

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата геолого-минералогических наук Белякова Евгения Олеговича на диссертационную работу Ракитина Евгения Андреевича на тему:

**«Методика определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью по данным геофизических исследований скважин (на примере отложений хамакинского горизонта нефтегазовых месторождений Республики Саха (Якутия))»,** представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

### *Актуальность темы диссертационного исследования*

Диссертационная работа Ракитина Е. А. посвящена вопросу разработки петрофизического обеспечения и методики определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью в отложениях хамакинского горизонта нефтегазовых месторождений Республики Саха (Якутия) по данным стандартного комплекса геофизических исследований скважин (ГИС). Основной проблемой при интерпретации результатов проведения ГИС, является учет влияния текстурного фактора, который интегрально влияет на показания геофизических методов в зависимости от их радиусов исследования. Традиционно, методики интерпретации ГИС настраиваются на результаты лабораторных определений параметров стандартных образцов керна (размеры которых порядка 3 см). При этом с позиции соотношения масштабов неоднородности минеральных зерен и размеров образцов, среду можно считать квазиоднородной. Это приводит к тому, что фильтрационно-емкостные свойства, полученные на выборке образцов керна, в среднем будут эквивалентны областям горных пород в радиусе исследования методами ГИС. В случае наличия текстурной неоднородности, указанное соответствие может не соблюдаться, поскольку фактор крупномасштабной по сравнению с минеральными зернами неоднородности может систематически влиять на величины ФЕС при переходе от размеров образцов к размерам прослоев, выделяемых по ГИС. Таким образом, при использовании традиционных подходов петрофизического обеспечения интерпретации ГИС возможны существенные погрешности при оценке интегральных параметров пластов. В связи с этим вопрос разработки петрофизического обеспечения и методик определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью является актуальной научной и практически значимой задачей.

### *Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций*

Основными факторами, определяющими сложное строение в структурно-текстурном отношении коллекторов хамакинского горизонта и широкий диапазон вариации их фильтрационно-емкостных и физических свойств, являются размерность порообразующих зерен, характер распределения и содержание цементирующего материала различного генезиса. По-

вышение достоверности интерпретации ГИС в таких отложениях связано с комплексным учетом влияния указанных факторов. Для решения этой задачи привлечена текстурно-компонентная модель, которая описывается уравнениями взаимосвязи петрофизических свойств, учитывающих трехкомпонентную текстурную неоднородность пород-коллекторов. С учетом существенных по величине объемов глинистых микропрослоев и карбонатно-ангидритовых включений, характерных для коллекторов хамакинского горизонта, такой подход можно считать обоснованным. Основные результаты, выводы и рекомендации диссертационной работы соответствуют защищаемым положениям.

***Достоверность, новизна и практическая значимость результатов***

***Достоверность результатов*** интерпретации ГИС по 67 поисково-разведочных и 230 эксплуатационных скважин Алинского, Восточно-Алинского и Северо-Талаканского месторождений подтверждена результатами опробования и испытания скважин, а также литолого-петрофизическими исследованиями кернового материала (проходкой 1950 м, со средним выносом 94 % и 3860 изученных образцов).

***Научная новизна*** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Выявлены закономерности изменения фильтрационно-емкостных свойств горных пород по разрезу и площади распространения хамакинского горизонта в зависимости от размерности зерен породообразующих минералов, характера распределения и содержания цементирующего материала различного генезиса.

2. Обоснована текстурно-компонентная модель коллекторов хамакинского горизонта, описывающая взаимосвязь содержания трех элементов неоднородности (песчаные прослои, глинистые прослои, карбонатно-ангидритовые включения) в коллекторе и их параметров.

3. Разработаны петрофизические модели пористости и удельного электрического сопротивления терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью, учитывающие разнонаправленное влияние элементов неоднородности на показания методов ГИС.

4. Разработана методика определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью в отложениях хамакинского горизонта.

***Практическая значимость*** работы заключается в разработке петрофизического обеспечения, которое позволило повысить достоверность интерпретации данных стандартного комплекса ГИС в разрезе хамакинского горизонта. Полученные автором наработки могут быть учтены при разработке петрофизических моделей аналогичных отложений с наличием трехкомпонентной текстурной неоднородности.

### *Краткий анализ содержания работы*

*В первой главе* автором рассмотрены основные особенности геологического строения терригенных пород-коллекторов месторождений углеводородов республики Саха (Якутия). Детализированы литолого-седиментологические особенности строения хамакинского горизонта а также постседиментационные эпигенетические преобразования горных пород. Отдельно проведен детальный анализ текстурных особенностей рассматриваемых отложений. Отмечается, что характерной особенностью геологического строения терригенных коллекторов хамакинского горизонта – является их высокая степень текстурной неоднородности, обусловленная сочетанием литолого-седиментационных факторов и проявлением постседиментационных эпигенетических преобразований осадочных горных пород слагаемых разрез. В песчаниках первичные осадочные текстуры связаны с неравномерным распределением линзочек, тонких слойков и прослоев аргиллитов толщиной от нескольких миллиметров до 20–30 см. Вторичные текстуры в рассматриваемых отложениях сформированы в результате проявления постседиментационных эпигенетических преобразований горных пород, с которыми связано образование включений и агрегатов очаговой или пятнистой формы. Пятнистая текстура формируется за счет неравномерного распределения полиминерального цементирующего материала в песчано-алевритовой матрице породы, который по составу представлен в основном карбонатами и ангидритом, а также присутствием галита.

*Во второй главе* автор проводит анализ результатов керновых исследований для целей петрофизического моделирования, который показал, что взаимосвязи физико-литологических параметров горных пород-коллекторов хамакинского горизонта определяются как текстурной, так и структурной неоднородностью. Показано, что разделение образцов горных пород хамакинского горизонта по характеру их текстурной неоднородности не позволяет выявить особо значимой закономерности между фильтрационно-емкостными свойствами и текстурной принадлежности образцов. Исключением является сопоставление пористости и водоудерживающей способности, в котором явно отражена зависимость содержания остаточной водонасыщенности от текстурной неоднородности образцов горных пород, наличие которой необходимо учитывать при определении коэффициента нефтегазонасыщенности по данным ГИС.

На наш взгляд, приведенное в данном разделе сопоставление пористости и объемной глинистости с разделением пород по текстурным особенностям на три группы, позволяет достаточно эффективно отделить группу однородных образцов и образцов с карбонатно-ангидритовыми прослоями от группы образцов с глинистыми прослоями по граничному значению коэффициента объемной глинистости  $K_{гг}$  в районе 10-12%. Данный факт достаточно убедительно свидетельствует, что вторичные преобразования происходили преимущественно в изначально однородных по текстуре интервалах. Анализ сопоставления содержания цемента

и коэффициента пористости для однородных образцов наглядно демонстрирует, что глинистость песчаных прослоев в основном не превышает 12%. Дальнейшее увеличение содержания цементирующего материала связано с вторичными минералами. Очевидно, что локализация групп точек с диапазонами содержания вторичных минералов Квт.м 10-20%, 20-30% и >30% в аналогичном диапазоне объемного содержания цемента Кц на рассматриваемом сопоставлении свидетельствует о том, что вторичные процессы цементации наиболее вероятно проходили в относительно слабоглинистых разностях со скелетной пористостью Кпск более 20%.

Таким образом, проведенный автором анализ взаимоотношений структурных параметров и фильтрационно-емкостных свойств позволил установить существенные факторы, по которым унаследована тенденция как улучшения, так ухудшения фильтрационно-емкостных свойств горных пород. Автором отмечается, что исходными определяющими параметрами для текстурно-однородных пород и песчаных прослоев микрослоистых разностей являются гранулометрические характеристики породы. Однако, в интервалах с изначально высокими значениями скелетной пористости Кпск (которая, по сути, определяется соотношением содержания зерен песчаной и алевритовой размерности) при относительно низких величинах объемной глинистости Кгл (т.е. по факту это аномально высокопористые интервалы) интенсивно протекающие постседиментационные процессы привели к залечиванию части порового пространства вторичными минералами. Очевидно, что коллекторские свойства таких пород существенным образом зависят от локализации зон вторичного минералообразования – повсеместного или очагового. В последнем случае, несмотря на пониженные значения коэффициента пористости породы, ее фильтрационные характеристики могут быть существенно лучше по сравнению с аналогичными по пористости разностями без вторичных процессов. Стоит отметить, что аналогичная тенденция характерна для большинства терригенных отложений в Западной и Восточной Сибири. При этом форма распределения вторичных минералов, формирование конкреций (пятен) или же их относительно равномерное распределение в поровом пространстве пород обусловлено множеством факторов, таких как: исходный минеральный состав твердой фазы, исходные фильтрационно-емкостные свойства, химический состав пластовой воды, термобарические условия, интенсивность протекания вторичных процессов и т.д.

В этом же разделе автор анализирует зависимость объемной плотности от коэффициента пористости. Отмечается довольно широкое варьирование плотности минеральной матрицы от 2.5 г/см<sup>3</sup> до 2.75 и выше г/см<sup>3</sup>. Среднее значение плотности минеральной матрицы близко к плотности кварца 2.65 г/см<sup>3</sup>. Повышенные значения плотности минеральной матрицы объясняются наличием карбонатов и ангидрита. При этом причины пониженных значений плотности твердой фазы в работе не проанализированы. Относительно широкое варьирование плот-

ности минеральной матрицы не позволяет использовать результаты только лишь одного Гамма-Гамма плотностного каротажа (ГГК-п) для надежного прогноза коэффициента пористости рассматриваемых отложений, с чем можно согласиться. Аналогичный вывод делается и для акустического каротажа (АК), хотя соответствующий анализ в работе не приводится. В итоге, автором делается заключение о том, что для определения коэффициента пористости по пластопересечениям, выделяемым по разрезу хамакинского горизонта, необходимо комплексирование методов ГИС на пористость и глинистость, например, нейтронный (НК) и гамма-каротаж (ГК), показания которых практически не зависят от структурно-текстурных особенностей горных пород. Не оспаривая данное заключение, хочется отметить, что для полноты картины в работе не хватает анализа возможностей комплексирования ГГК-п(плотность) и НК(водородосодержание), который можно было бы провести по результатам керновых определений соответствующих параметров.

*В третьей главе* описана процедура построения петрофизической модели рассматриваемых пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью. Автором кратко освещены основные вопросы, связанные с построением петрофизических моделей текстурно-неоднородных коллекторов и определения их параметров, сформирована текстурно-компонентная модель коллекторов хамакинского горизонта, описывающая взаимосвязь содержания трех элементов неоднородности (песчаные прослои, глинистые прослои, карбонатно-ангидритовые включения) в коллекторе и их параметров. Определение параметров петрофизической модели проводилось на основе результатов лабораторных исследований и фотографий полноразмерного керна, насыщенного углеводородами. Проведен анализ соотношения содержания элементов неоднородности в горных породах хамакинского горизонта с размерами объектов их исследования (образцы керна, геофизический слой). Для прогноза доли глинистых прослоев и карбонатно-ангидритовых включений автором предлагается использовать нормированные значения АК и ГК а также плотность по ГГК-п. За рамками анализа остался вопрос возможности привлечения результатов нейтронного каротажа НК. При этом, также стоит отметить, что хотя автор и рассматривает процедуру настройки комплексной трехкомпонентной модели, по факту величины слоистой глинистости  $\chi_{гг}$  и объемы карбонатно-ангидритовых включений  $\chi_{пл}$  определяются независимо друг от друга на основе эмпирических зависимостей типа «керна-ГИС». В целом, можно говорить о практической значимости такого подхода, однако в рамках научного исследования представляет интерес изучение возможностей недетерминированных подходов, позволяющих оптимизировать решения исходя из варьирования объемов всей исходной информации с анализом информативности результатов при различных сочетаниях тех или иных входных параметров. Современные средства вычислений предоставляют для реализации таких процедур массу инструментов.

В этой же главе автором предложен способ расчета истинного значения удельного электрического сопротивления песчаного прослоя для терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью. По факту способ комбинирует два ранее известных варианта расчета электропроводности неоднородных систем, один из которых был получен В. А. Ефимовым на основе теории эффективных сред, а другой представляет собой выражение для параллельно включенных проводников. В целом, с таким подходом можно согласиться, однако в работе отсутствует анализ неопределенностей получаемых оценок, на основании которых можно было бы судить о возможных ошибках в определении УЭС песчаных прослоев при использовании такого подхода.

*В четвертой главе* автором исследован вопрос неоднозначности выделения коллекторов в текстурно-неоднородном разрезе отложений хамакинского горизонта, для достоверного решения которого предлагается проводить оценку качества вскрытого коллектора путем расчета содержания доли непроницаемых прослоев и включений и пористости песчаных прослоев. В условиях текстурно-неоднородного разреза хамакинского горизонта выделение коллекторов предлагается проводить на основе количественного критерия по величине пористости (интегральной пористости слоя), граничное значение которой для текстурно-неоднородного коллектора зависит от содержания в коллекторе непроницаемых прослоев и включений и пористости песчаных прослоев. Граничное значение песчаных прослоев обосновано стандартным «петрофизическим» способом на однородных образцах керна и в среднем составило 6%. Граничное значение для пород неоднородной текстуры определяется на основании соответствующего выражения для оценки пористости таких разностей с учетом граничного значения пористости песчаных прослоев  $K_{\text{песч}}=6\%$ , и объемных долей глинистых микропрослоев и карбонатно-ангидритовых включений. Автором показано, что получаемые граничные отсечки коэффициента пористости в целом согласуются с результатами испытаний приточных и неприточных интервалов.

На основе эмпирического подхода автор обосновал петрофизическую зависимость типа «кern–ГИС» для определения интегральной пористости пластопересечения, выделяемого по кривым методов ГИС в разрезе терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью. Целевой функцией зависимости «кern–ГИС» являются параметры песчаного прослоя по керну, скорректированные за влияние непроницаемых текстурных компонент на слой в целом. Разработан и апробирован алгоритм расчета коэффициента нефтегазонасыщенности песчаной компоненты, достоверность которого оценена сопоставлением с прямыми его определениями на керне. Показано, что в зависимости от соотношения содержаний глинистых и карбонатно-ангидритовых прослоев истинное значение коэффициента нефтегазонасыщенности пластопересечения, выделяемого по ГИС, может либо завышаться, либо за-

нижаться. Оценку характера насыщенности коллекторов в разрезе текстурно-неоднородных горных пород хамакинского горизонта и прогнозирования состава возможного притока при их опробовании автором предлагается проводить по установленным на фактическом материале ядра зависимости граничных значений коэффициента водонасыщенности от коэффициента пористости и экспресс-методике, предназначенной для выделения газонасыщенных интервалов горных пород-коллекторов.

#### ***Фактический материал и методы исследований***

Разработанное в диссертационной работе петрофизическое обеспечение и предложенная методика определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью по данным ГИС основаны на результатах обработки и интерпретации данных геофизических методов исследований 67 поисково-разведочных и 230 эксплуатационных скважин Алинского, Восточно-Алинского, Северо-Талаканского месторождений. В процессе разработки методик привлекались результаты опробования и испытания скважин, а также литолого-петрофизические исследования ядрового материала общей проходкой 1950 м, со средним выносом 94% из которого было отобрано и изучено 3860 образцов.

В процессе выполнения работы привлекались современные методики и подходы, как правило, реализуемые при методическом обеспечении интерпретации ГИС, проводимой при подсчетах и пересчетах запасов углеводородов.

#### ***Личный вклад соискателя в диссертационную работу***

Автором выполнен сбор и анализ петрофизических материалов по скважинам 4 месторождений, на которых развит продуктивный хамакинский горизонт. Выявлены характерные структурно-текстурные особенности, учет которых при петрофизическом моделировании позволяет повысить достоверность интерпретации ГИС в изучаемых отложениях. Построена текстурно-компонентная петрофизическая модель и обоснованы эмпирические связи типа «ядро-ядро» и «ядро-ГИС» позволяющие производить расчеты объемного содержания глинистых прослоев и карбонатно-ангидритовых включений, коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности текстурно-неоднородного слоя коллектора и его песчаной компоненты. Разработана методика геологической интерпретации геофизических методов исследований скважин в отложениях хамакинского горизонта для решения задач выделения коллекторов, оценки характера насыщенности и определения подсчетных параметров.

#### ***Апробация работы***

Результаты проведенных исследований и основные положения диссертации докладывались на 5 научно-практических конференциях. Разработанная методика определения коэффициента пористости и нефтегазонасыщенности пород-коллекторов с трехкомпонентной тек-

стурной неоднородностью была апробирована при подсчете запасов углеводородов Алинского, Восточно-Алинского, Северо-Талаканского и Ленского нефтегазовых месторождений, запасы которых утверждены комиссией по запасам полезных ископаемых в ФБУ ГКЗ РФ в 2016 и 2017 годах.

### ***Структура и объем работы***

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Текст диссертации изложен на 138 страницах, содержит 54 рисунка. Список литературы состоит из 102 наименований.

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

В соответствии с паспортом специальности 25.00.10 - «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» - в диссертационной работе должно содержаться решение задачи, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний. Диссертация охватывает направления актуальные для отрасли и содержит в себе решения научных задач, соответствующих следующим пунктам паспорта специальности 25.00.10.

Пункту 22 паспорта по части «Теоретическое и экспериментальное исследование связей петрофизических и физических свойств горных пород с результатами измерения геофизических полей» соответствует следующий результат исследования. Построена текстурно-компонентная петрофизическая модель и обоснованы эмпирические связи типа «кern-кern» и «кern-ГИС» позволяющие производить расчеты объемного содержания глинистых прослоев и карбонатно-ангидритовых включений, коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности текстурно-неоднородного слоя коллектора и его песчаной компоненты.

Пункту 23 паспорта по части «Теория, технические средства, технологии, методы сбора и интерпретации каротажной информации, геолого-технологических исследований скважин, геофизических методов исследования технического состояния скважин, вскрытия пластов в скважинах» соответствует следующий результат исследования. Разработана методика геологической интерпретации геофизических методов исследований скважин в отложениях хамакинского горизонта для решения задач выделения коллекторов, оценки характера насыщенности и определения подсчетных параметров.

Указанные пункты в соответствии с паспортом специальности 25.00.10 входят в отрасль наук – «Геолого-минералогические науки».

### ***Замечания и пожелания:***

1. Не рассмотрена возможность предварительной типизации разреза с выделением двух взаимоисключающих групп пород: 1 группа текстурно-однородные породы и породы с карбонатно-ангидритовыми включениями; 2 группа - «микрослоистые» породы, с последующим использованием для каждой группы индивидуальных моде-



лей двухкомпонентной текстурной неоднородности или же других альтернативных моделей описания подобных коллекторов.

2. Отсутствует анализ влияния на информативность результатов состава типового комплекса ГИС. Не проанализирована возможность повышения достоверности результатов за счет привлечения специальных геофизических методов.
3. В качестве пожелания автору рекомендуется обратить внимание на нетрадиционные методы решения поставленной задачи с использованием современных подходов обработки информации, реализуемых в настоящее время в нефтегазовой отрасли, например: метод опорных векторов (SVM), который применяется для типизация разрезов, оценки литотипов, прогноза подсчетных параметров; нейронные (в том числе рекуррентные) сети, использующиеся для задач классификации, предсказания подсчетных параметров резервуара и синтеза недостающих каротажей; спектральные методы (вейвлеты, преобразования Фурье и пр.) – определение литотипов, повышение эффективности анализа каротажей и т.д.

### *Заключение*

Автореферат диссертации полностью соответствует основному содержанию диссертационной работы.

По теме опубликовано 4 работы в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ.

В итоге выполненного диссертационного исследования поставленные автором задачи решены, цель работы достигнута.

Представленная диссертационная работа отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», как научно-квалификационная работа, в которой содержатся научно обоснованные методические и практические решения, позволяющие повысить достоверность петрофизического обеспечения геологического моделирования залежей углеводородов хамакинского горизонта нефтегазовых месторождений республики Саха (Якутия) с целью подсчета запасов углеводородного сырья.

Диссертационная работа Ракитина Евгения Андреевича на тему: «Методика определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью по данным геофизических исследований скважин (на примере отложений хамакинского горизонта нефтегазовых месторождений Республики Саха (Якутия))» представляет собой законченное научно-практическое исследование, соответствующее по своему содержанию, стилю изложения материала и качеству оформления требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор диссертационной работы заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» .

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

**Официальный оппонент**

Начальник Управления петрофизического моделирования  
и интерпретации ГИС Департамента геологической  
поддержки проектов ООО «Газпромнефть Научно-Технический  
Центр», к. г.-м. н

Е. О. Беляков

Подпись Е. О. Белякова заверяю

ВЕДУЩИЙ СПЕЦИАЛИСТ  
ОТДЕЛА КАДРОВОГО  
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ  
Е. А. НАЛЕТОВА



**Сведения об официальном оппоненте:**

Беляков Евгений Олегович

Начальник Управления петрофизического моделирования  
и интерпретации ГИС Департамента геологической  
поддержки проектов ООО «Газпромнефть Научно-Технический  
Центр», к. г.-м. н.

Адрес: 190005, Санкт-Петербург, ул. Набережная реки Мойки 77-79,

МФК «У Красного моста»

Тел.: 8 (911) 140-74-87

Адрес электронной почты: Belyakov.EO@gazpromneft-ntc.ru

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых