

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента 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**»

по специальности 1.6.9 – Геофизика

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

**Актуальность темы** исследований обусловлена тем, что огромные запасы газа, содержащегося в сеноманских отложениях, широко распространенных в северной части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, присутствуют в слабосцементированных песчано-алевритовых отложениях, для которых до настоящего времени не разработаны общепринятые единые нормативные документы, регламентирующие правила отбора, хранения и проведения комплекса петрофизических исследований.

### **Степень разработанности темы исследования**

Автором изучены многочисленные научно-исследовательские работы, посвященные литолого-петрофизическим исследованиям слабосцементированного керна представленные как публикациями в открытой печати, так и фондовыми работами, выполненными в научно-исследовательских отраслевых, академических институтах, высших учебных заведениях и малых предприятиях. Соискателем были проанализированы результаты применения новых, изолирующих технологий отбора керна, а также технологий низкотемпературной заморозки при изготовлении образцов для петрофизических исследований. После изучения собранной информации ею сделан вывод, что сохраняются разногласия в особенностях реализации технологий отбора и исследований керна слабосцементированных пород, а также оценке достоверности получаемых результатов, включая исторические данные, полученные в разное время.

### **Цель**

Целью диссертационной работы является повышение достоверности петрофизического обеспечения геологической интерпретации результатов геофизических исследований слабосцементированных пород сеноманского комплекса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

**Задачами**, стоящими перед соискателем, являются:

1. Исследование особенностей литолого-петрофизических и геологических условий формирования пород сеноманского комплекса месторождений Большехетской зоны и причин их слабой цементации.
2. Критический анализ и усовершенствование современных технологий препарирования, изготовления и петрофизических исследований образцов слабосцементированного керна.
3. Изучение влияния низкотемпературной заморозки, экстракции и высушивания на состояние (механическую сохранность, геометрическую форму) и фильтрационно-емкостные свойства образцов с целью усовершенствования технологии петрофизических исследований.
4. Анализ факторов, снижающих достоверность определений ФЕС, плотности, удельного электрического сопротивления образцов слабосцементированных пород по данным ГИС; обоснование критериев оценки качества результатов петрофизических исследований.

### **Объект и предмет исследования**

Объектом исследования соискателя являются слабосцементированные породы сеноманского возраста месторождений Большехетской зоны; предметом – технологии отбора и препарирования керна, подготовка образцов к исследованиям, а также факторы,

влияющие на качество результатов петрофизических исследований и достоверность обоснования подсчетных параметров по данным ГИС.

**Научная новизна** работы заключается:

1. Впервые, для песчано-глинистых пород неокомского возраста Большехетской зоны месторождений обоснованы константы в уравнениях, описывающих зависимости пористости «чистых» песчаников и глин от глубины их залегания. Установлено, что характер этих зависимостей соответствует закону нормального уплотнения рассматриваемого типа пород, в соответствии с которым, основным фактором, определяющим слабую сцементированность рассматриваемых коллекторов, является их приуроченность к начальной стадии диагенеза, характеризуемой низкими значениями эффективного давления, температуры и невысокой глинистостью коллекторов, а также практически полным отсутствием в них карбонатного цемента.

2. Впервые соискателем экспериментально установлено, что в результате экстракции и высушивания сеноманских образцов пород наблюдается их деформация и «усыхание», приводящие к уменьшению объемов образцов в среднем на 2,5% относительно их исходного объема. Вследствие этого происходит понижение пористости на 1,5-2,0%, в зависимости от глинистости пород, при определении её методом гидростатического взвешивания при насыщении керосином и газоволюметрическим методом.

Также впервые установлено, что при однократной низкотемпературной заморозке зерна слабосцементированных пород с помощью жидкого азота объем зерна практически не изменяется, его деформации не превышают +2%. ФЕС 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. При этом условии вместе 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 зерна, что легло в основу предложенной соискателем усовершенствованной технологии петрофизических исследований слабосцементированного зерна.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Соискателем установлено, что пористость и плотность пород пластов ПК1 приближенно соответствует условиям нормального уплотнения песчано-глинистых пород. Для них ею установлены зависимости и соответствующие константы уравнений нормального уплотнения глин и песчаников с глубиной, а также граничных значений пористости песчаников.

Ею установлено, что при однократной низкотемпературной «ударной» заморозке песчано-глинистых водонасыщенных пород жидким азотом объемные деформации ничтожны, ФЕС и плотность пород остаются практически неизменными. Ею также экспериментально обоснована возможность применения технологий низкотемпературной заморозки зерна слабосцементированных пород при изготовлении образцов для петрофизических исследований. Однако ею установлено, что при операциях экстракции-высушивания рассматриваемых пород наблюдается значительное уменьшение их объема, что приводит к понижению пористости исследуемых образцов. А при последующих насыщениях образцов пластовой водой происходит обратное явление – увеличение их объемов и соответствующее завышение пористости на 0,5-3,0%, в зависимости от глинистости коллекторов. Это объясняется соискателем, соответственно, дегидратацией (усыханием) глинистого цемента пород, тем более заметным, чем больше глинистость и содержание в ней набухающих глинистых минералов. Установленные ею особенности определения пористости пород-коллекторов являются основанием для анализа достоверности подсчетов запасов сеноманского комплекса Западной Сибири.

Соискателем обоснованы способы приведения разнородных исторических результатов петрофизических исследований к единым сопоставимым условиям (с учетом отбраковки данных). Предложены способы приведения результатов лабораторных определений емкостных свойств и плотности образцов к их исходному состоянию, не искаженному операциями экстракции-высушивания или насыщения образцов пластовой водой.

В соответствии с выявленными соискателем особенностями влияния различных факторов на состояние и свойства слабосцементированных пород, ею предложена новая, усовершенствованная технология петрофизических исследований. На основе полученных уточненных петрофизических и гидродинамических моделей ей удалось повысить достоверность определений как исходных петрофизических данных, так и подсчетных параметров, определяемых по данным ГИС. Результаты, полученные соискателем, были использованы при актуализации геолого-гидродинамических моделей в ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» и подсчете запасов ряда месторождений, расположенных на севере Западной Сибири.

Выводы и предложения, полученные соискателем, рекомендуются для использования недропользователями, осуществляющими свою деятельность как в пределах месторождений Большехетской зоны, так и на аналогичных объектах Севера Западной Сибири. Кроме того, по мнению соискателя, они могут использоваться в качестве основы для разработки единой стандартизированной технологии лабораторных петрофизических исследований слабосцементированного керна.

#### **Методология и методы исследования**

Решение поставленных задач соискателем решалось путем проведения комплексных исследований керна, анализа используемых методик и результатов его литолого-петрофизических исследований, интерпретации данных ГИС, комплексного анализа перечисленных данных с построением и обоснованием петрофизических зависимостей типа «кern-кern» и «кern-ГИС».

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Установленные соискателем зависимости и характер уплотнения терригенных осадочных пород сеноманского возраста рассматриваемых объектов позволяют повысить достоверность оценок пористости, плотности и других петрофизических характеристик опорных пластов «чистых» песчаников и глин. По мнению соискателя, 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.

2. Установленное соискателем систематическое уменьшение объемов образцов изученных пород, происходящее при стандартных операциях экстрагирования и высушивания образцов, приводит к значительному занижению пористости газоволометрическим методом или при насыщении керосином в среднем на 1,5-2,0%. Предложенная соискателем операция контроля линейных размеров (объемов) образцов позволяет привести результаты определений пористости к исходному состоянию породы. По мнению соискателя, 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.

3. Предлагаемая соискателем усовершенствованная технология петрофизических исследований слабосцементированного керна основана на обеспечении сохранности и механической целостности образцов путем исключения и замены или совершенствовании операций, в результате которых возможна необратимая деформация образцов. Разработанная ею методика введения поправок, учитывающая необратимые деформации, позволяет привести результаты измерений емкостных и плотностных свойств к исходному состоянию образцов, а также провести отбраковку недостоверных данных. Это, по мнению

соискателя, обеспечивает повышение качества петрофизического обоснования интерпретации данных ГИС и улучшает сходимость результатов интерпретации с фактическими данными работы скважин.

#### **Степень достоверности и апробация результатов работы**

Соискателя подтверждается данными лабораторных исследований керна, отобранного на пяти месторождениях, материалами опробований и испытаний пластов и гидродинамическими исследованиями скважин. Предложенные соискателем методики введения поправок в результаты определений ФЕС и УЭС, а также методики отбраковки некондиционных данных реализованы при актуализации геолого-гидродинамических моделей двух месторождений Большехетской зоны. Методические разработки, подготовленные соискателем и использованные при обосновании подсчетных параметров Пяяхинского месторождения, одобрены экспертно-техническим советом ФБУ ГКЗ.

Основные результаты соискателя, приведенные в диссертации, докладывались на многочисленных, включая международные, конференциях.

#### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 15 статей, в том числе 10 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и международные системы цитирования (Web of Science и Scopus).

#### **Личный вклад**

Основу диссертации составили исследования, выполненные соискателем за время работы в ООО «Газпромнефть НТЦ», ООО «Кортест сервис» и филиале ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени в период с 2010 по 2021 гг. Все основные положения диссертации разработаны с личным участием соискателя, включая:

1) экспериментальные исследования линейных и объемных деформаций. ФЕС при низкотемпературной заморозке керна и после его оттаивания на коллекциях слабосцементированного керна (ПК<sub>1-3</sub>) и сцементированных пород пластов МХ<sub>1-9</sub>;

2) выполнена оценка линейных и объемных деформаций керна и соответствующих изменений пористости и плотности его при операциях экстракции-высушивания, а также насыщения водными растворами;

3) выполнена оценка качества и анализ результатов исследований керна (1376 образцов), выполненных в разных лабораториях;

4) исследовано влияние технологических особенностей измерения УЭС образцов слабосцементированных пород в атмосферных и термобарических условиях;

5) выполнена обработка данных ГИС по 34 разведочным скважинам в нефтенасыщенной части разреза.

#### **Фактический материал**

Решение поставленных задач осуществлялось соискателем путем обработки материалов ГИС группы месторождений Ямаотского района по 34 разведочным скважинам, вскрывшим пластов ПК<sub>1-3</sub>, часть из которых была пробурена на РВО, а другая – с применением РНО.

Соискателем использованы результаты петрофизических исследований, полученные в ТЦЛ «Главтюменьгеологии», АО «СибНИИ НП», ООО «Кортест сервис», НПЦ «Тверьгеофизика», ЗАО «Нефтеком», ООО «ТННЦ», ООО «НПЦ Тюменьгеофизика» и других. Соискателем лично выполнены эксперименты в ООО «Кортест сервис», в ФГБОУ ВО «ТюмГУ».

При проведении исследований соискателем был использован керн, отобранный из разрезов 22 скважин, общий метраж которого по пласту ПК<sub>1-3</sub> составил 706 м, из них 582 м керна были исследованы с применением технологии заморозки в жидком азоте, а 124 м – в естественном состоянии. По двум скважинам со 100% выносом керна ею были выполнены специальные исследования керна в незамороженном состоянии, затем в цикле «заморозка-оттаивание». Всего соискателем были проанализированы результаты стандартных исследований 1376 образцов керна. Кроме того, ею были использованы выборки данных из

82 потоковых экспериментов и из 96 опытов по изучению капиллярных характеристик горных пород разными способами (центрифугирование, капилляриметр).

#### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Область рассматриваемого диссертационного исследования включает в себя изучение особенностей литологического состава и ФЕС слабосцементированных пород сеноманского возраста (пласт ПК<sub>1-3</sub>), а также технологий проведения экспериментов на керне для таких коллекторов.

Указанные направления соответствуют паспорту специальности 1.6.8. «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 объемов 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).

#### **Структура и объем работы**

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

После прочтения диссертации и автореферата к содержанию диссертации имеются следующие **замечания, пояснения и предложения**:

#### **Список замечаний:**

1. На стр. 30 соискатель утверждает, что «...Для сеноманских отложений Западной Сибири тектонические условия их формирования можно считать идеальными (скорость погружения осадка монотонна, горизонтальные напряжения равны нулю).» На самом деле тектоника в этом районе очень активно влияет на формирование зон сжатия и растяжения. В последних формируются очень рыхлые пористые участки в песчаниках. В эти участки по сформировавшимся субвертикальным трещинам проникают гидротермальные флюиды, растворяя неустойчивые минералы и образуя более устойчивые (кварц, альбит, каолинит, иллит и др.).

2. На той же 31 странице соискателем обсуждается возможность разрушения пород-коллекторов под действием внедрения в них газовых потоков. То есть предполагается внедрение ювенильных газов, включая и гидротермы? Дело в том, что газ, заполняя поровое пространство в песчаниках, способствует возникновению значительной по величине силы Архимеда, которая препятствует уплотнению песчаников. Более того, газонасыщенные пласты под действием этой силы стремятся «всплыть» вверх подобно участкам, сложенным солью.

3. На стр. 81 уменьшение объема образцов при экстракции и высушивании перед определением их пористости по гелию соискателем объясняется их «усушкой», однако не следует также забывать, что определение пористости по жидкости проводится при атмосферном давлении, а по гелию – при всестороннем давлении (обжиге, чтобы газ не

«проскакивал» на границе образца и манжеты). Поскольку сеноманские песчаники «рыхлые» и обладают определенной величиной сжимаемости, то при их обжиге происходит их дополнительное уплотнение, а значит и уменьшение их пористости.

4. На стр. 83 соискателем утверждается, что Кп по газу больше, чем по керосину, однако не дается объяснение этому факту.

5. Утверждение соискателя, на стр. 85, что «Тренд увеличения показаний плотности со снижением пористости обусловлен увеличением карбонатного материала, ... с повышением содержания гидрослюдных и хлоритовых глин», нельзя признать корректным. Фундаментальная связь пористость-плотность обусловлена в первую очередь изменением пористости при условии однородного (желательно мономиктного) вещественного или минерального состава. Если же, например, в песчанике помимо кварца и полевых шпатов, обладающих близкой минеральной плотностью, появляются карбонаты или пирит, характеризующиеся высокой минеральной плотностью или, наоборот, растительный детрит или включения углей, имеющих низкую плотность, то для таких пород следует строить свои (индивидуальные) зависимости пористость-плотность. В противном случае обсуждаемая зависимость превратится в некую тенденцию с низким коэффициентом корреляции.

6. На стр. 96 соискатель предлагает значения, полученные в условиях, моделирующих пластовые привести к атмосферным, а затем с помощью поправок опять к пластовым. Зачем это делать, если эти значения уже были получены в термобарических условиях?

7. На той же 96 стр. соискатель утверждает, что: «Значения коэффициентов пористости, определенной по «керосину», несколько превышают значения её «по гелию» ... а через строчку уже читаем: «В итоге суммарное занижение пористости по керосину в среднем может составлять 1.75%». Так все-таки пористость по «керосину» выше или ниже, чем «по гелию»?

Отмечаются неточности или неудачный стиль изложения диссертационного материала, что не является замечаниями к соискателю, однако они в некоторой степени затрудняют восприятие информации, содержащейся в работе. Ниже приводятся их примеры.

В тексте следует пояснять, о каких процентах (абсолютных или относительных) идёт речь, так как не всегда это можно понять самостоятельно. На стр. 19 утверждается, что «...зерна кварца и полевых шпатов не подвержены регенерации...», а на рис. 1.16б (внизу) и рис. 1.17б (в центре) видны явно регенерированные зерна обломочного кварца. На стр. 25 приведен снимок РЭМ (рис. 1.10), где дана характеристика порового пространства алевролита с карбонатно-глинистым цементом в виде шаровидных включений. Эту информацию (о составе этих включений) приходится принимать «на веру», а следовало бы привести результаты микронзондового анализа, которые позволили бы убедиться в этом. На стр. 26 приведен снимок РЭМ (рис. 1.11) на котором присутствуют кресттики, обозначенные цифрами, которые явно соответствуют местам, с которых с помощью микронзонда был осуществлен элементный анализ. Следовало бы привести его результаты, в противном случае трудно однозначно идентифицировать каолинит и иллит по внешнему виду этих образований. Рисунки 1.18 и 1.19 не информативны, так как непонятно, как можно определить степень сжатия порового пространства образцов и что означает разница до и после воздействия, то есть в чем она выражается на приведенных рисунках? На стр. 79 (рис. 3.1) нельзя признать удачными обозначения Кп <40...<24%, так как, например, и 36, и 32, и 28 и 24% меньше 40%. Следовало указать более конкретные интервалы изменения пористости для построенных зависимостей, например, 35-40%, 35-30%...24-20%... Связь, представленная на рис. 3.10 не является значимой ( $R^2 = 0.4$ ), поэтому ей не следует пользоваться.

### Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа *Москаленко Натальи Юрьевны* на тему *«Повышение достоверности определения фильтрационно-емкостных свойств и насыщенности коллекторов сеномана по комплексу керн-ГИС на основе усовершенствованной технологии исследования слабощементированного керна»* представляет собой самостоятельную, завершённую научно-исследовательскую работу, обладающую актуальностью и научной новизной. Достоверность результатов научного исследования, полученных соискателем, не вызывает сомнения. Основные положения и выводы обоснованы результатами практических исследований.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации, а публикации автора отражают все положения, содержащиеся в диссертации.

Представленная к защите работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор *Москаленко Наталья Юрьевна* достойна присуждения искомой ученой степени *кандидата геолого-минералогических наук*.

Зубков Михаил Юрьевич

*Кандидат геолого-минералогических наук по специальности 25.00.12 – «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений», старший научный сотрудник ООО «Западно Сибирский Геологический Центр», г. Тюмень,*

*- почтовый адрес: 625002, г. Тюмень, ул. Сургутская, д. 11, корп. 4/9*

*- адрес электронной почты: sibgc@yandex.ru*

*- телефон: 8-(3452) 63-24-50*

*Я, Зубков Михаил Юрьевич, согласен на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.*

18 января 2023 г.

М.Ю. Зубков

*Подпись Зубкова М.Ю. заверяю.  
Зам.директора*

Зубкова Ю.А.

