в зоне нефтегазоносности. Основные особенности ультразвукового каротажа включают:

1. Высокое разрешение: Ультразвуковой каротаж обладает высокой разрешающей способностью, что позволяет более точно определять характеристики пород, такие как проницаемость и прочность.

2. Информативность: Этот метод исследования позволяет получить разнообразную информацию о геологической структуре и составе пород, что помогает геологам и инженерам принимать обоснованные решения при разработке месторождений.

3. Применимость в разных условиях: может использоваться как во время бурения скважин, так и после их завершения, что позволяет производить исследования в различных условиях.

Для исследования методами ядерного каротажа был использован Комплекс PEx-HNGS (Platform Express), который позволяет выполнять литологическое расчленение пород по разрезу, выделять проницаемые прослои коллекторов, оценивать их основные фильтрационно-емкостные свойства (пористость, глинистость, водонасыщенность, проницаемость), с высокой вертикальной разрешающей способностью (до 20 см).

Компоновка приборов стандартного комплекса ГИС включает следующие методы: интегральный гамма метод, литоплотностной метод (измерение объемной плотности и фотоэлектрического фактора пород), микробочковой метод (оценку удельного электрического сопротивления (УЭ) зоны проникновения), водородсодержание по тепловым нейтронам, температура. В составе аппаратной платформы есть одноосный акселерометр для ввода поправок за неравномерное движение компоновки приборов в данные методов, для обеспечения идеальной увязки всех регистрируемых данных по глубине.

Акустическое исследование производилось с помощью ультразвукового скважинного сканера (UBI), который позволяет получать характеризующиеся высоким разрешением акустические изображения (имиджи) ствола скважины, заполненного буровым раствором на водной или нефтяной основе. Имиджи позволяют определять наклонные пласты, трещины и другие элементы залегания пластов, вскрытых скважиной. Точные измерения сечения ствола скважины позволяют сделать выводы о стабильности стенок скважины и овальности ствола

Ультразвуковой азимутальный скважинный микросканер UBI характеризуется сравнительно невысокой чувствительностью к эксцентриситету прибора в стволе скважины (до 0,63 см), позволяя получать качественные данные даже в сильно искривленных скважинах. Зарегистрированные полевые данные обрабатываются в программном обеспечении как непосредственно на скважине в системе MaxWell, так и в



центрах обработки и консультационных услуг. Графическая обработка включает введение поправок в показания интервального времени и амплитуды на скважинные условия, на неравномерность скорости движения прибора в скважине, а также позволяет провести дополнительную фильтрацию шумов. Одним из этапов обработки является пространственная ориентация имиджей на основании зарегистрированных совместно данных инклинометрии. Далее, для удобства работы с имиджами, проводится динамическая нормализация, облегчающая их визуальную интерпретацию.

Оборудование для кросс-дипольного широкополосного акустического сканирования - Sonic Scanner, применяемое с помощью платформы акустического каротажа, предназначенной для изучения упругих свойств пород путем определения интервальных времен целевых волн в осевом и радиальном направлениях. Новейшая технология акустических исследований позволяет проводить измерения интервальных времен, компенсированные за влияние скважины, при регистрации волновых полей монополярных излучателей (с длинной и короткой базой зондов) и скрещенных дипольных излучателей одновременно с оценкой качества цементирования. В среднем глубина исследования достигает 2-3 диаметров скважины.

Гамма-спектрометрический каротаж был проведен с помощью прибора, который позволяет определять вещественный состав пород. Полный спектр измеренного гамма-излучения разделяется на три наиболее характерных компонента естественного излучения в осадочных породах - излучение калия, тория и урана (соответственно K, Th и U). Эти данные служат для определения состава глинистых минералов или песчаников в призабойной зоне.

Раздел третий **«Результаты»**. По комплексу PEx-HNGS выполнена количественная оценка литологического состава, пористости и глинистости. В интервале исследования выделены поровые коллектора, которые выделялись по граничной пористости с учетом глинистости и степени окремнения. В связи с

отсутствием априорной информации граничное значение пористости в карбонатных отложениях условно было принято 3 %.

Интервалы с пористостью выше граничной и наличием глинистости отнесены к неколлекторам, пропластки с  $K_p$  близкими к граничной отсечке, низкой глинистостью - к возможным коллекторам. Необходимо отметить, что в поровых коллекторах интервала 3694-3804 м по ГКс повышенные показания урановой компоненты, могут быть интерпретированы как признаки присутствия органического (первичного битуминозного) материала, либо как интервалы интенсивной фильтрации по трещинам на стадии диагенеза. С помощью использованных методов в исследуемом интервале были выявлены участки, которые по измеренным параметрам подходят под описание коллектора, типичного для данного месторождения.

По результатам интерпретации комплекса РЕх-HNGS, получена объёмная литологическая модель исследуемых отложений. Отложения интервала исследования представлены доломитами, местами слабоглинистыми, присутствуют два ангидритистых пропластка.

С использованием оценок интервальных времен пробега продольной и поперечной волн, а также с использованием данных объёмной плотности ГГКп из аппаратного комплекса РЕх (прибор HRDD), проведен расчет основных динамических модулей упругости исследуемых пород - отношение  $V_p/V_s$ , коэффициент Пуассона, модуль Юнга, модули сдвига и объёмного сжатия.

Повышенное содержание урана и тория в исследуемом интервале, обнаруженное с помощью спектрометрического гамма-каротажа, может свидетельствовать о наличии примесей этих элементов в минералах.

В отдельных случаях против карбонатных пород наблюдается повышенная гамма-активность по ГК при низком содержании К и Th, но высокой концентрации U. Эти интервалы совпадают с трещиноватыми и высокопродуктивными зонами карбонатных отложений.

По данным АКШ (SonicScanner) оценены акустические свойства разреза, рассчитаны механические свойства пород. По акустическому имиджу UBI оценены структурно-текстурные характеристики разреза.

Качество полученных данных соответствует техническим требованиям, и данные могут быть использованы для дальнейшей интерпретации.

В результате обработки данных, зарегистрированных прибором широкополосного кросс-дипольного акустического каротажа Sonic Scanner проведена оценка интервальных времен пробега продольной (DTr), поперечной (DTs) и Стоунли (DTSt) волн. Для обработки использовались акустические сигналы от дальнего монопольного источника, работающего в среднечастотном (оценка DTr) и низкочастотном режимах (оценка DTSt), от кросс-дипольных источников (оценка DTs), работающих в вибрационном режиме.

Проведенный анализ оцененных интервальных времен пробега продольной и поперечной волн показал, что по скоростным характеристикам разрез в интервале исследования является высокоскоростным.

С использованием оценок интервальных времен пробега продольной и поперечной волн, а также с использованием данных объемной плотности ГГКп из аппаратного комплекса PEh, проведен расчет основных динамических модулей упругости исследуемых пород - отношение  $V_p/V_s$ , коэффициент Пуассона, модуль Юнга, модули сдвига и объемного сжатия. Разрез слабо дифференцируется по характеристике  $V_p/V_s$  и DTr, что может быть обусловлено низкими значениями пористости и однородной литологией.

Акустическая анизотропия скоростей отмечается в следующих интервалах: 3630.4-3636.5 м, 3648.4-3650.3 м, 3652.4-3661.8 м, 3670.73673.9 м, 3751.4-3753.6 м, 3774.3-3784.9 м, 3801.4-3805.9 м. Максимальная разница скоростей достигает 31 %.

По данным ультразвукового акустического сканера UBI была произведена обработка и интерпретация. Скважинные условия не позволили

настроить прибор UBI на режим записи FPM (Fluid Properties Measurement). Во время спуска на буровом инструменте не рекомендуется писать режим FPM, поскольку есть вероятность того, что прибор не развернется в режим записи из-за возможного наличия шлама. Для расчета имиджа радиуса использовались значения  $DT_{\text{бур.р-ра}}=675$  мкс/м.

Таким образом, в скважине 7301 куста 73 Терско-Камовского лицензионного участка были исследованы отложения рифея. Посредством комплекса РЕх выполнена количественная оценка литологического состава, пористости и глинистости. По данным акустического каротажа с помощью оборудования Sonic Scanne оценены акустические свойства разреза, рассчитаны механические свойства пород. По акустическому ультразвуковому имиджу UBI оценены структурно-текстурные характеристики разреза.