

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

Кафедра геофизики

Автореферат магистерской работы

**«Исследование петрофизических характеристик трещиноватых горных пород
Пальяновской площади Красноленинского месторождения на основе данных бурения и
геофизических исследований»**

студента 2-ого курса 261 группы
направления 05.04.01 «Геология»
профиль подготовки «Геофизика при поисках нефтегазовых месторождений»
геологического факультета
Рахманова Алексея Эмилевича

Научный руководитель
к.г.-м.н., доцент

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Зав. кафедрой
к.г.-м.н., доцент

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов, 2026

Введение. Актуальность темы обусловлена вовлечением в разработку трудноизвлекаемых запасов, в частности уплотняющего бурения Пальяновского лицензионного участка. В работе рассмотрено бурение с отбором керна, при подъеме которого была зафиксирована тектоническая аномалия. Исследование темы поможет в дальнейшем применить наиболее инновационные методики разведки и четкого выделения границ тектонических нарушений.

Целью работы является исследование петрофизических характеристик трещиноватых горных пород Пальяновской площади Краснотеневского месторождения на основе данных бурения и геофизических исследований.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) изучить историю открытия и разработки месторождения, проанализировать геологическое строение месторождения, выделить продуктивные пласты;
- 2) изучить петрофизические свойства пород Баженовской свиты и аварийные ситуации и осложнения в ходе строительства скважин;
- 3) выполнить анализ аварийных ситуаций с привязкой их к геологическому строению месторождения;
- 4) найти пути повышения эффективности эксплуатационного и разведочного бурения в рамках месторождения.

Научная новизна работы обусловлена тем, что от разработки трудноизвлекаемых запасов долгое время отказывались, по причине перехода бурения на горизонтальные скважины с многостадийным гидравлическим разрывом пласта в изученных пластах. Однако, по мере накопления проблем данного фонда, совместно с накоплением проблем от гидроразрыва пласта, возникла потребность в бурении на слабоизученные залежи с одновременным их изучением экспресс-методами.

Научная значимость работы в корреляции информации по петрофизическим свойствам горных пород, со снижением аварийности при бурении на данной площади, а также предложения по оптимизации

технологических процессов разведки, бурения и добычи. В работе рассмотрена существующая проблематика и предложены методы нивелирования вскрытых проблем.

На защиту выносятся следующие положения:

1) Несмотря на сложности определения насыщенности коллектора Баженовской свиты, разработка Пальяновской площади Красноленинского месторождения рентабельна;

2) Прогнозирование тектонических аномалий и купирование потенциально проблемных зон бурения имеет решающее значение экономии средств и времени строительства скважины;

3) Системы малой автоматизации оцифровывают процесс бурения и должны проникать в те аспекты процесса строительства скважин, которые ранее выполнялись только вручную с фотографиями результатов.

Основное содержание работы. Магистерская работа состоит из следующих частей: введения, 4-х разделов, заключения, списка использованных источников.

Раздел 1 – История открытия и разработки месторождения.

Раздел 2 – Петрофизические свойства горных пород Пальяновской площади.

Раздел 3 – Исследование данных бурения на примере куста №427.

Раздел 4 – Инновационные разработки для применения при бурении на Пальяновской площади.

Основное содержание работы. В первом разделе были рассмотрены история открытия и разработки месторождения, а также его геологическое строение.

Восточно-Пальяновская площадь Красноленинского месторождения расположена в Октябрьском районе Ханты-Мансийского автономного округа – Югра Тюменской области. Западная граница участка площади находится в 100 км к востоку от города Нягань, юго-восточнее расположен поселок Каменный. Ближайший населенный пункт п. Пальяново расположен в 20км на юго-западе

от проектируемого объекта. Проектируемый участок находится в северо-восточной части площади, представляет собой слабовсхолмленную, залесенную равнину.

Проектной документацией предусматривается строительство 89ти эксплуатационных скважин:

Скважины в кусте размещаются на одной прямой с расстоянием между скважинами – 9м, 18м.

Цель бурения – эксплуатационное.

Назначение скважины – эксплуатационная (добыча нефти с переводом скважины под нагнетание воды для целей поддержания пластового давления).

Вид скважин – горизонтальные.

Проектный горизонт – ЮК₀-ЮК₀¹+ЮК₁.

Проектная глубина: – по вертикали – 2400 м; – по стволу – до 4843 м.

Газоносные горизонты в разрезе до глубины 2545 м отсутствуют.

Нефтяные объекты: ВК₁₋₂; ЮК₀-ЮК₀¹; ЮК₁; ЮК₂₋₃; БГ залегают в интервале 1462-2545 м.

Эксплуатационный нефтяной объект (ЮК₀-ЮК₀¹+ЮК₁) залегает в интервале 2356-2415 м с $P_{пл} = 23.0$ МПа.

Пальяновская площадь Красноленинского месторождения расположена на территории Октябрьского района Ханты-Мансийского Автономного Округа.

Месторождение открыто в 1971 г.

Начальные геологические запасы нефти категории В+С1 - 72,7 млн т, С2 - 97,1 млн т.

В геологическом строении Красноленинского нефтегазоносного района принимают участие комплексы пород от докембрийских до четвертичных включительно.

Во втором разделе приведены результаты исследования петрофизических свойств горных пород Баженовской свиты.

Основная толща пород баженовской свиты характеризуется низкими значениями открытой пористости (до 2%) и абсолютной газопроницаемости (до

0,1 мД). В разрезе баженовской свиты выделяются породы с относительно высокими фильтрационно-емкостными свойствами. Значения открытой пористости достигают 15%, значения абсолютной газопроницаемости — 60 мД. Эти породы представлены радиоляритами с разной степенью карбонатизации. Значения открытой пористости по керосину в некоторых случаях превышают значения открытой пористости по газу, что связано с растворением и вымыванием свободных углеводородов из порового пространства неочищенных (неэкстрагированных) образцов, содержание которых оценивается при пиролитических исследованиях.

Сравнение различных методик определения порового пространства в породах баженовской свиты показывает, что наиболее корректно определять значения коэффициента пористости на естественных образцах насыщением керосином. Расхождение пористости по керосину до и после экстракции связано с извлечением из породы битумов.

Разница между значениями коэффициента пористости соответствует объему породы, который заполняют неподвижные углеводороды, содержание которых оценивается при пиролитических исследованиях. Удельное электрическое сопротивление образцов очень высокое и зависит от содержания воды, связанной с глинистой составляющей матрикса и включениями слоистого пирита в породе.

В третьем разделе представлен анализ аварийных ситуаций произошедших на кусту скважин 427 Пальяновской площади Красноленинского месторождения и причины этих аварий.

Ниже приведены основные выводы, сделанные на основании анализа:

1. За 2019 – 2022 гг. средний объем поглощения сократился более чем в 5 раз, начальная интенсивность поглощения сократилась более чем в 4 раза.
2. За время работы на месторождении для борьбы с поглощением и его предупреждения были использованы различные наполнители, различного фракционного состава, были испытаны специальные реагенты и технологии.
3. Объем поглощения за скважину:

а. увеличивается с ростом времени строительства скважины (в среднем на $6 \text{ м}^3/\text{скв}$ при увеличении времени строительства на 1 сутки);

б. увеличивается при увеличении начальной интенсивности поглощения (в среднем на $5 \text{ м}^3/\text{скв}$ при увеличении начальной интенсивности поглощения на 1 м^3);

с. увеличивается при увеличении отхода от вертикали (увеличении отхода от вертикали на 500 м средний объем поглощения увеличивается на 40 м^3);

д. снижается с увеличением плотности бурового раствора (увеличение плотности на каждые $0,01 \text{ г/см}^3$ приводит к сокращению потерь раствора в скважине на $4 \text{ м}^3/\text{скв}$);

е. снижается при увеличении концентрации мела в растворе (объем потерь бурового раствора в скважине сокращается на $14 \text{ м}^3/\text{скв}$ при увеличении расхода мела на каждые 10 т);

4. Мел различного помола поразному воздействуют на интенсивность потерь раствора в скважине.

5. Мел размерностью 100-200 мкм не снижает объем поглощения в скважине.

6. Увеличение расхода мела помола 50-60 мкм на 10 т/скв приводит к сокращению объема поглощения на $23 \text{ м}^3/\text{скв}$.

7. Эффективность работы различных испытанных материалов по борьбе с поглощением различна.

8. Самым эффективным материалом борьбы с поглощением является KWIK SEAL. При равном расходе он обеспечивает снижение объема поглощения минимум в два раза эффективнее.

9. Эффективность разных марок KWIK SEAL различна, самой эффективной маркой является KWIK SEAL MEDIUM, что подтверждается текущей практикой применения.

10. На месторождении было испытано несколько технологий ликвидации поглощений. Из них два метода нашли самое широкое распространение.

11. Прокачка кольматационных пачек через компоновку низа колонны является самой распространенной технологией ликвидации поглощения. Ее применение позволяет значительно снизить начальные интенсивности поглощения бурового раствора во время бурения интервала Абалакской свиты.

12. Продавка пачки при закрытом противовыбросовое оборудование очень эффективный метод борьбы с поглощением. Он позволяет полностью ликвидировать довольно существенные интенсивности поглощения.

13. Для надежной ликвидации поглощения и сокращения общего объема потерь раствора в скважине применяется комбинация методов периодической прокачки кольматационных пачек во время бурения Абалакской свиты и продавка пачки под давлением после окончания бурения. Эта комбинация позволяет ограничить объем поглощения на уровне 50 м³ за скважину.

14. Технология обработки раствора кольматантами применяется только совместно с другими технологиями ликвидации поглощения.

15. Другие методы борьбы с поглощением по причине более сложной и дорогой технологии реализации не нашли своего применения на месторождении.

16. Особенность трещин на Пальяновском лицензионном участке состоит в том, что они способны раскрыться спустя определенное время после первичного вскрытия при любых колебаниях давлений в стволе скважины.

В четвертом разделе разработаны автоматизированные системы анализа бурового раствора и шлама.

Сегодня, как и много десятилетий назад, качественные характеристики буровых растворов измеряются путем точечных измерений, выполняемых вручную. Средние интервалы между измерениями составляют несколько часов, и зачастую они проводятся спорадически. Причина заключается в

определенной сложности и длительности процедуры ручных измерений. При такой практике всегда присутствует опасность возникновения скважинных осложнений.

Попытки автоматизации измерения плотности бурового раствора предпринимались много лет назад, но промышленного внедрения они не нашли. Это связано со сложной конструкцией оборудования и отсутствием возможности измерять плотность бурового раствора в нагнетательной линии, поскольку оборудование предназначалось для установки в возвратном желобе системы циркуляции бурового раствора.

Анализ публикаций показал, что в силу сложности и большого разнообразия промысловых жидкостей по назначению, составу, физико-химическим свойствам, а также высокой степени их самопроизвольной изменчивости использование автоматических плотномеров других отраслей промышленности сопряжено со многими проблемами. Сделан вывод, что задача автоматического непрерывного измерения плотности бурового раствора (а также ряда других показателей) может быть наиболее эффективно решена путем автоматизации традиционных ручных методов измерений.

Это будет включать следующие преимущества:

- эффективность и универсальность доказанная временем;
- в отличие от физических методов (реализуемых электромагнитными, акустическими, термическими и другими датчиками) традиционные методы не подвержены физическим помехам;
- использование традиционных методов способствует непрерывности существующей технологии бурения.

Основным недостатком традиционных методов является тот факт, что они реализуются только вручную путем однократных измерений, что делает невозможным непрерывный мониторинг.

Автоматизация традиционных ручных методов позволит:

- установить четкую периодичность измерений с сокращением заданного периода до требуемого минимума;

– сократить время, необходимое для процедуры измерения за счет исключения подготовительных и заключительных операций, таких как подготовка измерительных приборов, отбор пробы бурового раствора, промывка прибора после измерения, регистрация данных на носителе и тому подобное;

– повысить точность измерений за счет четкой автоматической фиксации границ между последовательными операциями и устранения субъективных погрешностей, вызванных человеческим фактором;

– использовать сигнализацию при несоответствии параметров;

– получить электрический измерительный сигнал с последующим его преобразованием в цифровую форму и возможностью отражения на мониторе;

– записать в память данные измерений бурового раствора во временной последовательности с возможностью их извлечения при возникновении необходимости;

– включить сигналы измерения бурового раствора в системы автоматического управления процессом бурения.

В целях автоматизации ручных методов измерения добавляется ряд новых элементов.

Среди них наиболее важными являются:

– Поворотный вал;

– Органы его управления;

– Датчики преобразования измеряемой величины в электрический сигнал;

– Аналого-цифровой преобразователь;

– Дисплей;

– Модуль памяти.

Процесс проведения геолого-технологических исследований давно претерпел процесс автоматизации, от наличия газового хроматографа с суммарным газоанализатором до станции полного контроля процесса строительства скважины. На сегодняшний день ключевые параметры процесса бурения, спуска обсадных колонн, спуско-подъемных операций и иных работ

отслеживаются посредством датчиков. Однако существует сегмент исследований, которые проводятся вручную, с применением химических реагентов и ручных средств измерения.

Целью исследования является автоматизация процессов анализа шлама с целью повышения точности данных, обеспечения непрерывности и охраны здоровья персонала.

Значимость исследования с научной точки зрения обусловлена полнотой картины состава шлама, поступающего в буровой раствор при строительстве скважины. Получаемые данные позволят оперативно интерпретировать литологию, а также определить зоны нефтегазоносности. Практическая же значимость заключается в исключении человеческого фактора при анализе шлама, что позволит предотвратить скважинные осложнения, или отследить характер уже возникших аварий и инцидентов.

Наиболее предпочтительным вариантом является установка системы анализа ниже линии сброса шлама. Вся система подвешена на цепи монтажной рамы, которая в свою очередь имеет виброгасящий материал в основании опорных ножек. Подвешение системы на цепи также создает дополнительное гашение вибрации. Часть шлама поступает через воронку на лоток сбора образцов. После попадания шлама на лоток и по мере его накапливания ведется анализ бурового шлама методом спектроскопии естественного гамма-излучения, что дает информацию о типе породы, в которой ведется бурение. Информация передается на блок управления и далее в станцию геолого-технологических исследований.

Механизм удаления основан на перемещении очистителя вдоль лотка сбора образцов. Привод очистителя выполнен в виде пневматического цилиндра. Очистка задается либо по набору соответствующего веса пробы образцов, либо по временному интервалу. Спектры гамма-излучения считываются по пробе, регистрируя изменение литологии и/или появление обвального шлама.

Детектор гамма-излучения содержит сцинтилляционный кристалл, который преобразует гамма лучи в световые импульсы, и связан с фотоумножителем для обнаружения фотонов, испускаемых сцинтилляционным кристаллом.

Легированный таллием кристалл иодида натрия является предпочтительным неорганическим сцинтилляционным кристаллическим материалом. Фотоумножитель может быть любым обычным фотоумножителем. По конфигурации фотоумножитель физически связан со сцинтилляционным кристаллом путем размещения конца сцинтилляционного кристалла в приемной части фотоумножителя и в контактном интерфейсе нанесена силиконовая смазка для уменьшения потери улавливаемых фотонов путем предотвращения отражения фотонов на контактном интерфейсе.

Фотоумножитель генерирует электрический сигнал от обнаруженных фотонов света, испускаемых сцинтилляционным кристаллом, который пропорционален энергии гамма-излучения, поглощенной в сцинтилляционном кристалле. Электрический сигнал, вырабатываемый фотоумножителем используется для генерации спектра гамма-излучения на котором построен анализ. Основание имеет экран детектора гамма-излучения. Экран детектора окружает детектор гамма-излучения таким образом, чтобы максимально подавлять сигналы гамма-излучения, испускаемые любыми источниками гамма-излучения в зоне размещения, за исключением образцов шлама в лотке для сбора образцов. Экран детектора выполнен из материала, имеющего высокую эффективность поглощения гамма-излучения за пределами гамма-излучения, испускаемого образцом шлама.

Таким образом достигнута цель написания выпускной квалификационной работы – установлено, что месторождение имеет большой потенциал для разработки и петрофизические свойства пород могут быть сложно или неверно интерпретируемыми при лабораторном анализе. Также для подобных разработок данное месторождение подойдет как хороший испытательный полигон.

Заключение. Выводы разделяются на две группы.

Первая группа – геологические:

1) Геомеханические особенности геологических образований имеют тесную связь с проявлением различных проблем бурения, включая потерю циркуляции и следовательно, оперативная диагностика геомеханических параметров может снизить вероятность появления различных проблем при бурении.

2) Разработка трудноизвлекаемых запасов Красноленинского месторождения рентабельна, т.к. установлено в работе, что при газонефтеводопроявлении на скважине 4276 помимо повышения газопоказаний в буровом растворе обнаружена нефть. Данный фактор говорит об успешности бурения скважин на баженовскую свиту с последующим многостадийным гидроразрывом пласта горизонтального участка.

3) Несмотря на изначально слабую вытяжку люминесцентно-битуминозного анализа и отсутствие газопоказаний в процессе бурения, именно газонефтеводопроявление, опережая другие методы опробования пласта, показало насыщенность пород Баженовской свиты нефтью на данном участке.

Вторая группа – технологические:

1) При бурении скважин необходимо устанавливать башмак кондуктора 245мм выше Ханты-Мансийской свиты, в Кузнецовскую или Уватскую свиту. Также имеет смысл бурить скважины 2-х колонной конструкции с удлиненным кондуктором 178мм и хвостовиком 127мм, с перекрытием Викуловской и Фроловской свит.

2) Системы малой автоматизации в бурении имеют широкий потенциал распространения, в частности они нужны для бурения юрских отложений на Пальяновской площади. Так как приближается период разработки трудноизвлекаемых запасов, а времени на долгосрочные и масштабные исследования уже нет, разведку придется проводить экспресс методами с извлечением поверхностных данных в реальном времени.