

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Тюменский нефтяной

научный центр» (ООО «ТННЦ»),

кандидат технических наук



Андрей Владимирович Аржилловский

«20» января 2023 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации – ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
ПАО НК «Роснефть», г. Тюмень на диссертационную работу

Москаленко Натальи Юрьевны

на тему: **«ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ И НАСЫЩЕННОСТИ
КОЛЛЕКТОРОВ СЕНОМАНА ПО КОМПЛЕКСУ КЕРН-ГИС НА
ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ИССЛЕДОВАНИЯ СЛАБОСЦЕМЕНТИРОВАННОГО КЕРНА»**,

представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-
минералогических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена значимостью объекта исследований. В пределах сеноманского комплекса на территории Западной Сибири выявлены десятки уникальных и гигантских месторождений газа и нефти, таких как Уренгойское, Медвежье, Ямбургское, Вынгапуровское, Мессояхское, Находкинское, Русское и др.

Главной особенностью пород сеномана является их слабая цементация, которая создает значительные трудности при отборе и изучении керна, проявляющиеся в том, что различные лаборатории (организации) применяют модификации уже существующих стандартных методик исследования керна либо разрабатывают самостоятельные технологические подходы. Задача по унификации результатов различных методик является актуальной для целей контроля и верификации, особенно для объектов, находящихся на стадии геологоразведочных работ.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Текст изложен на 157 страницах машинописного текста, иллюстрирован 11 таблицами и 80 рисунками; список литературы включает 218 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, описаны цели, задачи, методы исследования, а также степень разработанности, научная новизна и практическая значимость результатов работы.

В первой главе «Геолого-геофизическая характеристика сеноманских отложений и механизма уплотнения» приведены сведения о районе работ, проанализированы фильтрационно-емкостные свойства пластов ПК₁₋₃ и их связь с гранулометрическими характеристиками и уплотнением пород. Описано развитие законов уплотнения, установлены основные факторы, определяющие слабую сцементированность пород сеноманского возраста.

Приведены основные результаты: на основе приведенного анализа фактических данных по Большехетской зоне месторождений установлено, что литолого-петрофизическая характеристика пластов ПК₁₋₃ покурской свиты сеноманского возраста и геологические условия их формирования принципиально не отличаются от характеристики этих отложений на территории Западной Сибири, с учетом вариации глубины залегания пород. Кроме того, установлено, что формирование слабосцементированных пород коллекторов пластов ПК₁₋₃ определяется тем, что соответствует начальной стадии диагенеза осадков и определяется законом нормального уплотнения пород под действием эффективных давлений, соответствующих глубинам залегания пород, а также слабой степенью цементации скелетной компоненты пород-коллекторов глинистым материалом, практическим отсутствием карбонатного материала.

Таким образом, анализ приведенных результатов исследований обосновывает первое защищаемое положение: установленные зависимости и характер нормального уплотнения терригенных осадочных пород сеноманского возраста рассматриваемого объекта (месторождений Большехетской зоны Западной Сибири) позволяют повысить достоверность оценок пористости, плотности и других петрофизических характеристик опорных пластов «чистых» песчаников и глин. Они обеспечивают возможность отбраковки аномальных результатов лабораторных определений, а также возможность построения моделей разрезов в виде зависимости геофизических и петрофизических параметров опорных пластов от глубины их залегания.

Во второй главе «Анализ и усовершенствование технологий отбора и изготовления образцов керна слабосцементированных пород» рассматривается анализ современных технологий отбора керна и технологий изготовления цилиндрических образцов слабосцементированных горных пород как в историческом аспекте, так и используемых в настоящее время. Представлены результаты использования изолирующих технологий отбора

керна, а также при отборе керна с применением РУО (РНО) с учетом известных ограничений этих технологий. Проведен анализ методических требований к порядку работ со слабосцементированным керном. Разработан алгоритм, который состоит из:

- учета влияния процедуры заморозки-оттаивания;
- учета влияния таких технологических операций, как экстракция, высушивание, насыщение водой, центрифугирование, давление обжима и др.

Выработаны критерии оценки качества результатов петрофизических исследований, основанные на контроле линейных размеров образцов на каждом этапе работ. Внедрение данной технологической операции позволило увеличить достоверность определения фильтрационно-емкостных свойств по данным керна.

Таким образом, на основе собственных экспериментов автора на образцах слабосцементированного керна сеноманских отложений и сцементированных образцов малохетской свиты сформулировано второе защищаемое положение: выявленное систематическое уменьшение объемов образцов рассматриваемых пород, происходящее при типовых операциях экстрагирования и высушивания образцов, приводит к значимому занижению пористости газоволюметрическим методом или при насыщении керосином в среднем на 1,5-2 %. Предложенная в диссертации операция контроля линейных размеров (объемов) образцов позволяет привести результаты определений пористости к исходному состоянию породы. Экспериментальное обоснование отсутствия изменения линейных размеров керна полностью и частично водонасыщенных слабосцементированных пород при низкотемпературной заморозке имеет принципиальное значение для практического применения этой технологии при отборе керна и его препарировании.

В третьей главе «Повышение достоверности определений фильтрационно-емкостных свойств и плотности слабосцементированных пород» отмечаются проблемы оценки достоверности результатов петрофизических исследований, выполняемых в настоящее время разными исполнителями. Рассмотрены обоснование отбраковки недостоверных данных и возможности учета (исключения) влияния искажающих факторов на определения ФЕС, с целью получения сопоставимых результатов при построении основных петрофизических характеристик и связей. Разработано петрофизическое обеспечение определения коэффициентов пористости, проницаемости и остаточной водонасыщенности. Проведен обзор действующих методик определения ФЕС.

Таким образом, на основе исследований, изложенных в главе, обоснованы критерии оценки качества результатов выполненных исторических исследований, способы приведения их к единым условиям измерений. Кроме того, обоснованы предложения по усовершенствованию технологии петрофизических исследований керна слабосцементированных пород,

содержащиеся в третьем защищаемом положении: обеспечении сохранности и механической целостности образцов путем исключения и замены или модификации операций, способных вызвать необратимые деформации образцов. В совокупности с разработанными методиками введения поправок за обратимые деформации она позволяет привести результаты измерений емкостных свойств и плотности к исходному, не нарушенному техногенным воздействием, состоянию образцов, а также осуществить отбраковку недостоверных данных.

Четвертая глава «Повышение информативности и достоверности результатов исследований удельного электрического сопротивления коллекторов сеномана» посвящена вопросу изучения и усовершенствования традиционной методики с использованием петрофизических зависимостей вида $R_p=f(K_p)$ и $R_n=f(K_v)$, а также методики определения объемной водонасыщенности по зависимостям вида «ГИС-керна». Анализ новой геолого-промысловой информации позволил установить, что наиболее существенными источниками искажений полученных зависимостей являются особенности условий измерений: конструкция измерительных электродов, влияние их контактного сопротивления и давление прижима электродов к образцу, влияющие разнонаправленно.

Таким образом, анализ результатов петрофизических исследований керна слабосцементированных пород и технологий исследований выявил существенные искажения качества определений УЭС в рамках применяемых технологий лабораторных исследований. Выявлена и обоснована необходимость исключения влияния таких искажающих факторов, как нарушения формы и размеров образцов в процессе их подготовки и проведения измерений УЭС, влияние конструкции электродов и контактного сопротивления, методов моделирования частичной водонасыщенности пород.

По результатам выполненной работы для оценки насыщенности слабосцементированных пород коллекторов сеномана рекомендуется применение методики, основанной на сопоставлении объемной водонасыщенности по изолированному керну с УЭС по данным ГИС. Обоснованы предложения по усовершенствованию технологии определения удельных электрических сопротивлений и оценки насыщенности, являющиеся составной частью третьего защищаемого положения.

Итогом являются предложения по усовершенствованию технологий исследования керна в части измерения фильтрационно-емкостных свойств и удельного электрического сопротивления пород, а также созданная на этой основе авторская модель для оценки подсчетных параметров, позволяющая прогнозировать состав притока пласта ПК₁₋₃ в пределах месторождений Большехетской зоны, рассчитывать кривые фазовых проницаемостей различных литолого-структурных типов коллекторов, с учетом особенностей слабосцементированных пород-коллекторов, для создания гидродинамических моделей залежей.

В заключении представлены основные результаты, полученные при решении поставленных задач и рекомендации дальнейших исследований. Основной рекомендацией, вытекающей из данной работы, является необходимость системного подхода к работе с керном слабосцементированных горных пород и создания, с этой целью, документа, регламентирующего все этапы.

Анализ содержания текста диссертации позволяет сделать вывод о том, что рассматриваемая работа представляет собой комплексное исследование со значительным вкладом автора.

Степень достоверности и апробация результатов работы подтверждается данными лабораторных исследований керна пяти месторождений, материалами опробований и испытаний пластов, гидродинамическими исследованиями скважин. Предложенные методики введения поправок в результаты определений ФЕС и удельных электрических сопротивлений (УЭС), а также методики отбраковки некондиционных данных реализованы при актуализации геолого-гидродинамических моделей двух месторождений Большехетской зоны в рамках работ ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг».

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях и форумах различного уровня. По теме диссертации опубликовано 15 печатных статей, в том числе 10 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и в международные системы цитирования (Web of Science и Scopus).

Научная новизна заключается в следующем:

1. Впервые, для песчано-глинистых пород неокомского возраста Большехетской зоны месторождений обоснованы константы соответствующих уравнений зависимостей пористости «чистых» песчаников и глин от глубины их залегания. Установлено, что характер этих зависимостей соответствует закону нормального уплотнения рассматриваемого типа пород. В соответствие с ним основным фактором, определяющим слабую сцементированность коллекторов сеноманского возраста, является приуроченность их к начальной стадии диагенеза, характеризуемой низкими значениями эффективного давления, температуры и невысокой глинистостью коллекторов, а также практическое отсутствие в них карбонатного цемента.

2. Впервые экспериментально установлено, что в результате операций экстракции и высушивания образцов пород сеноманского возраста происходят деформации «усыхания», приводящие к уменьшению объемов образцов в среднем на 2,5 % относительно исходного объема керна, извлеченного из скважины. Вследствие этого происходит занижение пористости на 1,5-2,0 %, в зависимости от глинистости пород, при определении ее методом гидростатического взвешивания при насыщении керосином и газовольметрическим методом.

Также впервые установлено, что при однократной низкотемпературной

заморозке керна слабосцементированных пород с помощью жидкого азота объем керна практически не изменяется, его деформации не превышают 0,2 %. Фильтрационно-емкостные свойства пород при этом сохраняются практически неизменными.

3. Обоснована необходимость учета вида и особенностей деформации образцов, по измерениям их размеров при каждой технологической операции лабораторных работ. Это условие в совокупности с разработанными методиками введения поправок в емкостные свойства и плотность образцов позволяет привести результаты измерений пористости, водонасыщенности и плотности к исходному, не нарушенному техногенным воздействием, состоянию образцов, а также осуществить отбраковку недостоверных данных, обусловленных влиянием необратимых деформаций керна. Оно легло в основу предложенной усовершенствованной технологии петрофизических исследований слабосцементированного керна.

Личный вклад Н.Ю. Москаленко очевиден в каждом основном положении диссертации. Экспериментальные исследования выполнены с личным участием автора, проанализировано 1376 образцов керна по 22 скважинам с общим метражом 706 метров, выполнена обработка данных ГИС по 34 разведочным скважинам в нефтенасыщенной части разреза.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что уточненные петрофизическая и флюидальная модели пород-коллекторов сеномана обеспечивают возможность повышения достоверности определений как исходных петрофизических данных, так и подсчетных параметров, определяемых по данным ГИС. А именно:

1. Экспериментально обоснована возможность применения технологий низкотемпературной заморозки керна слабосцементированных пород при изготовлении образцов для петрофизических исследований.

2. Установлено, что при низкотемпературной заморозке песчано-глинистых водонасыщенных пород жидким азотом объемные деформации их ничтожны, а значит фильтрационно-емкостные свойства и плотность пород остаются практически неизменными.

3. Экспериментально зафиксировано, что при операциях экстракции-высушивания рассматриваемых пород наблюдается значительное уменьшение их объемов. Это приводит к занижению пористости исследуемых образцов при определении ее как по данным газоволюметрического метода, так и насыщением керосином. При последующих насыщениях образцов пластовой водой происходит обратное явление: увеличение их объемов и соответствующее завышение пористости на 0,5-3 %, в зависимости от глинистости коллекторов.

4. Обоснованы способы приведения разнородных по исполнению «исторических» результатов петрофизических исследований к единым сопоставимым условиям (с учетом отбраковки данных). И способы приведения результатов лабораторных определений емкостных свойств и

плотности образцов к их исходному состоянию, не искаженному операциями экстракции-высушивания или насыщения образцов пластовой водой.

5. Предложена новая, усовершенствованная технология подготовки образцов слабосцементированного керна для исследований, петрофизических исследований ФЭС и УЭС.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Рассмотренные в диссертационном исследовании направления соответствуют паспорту специальности 1.6.9. «Геофизика», а именно п.13, 16, 20 и 24 в перечне:

- Лабораторное изучение физических свойств геологического вещества для решения геофизических задач. Теоретическое и экспериментальное изучение физических, деформационных и прочностных свойств горных пород. Физика деформирования и разрушения горных пород. Теория ядерно-геофизических методов изучения элементного состава горных пород (п. 13 в перечне направлений исследований);

- Методы обработки и интерпретации результатов измерения геофизических полей, в том числе применительно к геофизической разведке (п. 16 в перечне направлений исследований);

- Интегрированный анализ больших объёмов многомерной, многопараметровой и разнородной информации, включающей геофизические данные. (п. 20 в перечне направлений исследований);

- Теоретическое и экспериментальное исследование связей физических свойств горных пород с результатами измерения геофизических полей. Цифровая петрофизика, методы определения физических и фациальных характеристик по данным компьютерной томографии и комплекса лабораторных методов (п. 24 в перечне направлений исследований).

Замечания по диссертационной работе:

1. В разделе 1.2 диссертационной работы приведены результаты рентгеновской микротомографии для одного образца, до и после воздействия барической нагрузки, что недостаточно для однозначного утверждения об отсутствии неупругих деформаций для всех литотипов горных пород пласта ПК1-3.

2. Отмечается ограниченная выборка данных по измерению пористости в ТБУ (раздел 3.1).

3. В разделе 4.2 отсутствует сопоставление результатов измерения УЭС на образцах керна при различной водонасыщенности, полученные на индивидуальном капилляриметре в ТБУ.

4. В разделе 4.3 диссертационной работы детально рассмотрен аспект влияния условий моделирования остаточной водонасыщенности на результаты потоковых ОФП-экспериментов и эффективную проницаемость в частности. Однако, в данном разделе упущен момент, связанный с тем что замер текущей водонасыщенности происходит не прямым способом, а расчетным – через электрическую схему и уравнение Арчи-Дахнова. При этом

автор в разделе 4.2 описывает сложности и особенности, связанные с замерами УЭС слабо консолидированных пород. В связи с этим, возникает вопрос о необходимости модернизации процесса непрямого замера Кв при проведении ОФП-экспериментов.

Предлагаем автору, подготовить ответы на данные вопросы при защите диссертации.

Указанные замечания не затрагивают качество выполненных диссертантом исследований, не влияют на основные выводы по положениям, выносимым на защиту и носят рекомендательный характер.

Заключение о работе

Диссертация Москаленко Натальи Юрьевны «Повышение достоверности определения фильтрационно-емкостных свойств и насыщенности коллекторов сеномана по комплексу керн-ГИС на основе усовершенствованной технологии исследования слабосцементированного керна» является законченным трудом. Полученные автором научные и практические результаты могут явиться базой для создания всеобъемлющего руководящего документа, регламентирующего все этапы работы с керном слабосцементированных пород.

Автореферат соответствует содержанию полного текста диссертации.

Диссертационная работа Москаленко Натальи Юрьевны отвечает требованиям, предъявленным ВАК РФ к кандидатским диссертациям в соответствии с п. 9 (постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842) «Положения о присуждении ученых степеней» и ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика.

Отзыв обсуждали и приняли на расширенном заседании Экспертно-аналитического управления ООО «Тюменский нефтяной научный центр» ПАО НК «Роснефть», г. Тюмень. На заседании присутствовало 16 человек (из них: 3 – доктора наук и 8 –кандидатов наук), протокола № 2 от 14 декабря 2022 г.).

Даем согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

20.01.2023г

Старший эксперт, д.г-м.н.

Эксперт, к.г-м.н

Эксперт, к.г-м.н



С.Е. Агалаков

Я.И. Гильманов

Д.Б. Родивилов

Подписи С.Е. Агалакова, Я.И. Гильманова, Д.Б. Родивилова удостоверяю

Владимир Снегославов



С.В. Генералов
20.01.2023

Контактная информация:

Агалаков Сергей Евгеньевич

Ученая степень: Доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.12 – «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений»,
Должность: старший эксперт, Экспертно-аналитического управления;
ООО «Тюменский нефтяной научный центр»;
625000, г. Тюмень, ул. Осипенко, 79/1, телефон +7-963-455-18-66;
e-mail: seagalakov@tnnc.rosneft.ru

Гильманов Ян Ирекович

Ученая степень: Кандидат геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»;
Должность: Эксперт по петрофизическим исследованиям керна Группы по организации работы СИ
по исследованию керна и ПФ Центра исследований керна;
ООО «Тюменский нефтяной научный центр»;
625000, г. Тюмень, ул. Осипенко, 79/1, телефон +7-963-455-19-34;
e-mail: YIGilmanov@tnnc.rosneft.ru

Родивилов Данил Борисович

Ученая степень: Кандидат геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»;
Должность: Эксперт отдела геологии, управление по геологии и разработке нефтегазоконденсатных месторождений;
ООО «Тюменский нефтяной научный центр»;
625000, г. Тюмень, ул. Осипенко, 79/1, телефон +7-912-926-72-86;
e-mail: dvrodivilov@tnnc.rosneft.ru

