

На правах рукописи



**Ракитин Евгений Андреевич**

**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))**

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические  
методы поисков полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Тюмень – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет»

**Научный руководитель:** **Корнев Владимир Александрович**  
доктор геолого-минералогических наук,  
доцент ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

**Официальные оппоненты:** **Шнурман Игорь Гениевич**  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Кубанского государственного университета,  
главный геолог ООО «НК «ПриазовНефть»  
г. Краснодар

**Беляков Евгений Олегович**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
начальник управления петрофизического  
моделирования и интерпретации ГИС  
ООО «Газпромнефть Научно-Технический Центр»  
г. Санкт-Петербург

**Ведущая организация:** ООО «НОВАТЭК НТЦ» г. Тюмень

Защита состоится 21 февраля 2018 года в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.273.05 при Тюменском индустриальном университете по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 56, Институт геологии и нефтегазодобычи, аудитория 113.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечно-информационном центре ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72, и на сайте ТИУ [www.tyuiu.ru](http://www.tyuiu.ru).

Отзывы, заверенные печатью учреждения, в двух экземплярах просим направлять по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского 38, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.273.05. Факс: 8(3452) 39-03-46, e-mail: [semenovativ@tyuiu.ru](mailto:semenovativ@tyuiu.ru)

Автореферат разослан 13 января 2018 года.

**Ученый секретарь**  
диссертационного совета



Т.В. Семенова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Настоящий период освоения и развития крупной сырьевой базы углеводородов на территории Республики Саха (Якутия) характеризуется вовлечением в разработку залежей углеводородов с коллекторами сложного текстурного и структурного строения. К такому типу залежей относятся отложения хамакинского горизонта, с которым связаны большие перспективы поиска, разведки и добычи углеводородов.

Главной особенностью терригенных пород-коллекторов продуктивных отложений хамакинского горизонта является высокая степень текстурной неоднородности различного масштаба. Наблюдаемые на керне текстуры горных пород представлены как однородными песчаными разностями, так и неоднородными, которые осложнены тонкослоистым распределением глинистых прослоев и очаговыми карбонатно-ангидритовыми включениями постседиментационного эпигенетического происхождения, образовавшимися в результате заполнения пор песчано-алевролитовой матрицы горных пород вторичными минералами.

Основная сложность в изучении подобного типа коллекторов геофизическими методами исследования скважин (ГИС) состоит в том, что непроницаемые элементы неоднородности имеют размеры от десятых долей миллиметров до 20-25 см, а методы ГИС с небольшим вертикальным разрешением регистрируют интегральные характеристики. В результате получается, что на практике пластопересечения характеризуются параметрами ГИС, отражающими интегральные свойства текстурно-неоднородных горных пород, и керновыми определениями, которые, как правило, направлены на изучение свойств коллекторской части разреза и выполняются на однородных по текстуре образцах керна. Сопоставление параметров однородных образцов с усредненными параметрами ГИС (прямые зависимости типа «керна-ГИС») без учета текстурно-неоднородного строения рассматриваемых коллекторов, как правило, влечет за собой ряд существенных ошибок и погрешностей в

определении подсчетных параметров (коэффициента пористости и нефтегазонасыщенности) по данным ГИС.

В связи с этим вопрос разработки петрофизического обеспечения и методики определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью является актуальной научной и практически значимой задачей.

**Степень разработанности темы исследования.** Изучение текстурно-неоднородных коллекторов занимает одну из ключевых позиций в теории и практике интерпретации данных ГИС сложнопостроенных коллекторов нефти и газа. Значительный вклад в изучение двухкомпонентных сред сложнопостроенных коллекторов, представленных тонкослоистым переслаиванием песчаников и глин, включая разработку теоретических и практических основ интерпретации данных ГИС, разработку методов определения текстурных компонент и построения петрофизических моделей внесли работы таких отечественных исследователей, как А.В. Акиньшина, Д.А. Асташкина, Я.Н. Басина, Е.О. Белякова, Б.Ю. Вендельштейна, В.Н. Дахнова, Т.Ф. Дьяконовой, Б.Н. Еникеева, В.А. Ефимова, Б.И. Извекова, В.Г. Мамяшева, А.В. Мальшакова, В.И. Петерсилье, Е.Е. Полякова, Е.А. Романова, Р.А. Резванова, В.В. Семенова, Т.В. Соколовой, А.В. Хабарова, Г.А. Шнурмана и др. Опубликованных работ по описанию и оценке терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью практически не имеется, не считая работ, где ученые косвенно касаются решения данной проблемы. Соответственно, чтобы достичь эффективного изучения и освоения нефтегазовых залежей, связанных с подобными объектами, требуется разработка соответствующего петрофизического и методического обоснования геологической интерпретации материалов ГИС.

**Целью исследования** является разработка методики определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью по результатам комплексного изучения литолого-

петрофизических параметров по керну, интерпретации геофизических методов исследований скважин и промысловой информации.

**Основные задачи исследования:**

1. Изучить особенности геологического строения терригенных пород-коллекторов месторождений углеводородов Республики Саха (Якутия).

2. Описать влияние текстурной и структурной неоднородности горных пород хамакинского горизонта на их фильтрационно-емкостные и физические свойства.

3. Сформировать петрофизическую модель терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью и определить её параметры по данным исследований керна и показаниям методов ГИС.

4. Разработать методику определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью.

**Научная новизна:**

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 нефтегазовых месторождений Республики Саха (Якутия) по данным стандартного комплекса ГИС.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в разработке петрофизического обеспечения определения подсчетных параметров коллекторов хамакинского горизонта, учитывающего их трехкомпонентную текстурную неоднородность, и в повышение достоверности интерпретации данных стандартного комплекса геофизических методов исследований скважин.

**Методология и методы исследования.** Решение поставленных задач осуществлялось путем обработки и интерпретации данных геофизических методов исследований скважин с использованием результатов опробования и испытания скважин и литолого-петрофизических исследований кернового материала. В процессе работы использовались следующие методы исследования: обработка и интерпретация геолого-геофизической информации; обобщение и анализ проведенных ранее исследований текстурно-неоднородных коллекторов; построение петрофизических моделей емкостных и физических свойств; построение петрофизических зависимостей «кern-ГИС».

**Защищаемые положения:**

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

2. Текстурно-компонентная модель и уравнения взаимосвязи петрофизических свойств, учитывающие трехкомпонентную текстурную неоднородность терригенных пород-коллекторов, повышают достоверность интерпретации данных геофизических методов исследований скважин в отложениях хамакинского горизонта.

3. Методика определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью исключает систематические погрешности расчета коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности, обусловленные наличием текстурной неоднородности, и тем самым повышает точность оценки геологических запасов углеводородов в отложениях хамакинского горизонта.

**Степень достоверности и апробация работы.** Разработанное 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, данных результатов опробования и испытания скважин и литолого-петрофизических исследований керна материала (проходкой 1950 м, со средним выносом 94% и 3860 изученных образцов). Методика использована при подсчете запасов углеводородов в отложениях хамакинского горизонта указанных месторождений.

По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 4 статьи в ведущих реферируемых ВАК изданиях. Основные положения и результаты выполненных исследований обсуждались на XIV, XV, XVI конференциях молодых специалистов организаций, осуществляющих виды деятельности, связанные с пользованием участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (г. Ханты-Мансийск, 2014, 2015, 2016); всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии нефтегазовому региону» (г. Тюмень, 2014); IX, X научно-практических конференциях молодых ученых и специалистов «Салмановские чтения» (г. Тюмень, 2015, 2016); XI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (г. Москва, 2016); технической конференции SPE

«ПЕТРОФИЗИКА XXI: Навстречу новым вызовам» (г. Петергоф, 2016); VIII Всероссийском совещании «Эффективность геофизических методов при региональных и поисковых работах на нефть и газ» (г. Москва, 2017).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Содержание работы изложено на 138 страницах. Список литературы состоит из 102 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность выбранной темы, ставятся цель и задачи исследований, раскрывается научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы, формулируются положения, выносимые на защиту.

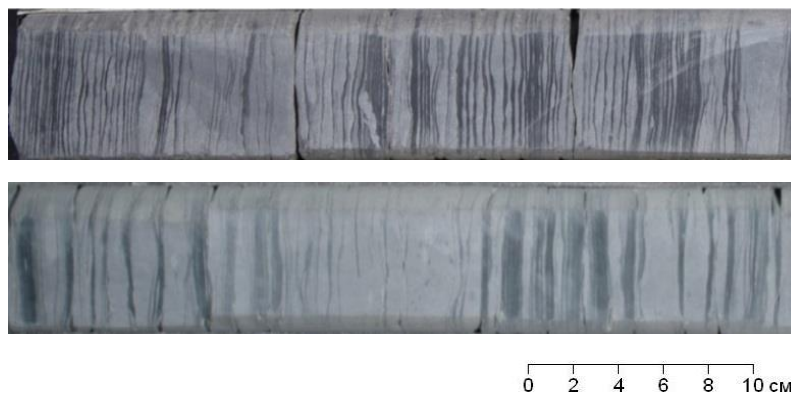
В **первой главе «Особенности геологического строения терригенных пород-коллекторов месторождений углеводородов Республики Саха (Якутия)»** анализируются особенности геологического строения терригенных отложений хамакинского горизонта, начиная от характеристики района их распространения и условий формирования, до изучения постседиментационных эпигенетических преобразований и текстурной неоднородности горных пород, слагающих разрез изучаемых отложений по образцам полноразмерного керна и шлифов.

Рассматриваемые горные породы-коллекторы хамакинского горизонта с точки зрения их условий формирования, геологического строения и широкой изменчивости ФЕС характеризуются как сложнопостроенные. Проведённый анализ опубликованных результатов исследований (А.С. Анциферова, Т.К. Баженовой, М.Н. Белозеровой, В.И. Вожова, Т.И. Гуровой, М.А. Жаркова, А.В. Ивановской, Е.С. Коновальцевой, М.В. Лебедева, Н.В. Мельникова, А.В. Мигурского, С.А. Моисеева, О.М. Мятчина, О.В. Постниковой, Б.В. Самсонова, В.С. Ситникова, А.М. Фомина, Л.С. Черновой, Г.Г. Шемина и др.), направленных на изучение закономерностей распределения и условий формирования терригенных отложений древнего комплекса венда на территории



участка недр Республики Саха (Якутия), позволил сделать вывод, что высокая вертикальная и латеральная неоднородность литологического состава и строения изучаемого горизонта возникла в результате сложных литолого-седиментационных условий формирования разреза и последующих стадий эпигенеза горных пород. Так, характерными признаками неоднородности терригенных пород-коллекторов хамакинского горизонта являются, с одной стороны, широкая изменчивость гранулометрического состава, обусловленная начально-трансгрессивным режимом осадконакопления, за счет чего разрез изучаемых отложений представлен неравномерным переслаиванием разнозернистых песчаников и тонкодисперсного глинистого материала, а с другой, вторичное минералообразование, проявившиеся с разной интенсивностью и по разному воздействовавшие на формирование и сохранение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) горных пород.

Неравномерное переслаивание песчаного и тонкодисперсного глинистого материала в геологическом строении коллекторов хамакинского горизонта на керне представлено параллельно-тонкослоистой и полого-волнистой, прослоями линзовидно-взмученной текстурой (рис. 1). Толщина слоев темно-серых аргиллитов приходится на интервал от нескольких миллиметров до 20-25 см.

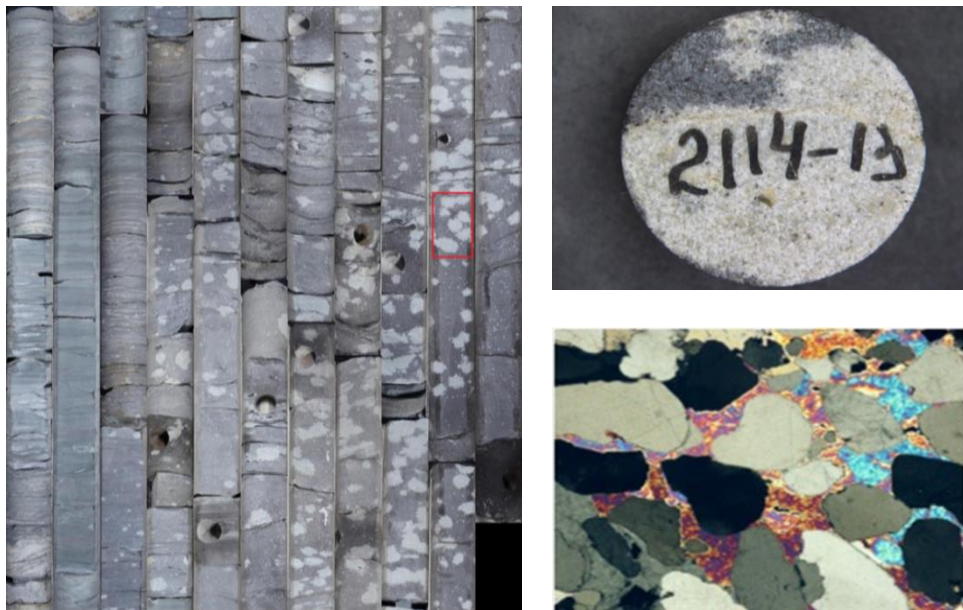


**Рисунок 1 – Примеры неравномерного переслаивания песчаных и глинистых прослоев по керну горных пород хамакинского горизонта**

Основными процессами постседиментационного эпигенетического преобразования горных пород отложений хамакинского горизонта являются: регенерация кварцевых зерен; выщелачивание полевого шпата; процессы

карбонатизации, ангидритизации и галитизации. Если регенерация кварцевых зерен, как правило, приводит к укреплению обломочного материала и образованию довольно прочного кремнистого скелета горных пород, то процессы карбонатизации, ангидритизации и галитизации существенно ухудшают ФЕС, имеют стадийный характер и приурочены к одним и тем же участкам разреза изучаемых отложений в разном соотношении друг с другом заполняя поровое пространство горных пород вторичными минералами. При очаговом их распределении, в очагах свободных пор практически нет, а в остальной части горных пород коллекторские свойства могут оставаться довольно высокими.

Текстура очаговой или пятнистой формы с очагами светло-серого цвета визуальнo выделяется на фоне темно-серого цвета песчано-алевритового материала (рис. 2). Характерная белесость очагов обусловлена довольно обильным тонкорассеянным ангидритом. На поверхности керна размер пятен составляет от 1–2 до 10–16 см. В нефтенасыщенных интервалах округлые белесые пятна не насыщены углеводородами, что визуальнo отмечается по фотографиям керна в ультрафиолете.



**Рисунок 2 – Распределение пятнистых включений на фотографии колонки керна, образцов и на микроуровне в шлифах горных пород хамакинского горизонта**

**Вторая глава «Анализ петрофизической информации для цели построения петрофизической модели»** посвящена изучению взаимосвязей фильтрационно-емкостных свойств и физико-литологических параметров текстурно-неоднородных терригенных пород-коллекторов хамакинского горизонта.

Физико-литологические параметры горных пород хамакинского горизонта изучены на основе образцов в количестве более 3800 шт., которая состояла как из образцов однородной текстуры, так и из образцов с глинистыми прослоями и включениями и образцов с карбонатно-ангидритовыми включениями. Проведенный анализ закономерностей и связей коэффициентов пористости ( $K_p$ ), проницаемости ( $K_{пр}$ ), остаточной водонасыщенности ( $K_{во}$ ) и глинистости ( $K_{гл}$ ) с разделением образцов керна по характеру текстурной неоднородности по литологическому описанию и фотографиям полноразмерного керна позволил выделить следующие закономерности.

Высокими ФЕС и низкими значениями  $K_{во}$  характеризуются образцы массивной однородной текстуры, меньшими значениями  $K_p$  и  $K_{пр}$  – текстурно-неоднородные образцы, а образцы с глинистыми прослоями относительно других указанных типов пород – большей  $K_{во}$  и повышенными значениями  $K_{гл}$ , при увеличении которой значения  $K_p$  для этой группы образцов слабо меняются. Образцы массивной однородной текстуры и образцы с карбонатно-ангидритовыми включениями с большим перекрытием друг друга располагаются на каждом поле сопоставлений ФЕС, образуя практически единые закономерности. Из этого следует, что при определении подсчетных параметров коллекторов по данным ГИС необходим учет влияния на параметры ГИС карбонатно-ангидритовых включений в связи с высокой контрастностью свойств песчаника со свободными порами и порами, залеченными карбонатно-ангидритовым материалом.

Изучение основных петрофизических зависимостей между параметрами по керну с учетом дифференциации образцов горных пород по среднему диаметру зерен и содержанию вторичных минералов позволило установить, что

размерность породообразующих зерен является первостепенным и определяющим фактором, от которого зависит характер взаимосвязей ФЕС, степень заполнения порового пространства глинистыми минералами и вторичными минералами. Высокое содержание последних, как установлено, приходится на средне- и крупнозернистые разности песчаника. В главе представлены результаты изучения влияний содержания и минерального состава цементирующего материала на объемную и минералогическую плотность и водородосодержание.

**Третья глава «Петрофизическая модель терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью и определение её параметров»** посвящена разработке и обоснованию петрофизической модели терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью. В ней последовательно рассмотрены существующие представления о построении петрофизических моделей для текстурно-неоднородных коллекторов; формируется текстурно-компонентная модель коллекторов хамакинского горизонта; приводятся уравнения взаимосвязей петрофизических свойств и определяются параметры, входящие в описание петрофизической модели.

Для петрофизического обеспечения интерпретации методов ГИС текстурно-компонентная модель коллекторов хамакинского горизонта представляет собой терригенную горную породу, состоящую из трех компонентов (элементов неоднородности) – песчаных прослоев, глинистых прослоев и карбонатно-ангидритовых включений (рис. 3). Сумма объемных долей элементов неоднородностей в коллекторе равна 1, т.е.

$$x_{\text{песч}} + x_{\text{гл}} + x_{\text{пл}} = 1, \quad (1)$$

где  $x_{\text{песч}}$ ,  $x_{\text{гл}}$ ,  $x_{\text{пл}}$  - объемная доля песчаных прослоев, глинистых прослоев и карбонатно-ангидритовых включений соответственно.



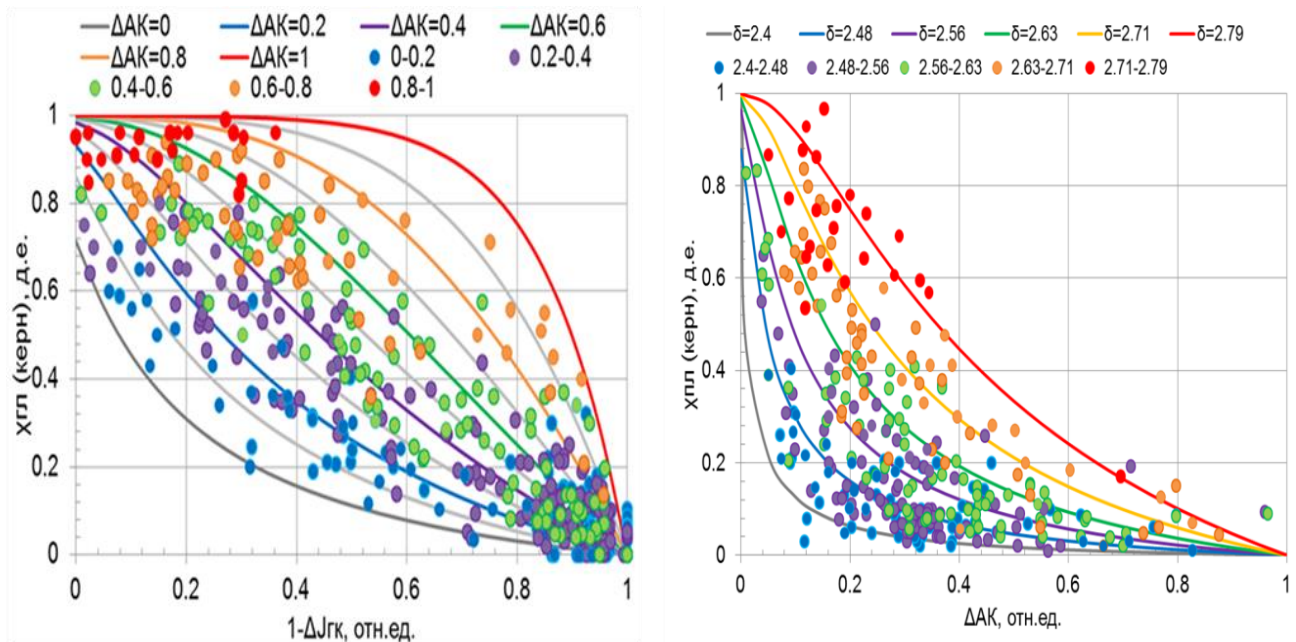
**Рисунок 3 – Текстурно-компонентная модель коллекторов хамакинского горизонта**

В каждом элементе неоднородности содержание минеральных компонентов и объема пор нормировано на единицу: в песчанике сумма содержания твердой фазы (песчано-алевритовых зерен и цемента) и объема пор ( $K_{\text{ТВ.Ф}}^{\text{песч}} + K_{\text{П}}^{\text{песч}} = 1$ ); в глинистых прослоях ( $K_{\text{ТВ.Ф}}^{\text{гл}} + K_{\text{П}}^{\text{гл}} = 1$ ); в карбонатно-ангидритовых включениях – ( $K_{\text{ТВ.Ф}}^{\text{каркаса}} + K_{\text{карб-анг.м}} = 1$ ). Очаговые карбонатно-ангидритовые включения в песчанике – это часть песчаника, поровое пространство которого полностью залечено карбонатно-ангидритовым материалом.

Определение содержания текстурных компонентов  $x_{\text{гл}}$  и  $x_{\text{пл}}$  на керне производилось путем компьютерной обработки фотографий керна. Контрастность литологических разностей насыщенных и ненасыщенных углеводородами позволяет идентифицировать непроницаемые прослои и включения в ультрафиолетовом свете. В дневном свете темные глинистые прослои отделяются от карбонатно-ангидритовых включений светло-серого цвета.

Массив из пластопересечений, охарактеризованных по керну значениями  $x_{\text{гл}}$  и  $x_{\text{пл}}$  и геофизическими параметрами, использовался для построения кросс-плотов определения объемных долей непроницаемых компонентов по данным методов ГИС.

Для  $x_{\text{гл}}$  кросс-плот представляет зависимость  $x_{\text{гл}} = f(\Delta J_{\text{ГК}}, \Delta \text{АК})$  (рис. 4, а), где  $\Delta J_{\text{ГК}}$  и  $\Delta \text{АК}$  – двойные разностные параметры гамма-каротажа (ГК) и интервального времени продольной волны акустического каротажа (АК); для  $x_{\text{пл}}$  – зависимость  $x_{\text{пл}} = f(\Delta \text{АК}, \delta \rho)$  (рис. 4, б), где  $\delta \rho$  – объемная плотность по гамма-гамма плотностному каротажу (ГГК-П).



а) Глинистые прослои

$$x_{\text{гл}} = f(\Delta J_{\text{ГК}}, \Delta \text{АК})$$

б) Карбонатно-ангидритовые включения

$$x_{\text{пл}} = f(\Delta \text{АК}, \delta \rho)$$

**Рисунок 4 – Кросс-плоты определения объемной доли глинистой компоненты (а) и карбонатно-ангидритовых включений (б) по данным ГИС**

Аппроксимация фактических данных на кросс-плотах производилась из соображений того, что в частных случаях, например при  $\Delta J_{\text{ГК}}=0$  или 1 значение  $x_{\text{гл}}$  было бы равным 0 или 1. Уравнения аппроксимации имеют вид:

$$y = 1 - \exp \left[ \frac{-c * (1 - x)}{1/b + x} \right], \quad (2)$$

где  $y$  – значение целевой функции ( $x_{\text{гл}}$  или  $x_{\text{пл}}$ );  $x$  – двойной разностный параметр  $\Delta J_{\text{ГК}}$  для  $x_{\text{гл}}$  или  $\Delta \text{АК}$  для  $x_{\text{пл}}$ );  $c$  и  $b$  – коэффициенты, связанные с параметрами  $\Delta \text{АК}$  и  $\delta_{\text{п}}$ .

В модели электропроводности  $\sigma_{\text{п}}$  ( $\rho_{\text{п}}$  удельного электрического сопротивления (УЭС) терригенных пород-коллекторов хамакинского горизонта использован принцип вложения, разработанный Б.Н. Еникеевым, с выделением трех компонент разной электропроводности: песчано-алевритовых прослоев  $\sigma_{\text{песч}}$ , глинистых прослоев  $\sigma_{\text{гл}}$  и карбонатно-ангидритовых включений  $\sigma_{\text{пл}}$ . Влияние  $\sigma_{\text{гл}}$  и  $\sigma_{\text{пл}}$  на сопротивление разнонаправлено, т. е. без их учета результаты расчета коэффициента нефтегазонасыщенности будут или занижены, или завышены.

Влияние на электропроводность карбонатно-ангидритовых включений оценивается по формуле (В.А. Ефимов):

$$\frac{\bar{\sigma}_{\text{п}} - \sigma_{\text{пл}}}{\sigma_{\text{песч+гл}} - \sigma_{\text{пл}}} * \left( \frac{\sigma_{\text{песч+гл}}}{\bar{\sigma}_{\text{п}}} \right)^{1-1/f} = 1 - x_{\text{пл}}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{\text{песч+гл}}$  – электропроводность песчано-алевритовой матрицы, содержащей глинистые прослои;  $f$  – параметр, описывающий геометрию карбонатно-ангидритовой компоненты, считая форму включений изометричной, он принят равным 3/2.

При известных значениях УЭС пластопересечения  $\rho_{\text{п}}$  ( $\bar{\sigma}_{\text{п}} = 1/\rho_{\text{п}}$ ), объемной доли  $x_{\text{пл}}$  и принимая  $\sigma_{\text{пл}} \approx 0$ , по (3) производится расчет электропроводности  $\sigma_{\text{песч+гл}}$  (сопротивления  $\rho_{\text{песч+гл}} = 1/\sigma_{\text{песч+гл}}$ ).

Расчет сопротивления  $\rho_{\text{песч}}$  песчаных прослоев производится по формуле параллельного соединения проводников песчаных и глинистых прослоев:

$$\frac{1}{\rho_{\text{песч+гл}}} = \frac{1 - \frac{x_{\text{гл}}}{(1 - x_{\text{пл}})}}{\rho_{\text{песч}}} + \frac{\frac{x_{\text{гл}}}{(1 - x_{\text{пл}})}}{\rho_{\text{гл}}}. \quad (4)$$

Найденное таким образом значение величины  $\rho_{\text{песч}}$  используется для определения коэффициента водонасыщенности песчаных прослоев.

В четвертой главе «Методика определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью» дается обоснование методики выделения коллекторов, оценки характера насыщенности и определения их подсчетных параметров в отложениях хамакинского горизонта.

Коллекторами в отложениях хамакинского горизонта являются горные породы песчаника и алевролита, осложненные в разной степени структурной и текстурной неоднородностью. Совместный анализ лабораторных исследований керна, данных ГИС и результатов опробования показал, что в зависимости от содержания элементов неоднородности в пластопересечении и фильтрационно-емкостных свойств песчаной компоненты эти горные породы могут являться как коллектором, так и неколлектором.

Выделение коллекторов в отложениях хамакинского горизонта производилось на основе количественного критерия по величине пористости (интегральной пористости слоя), граничное значение которой для текстурно-неоднородных коллекторов зависит от содержания в коллекторе непроницаемых прослоев и включений и пористости песчаных прослоев и определяется по зависимости следующего вида:

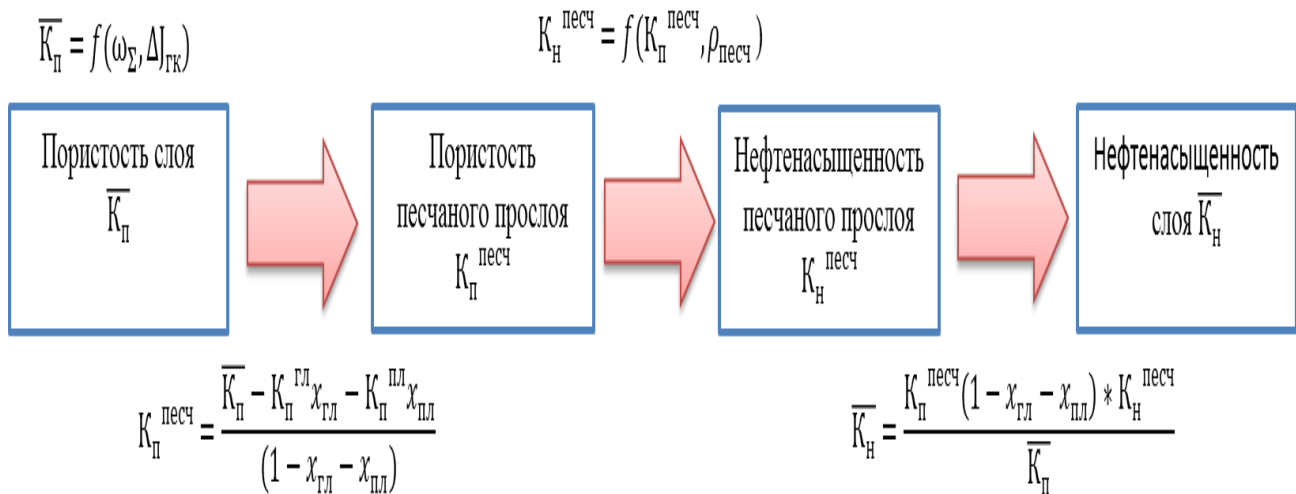
$$\overline{K_{\text{п}}^{\text{гп}}} = f(x_{\text{гл}} + x_{\text{пл}}; K_{\text{п}}^{\text{песч}}). \quad (5)$$

Разделение продуктивных и водонасыщенных коллекторов по разрезу изучаемых отложений проводилось по палетке зависимостей  $K_{\text{в}} = f(K_{\text{п}}, K_{\text{во}}, K_{\text{в}}^*, K_{\text{в}}^{**})$ , построенной по результатам капиллярметрических исследований и ОФП, выполненных на однородных образцах керна. Газонасыщенные интервалы коллекторов определялись по приращению нормированных показаний



акустического ( $\Delta AK$ ) над нормированным водородосодержанием ( $\Delta W_\Sigma$ ) компенсированного нейтронного каротажа. Определения характера насыщенности подтверждены результатами испытаний, промыслово-геофизическими исследованиями, результатами измерений пластового давления пластоиспытателем ХРТ и повторных временных измерений нейтронного каротажа.

Определение коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью в предлагаемой методике производится по графу схемы рисунка 5.



**Рисунок 5 – Алгоритм определения подсчетных параметров горных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью**

Для горных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью взаимосвязь между величиной интегрального значения коэффициента пористости  $\bar{K}_n$ , содержанием  $i$ -тых текстурных компонентов и их пористостью может быть записана как:

$$\bar{K}_n = K_n^{\text{песч}} (1 - x_{\text{гл}} - x_{\text{пл}}) + K_n^{\text{гл}} x_{\text{гл}} + K_n^{\text{пл}} x_{\text{пл}}, \quad (6)$$

где  $\bar{K}_n$  – интегральная величина коэффициента пористости горных пород в целом;  $K_n^{\text{песч}}$ ,  $K_n^{\text{гл}}$ ,  $K_n^{\text{пл}}$  – коэффициенты пористости песчаной, глинистой, карбонатно-ангидритовой компоненты.

Пористость глинистых прослоев  $K_{п}^{гл}$  по данным исследований керна изменяется в небольшом пределе (от 4 до 8 %) и может принята постоянной величиной, равной 6 %. Пористость карбонатно-ангидритовых включений  $K_{п}^{пл}$  по образцам керна незначительно отличается от нуля и принята  $K_{п}^{пл} = 0 \%$ .

Тогда, если выделенное по кривым методов ГИС пластопересечение охарактеризовано по керну определениями  $x_{гл}$  и  $x_{пл}$ , а также определениями ФЕС (в частности, пористости) на однородных образцах керна, то имеется благоприятная основа петрофизического обеспечения определения по ГИС параметров  $\overline{K_{п}}$  и  $K_{п}^{песч}$ .

На основе данных, полученных по керну, пористость однородных образцов и значений  $x_{гл}$  и  $x_{пл}$  по формуле (6) производился расчет  $\overline{K_{п}}$  пластопересечения, выделяемого по кривым ГИС. Затем на основе данных  $\overline{K_{п}}$ , водородосодержания  $\omega_{\Sigma}$ , определенного по данным метода нейтрон-нейтронного каротажа по тепловым нейтронам (ННК-Т), и двойного разностного параметра  $\Delta J_{ГК}$  гамма-каротажа была получена эмпирическая зависимость  $\overline{K_{п}} = f(\omega_{\Sigma}, \Delta J_{ГК})$ .

Переход от интегральных по пластопересечениям определений  $\overline{K_{п}}$  и УЭС к значениям коэффициента пористости и нефтегазонасыщенности песчаных прослоев производился согласно графу рисунка 5. По полученным значениям  $K_{п}^{песч}$  и  $\rho_{песч}$  песчаных прослоев производился расчет  $K_{п}^{песч}$  с использованием зависимости параметра  $R_w$  влажности от объемного водонасыщения  $W_v = K_p * K_v$ , установленной на однородных по текстуре образцах керна.

В конце главы проводится анализ и оценивается достоверность результатов расчетов по данным ГИС коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности в отдельно взятом прослое текстурно-неоднородного коллектора и его песчаной компоненты путем сопоставления их с данными по керну. Сходимость определений по ГИС коэффициента пористости песчаных прослоев с коэффициентом пористости однородных образцов песчаников укладывается в допустимый диапазон абсолютной погрешности  $\pm 2.5 \%$ . Сходимость коэффициента нефтегазонасыщенности песчаных прослоев,

рассчитанного по ГИС, с коэффициентом нефтегазонасыщенности образцов, отобранных по технологии «сохраненной водонасыщенности», составляет  $\pm 5\%$ .

Анализ результатов определений коэффициента нефтегазонасыщенности с учетом влияния текстурных компонент ( $K_H^{\text{ист}}$ ) и без их учета ( $K_H$ ) показал, что истинное значение коэффициента нефтегазонасыщенности геофизического слоя систематически выше при преобладании содержания глинистых прослоев над содержанием карбонатно-ангидритовых включений (в среднем на 3 %) или ниже при обратном соотношении (в среднем на 8.5 %).

### **Заключение**

Итоги выполненных автором в работе исследований сводятся к следующим основным результатам:

1. На основе анализа петрофизической информации установлено, что основными факторами, определяющие сложное структурно-текстурное строение горных пород-коллекторов хамакинского горизонта и широкий диапазон вариации их фильтрационно-емкостных и физических свойств является размерность породообразующих зерен, характер распределения и содержания цементирующего материала различного генезиса.

2. Неоднородные по текстурному строению горные породы-коллекторы хамакинского горизонта представлены тремя элементами неоднородности – песчаные прослои, глинистые прослои и карбонатно-ангидритовые включения.

3. Построена текстурно-компонентная петрофизическая модель и обоснованы эмпирические связи типа «керн-керн» и «керн-ГИС» позволяющие производить расчеты объемного содержания глинистых прослоев и карбонатно-ангидритовых включений, коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности текстурно-неоднородного слоя коллектора и его песчаной компоненты.

4. Разработана методика геологической интерпретации геофизических методов исследований скважин в отложениях хамакинского горизонта для

решения задач выделения коллекторов, оценки характера насыщенности и определения подсчетных параметров. Получаемые при этом результаты позволяют принимать решения по выбору интервалов перфорации и выработке эффективных рекомендаций по освоению и испытанию коллекторов.

5. Разработанная методика определения коэффициента пористости и нефтегазонасыщенности пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью использована 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.

**Основные результаты диссертации изложены в следующих работах:**

**Публикации в рекомендуемых изданиях ВАК РФ:**

1. Ракитин, Е. А. Выделение газонасыщенных интервалов и определение газонефтяного контакта по материалам стандартного комплекса ГИС в сложнопостроенных терригенных коллекторах нефтегазовых месторождений Республики Саха (Якутия) [Текст] / Е. А. Ракитин // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 3. – С. 68–72.

2. Ракитин, Е. А. Влияние глинистых микрослойков и карбонатно-ангидритовых включений на достоверность определения коэффициента нефтенасыщенности терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью [Текст] / Е. А. Ракитин // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 7. – С. 72–74.

3. Ракитин, Е. А. Определение параметров текстурно-неоднородных терригенных коллекторов по данным геофизических исследований скважин [Текст] / А. В. Акиншин, В. А. Ефимов, Е. А. Ракитин // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 10. – С. 86–89.

4. Ракитин, Е. А. Оценка качество коллекторов по данным геофизических исследований скважин в текстурно-неоднородных терригенных

отложениях [Текст] / Е. А. Ракитин, В. А. Корнев // Естественные и технические науки. – 2017. – № 10. – С. 38–39.

**Статьи в научных сборниках и материалах конференций:**

5. Ракитин, Е. А. Обоснование петрофизических алгоритмов определения коэффициента пористости полиминеральных текстурно-неоднородных терригенных коллекторов с целью повышения достоверности количественной интерпретации данных ГИС [Текст] / Е. А. Ракитин // XIV конференция молодых специалистов, работающих в организациях, осуществляющих деятельность, связанную с использованием участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры : Сборник материалов конференции. – Ханты-Мансийск : АУ «Технопарк высоких технологий», 2014. – С. 88–91.

6. Ракитин, Е. А. О возможностях выделения газонасыщенных интервалов и определения газонефтяного контакта по материалам стандартного комплекса ГИС в сложнопостроенных терригенных коллекторах нефтегазовых месторождений Республики Саха (Якутия) [Текст] / Е. А. Ракитин // XV конференция молодых специалистов, работающих в организациях, осуществляющих деятельность, связанную с использованием участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры : Сборник материалов конференции. – Ханты-Мансийск : АУ «Технопарк высоких технологий», 2015. – С. 101–105.

7. Ракитин, Е. А. Петрофизическая модель терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью (на примере отложений хамакинского горизонта Республики Саха (Якутия) [Текст] / Е. А. Ракитин // «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» : Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции. – М. : РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2016. – С. 48.

8. Ракитин, Е. А. Методика определения подсчетных параметров терригенных пород-коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью по данным ГИС [Текст] / Е. А. Ракитин // XVI конференция

молодых специалистов, работающих в организациях, осуществляющих деятельность, связанную с использованием участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры : Сборник материалов конференции. – Ханты-Мансийск : АУ «Технопарк высоких технологий», 2016. – С. 81–84.

9. Ракитин, Е. А. Алгоритм интерпретации геофизических исследований скважин коллекторов с трехкомпонентной текстурной неоднородностью [Текст] / Е. А. Ракитин // Салмановские чтения: материалы X научно-практической конференции молодых ученых и специалистов / Под общ. ред. А. М. Брехунцова. – Тюмень : Сибирский научно-аналитический центр, 2017. – С. 52–69.