

На правах рукописи

Эзирбаев Тимур Борисович

**МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГИС В ТЕРРИГЕННЫХ
АЛЕВРИТО-ГЛИНИСТЫХ И ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОДАХ НА
ПРИМЕРЕ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРСКО-СУНЖЕНСКОЙ
НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ**

**Специальность 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2012

Работа выполнена в Грозненском государственном нефтяном техническом университете имени академика М.Д. Миллионщикова

Научный руководитель:

кандидат технических наук

Афанасьев Сергей Витальевич

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

Лухминский Борис Евгеньевич

кандидат технических наук

Сержантов Роман Борисович

Ведущая организация: Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН (г. Грозный)

Защита диссертации состоится 15.11.12 2012 г. в 15⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.121.07 при Российском государственном геолого-разведочном университете им. Серго Орджоникидзе по адресу:

117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, ауд. 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета.

Автореферат разослан _____ 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, д.ф.-м.н., профессор

А.Д. Каринский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Терригенные отложения, вмещающие залежи углеводородов, характеризуются существенной геологической неоднородностью, обусловленной условиями их формирования. Восстановление свойств таких пород по данным ГИС в настоящее время имеет большое значение при создании эффективных схем разработки месторождений нефти и газа в терригенных толщах. Наиболее сложные по строению и свойствам терригенные породы, образованные в фациальных условиях относительно глубоководного бассейна, сложены преимущественно плотными глинистыми алевролитами, имеющими пористость, изменяющуюся в широком диапазоне (5-20 %) и проницаемость структурного каркаса, не превышающую 1 мД. Такие породы содержат сложное поровое пространство, включающее гранулярные поры, поры выщелачивания и трещины. Извлекаемый из скважин керн характеризует только уплотненные участки пород. Выделение интервалов продуктивных коллекторов и оценка емкостных, фильтрационных свойств и нефтенасыщенности весьма сложны и обусловлены нивелированием физических свойств водонасыщенных и нефтенасыщенных пород за счет влияния множества геологических и технологических факторов на показания методов ГИС, зарегистрированные в скважинах. Типичным представителем сложно построенных преимущественно алевритовых терригенных пород служат песчано-алеврито-глинистые отложения альб-аптского возраста нижнего мела месторождений Терско-Сунженской нефтегазоносной области (ТСНО). Продуктивные отложения на этих месторождениях залегают в широком диапазоне глубин от 2350 до 5130 м и включают значительные по объему запасы нефти. Эксплуатация нижнемеловых залежей в пределах ТСНО осложнена целым рядом факторов, одним из которых является отсутствие объективной информационной базы о геологии и нефтегазоносности толщи, на основе которой возможно обосновать эффективную систему разработки. В этих условиях для повышения эффективности разработки месторождений стоит задача

детального уточнения особенностей геологического строения нижнемеловых отложений, исследования их неоднородности на различных месторождениях, уточнения коллекторских свойств и запасов нефти.

В связи с особенностями структурно-минералогического строения терригенные альб-аптские отложения ТСНО могут служить в качестве естественного полигона для научного обоснования требований к методике интерпретации данных ГИС, обеспечивающей более полное восстановление геологических характеристик алеврито-глинистых и трещиноватых терригенных пород.

Создание методики интерпретации, отвечающей описанным выше требованиям, с одной стороны, решает проблему создания информационной базы для повышения эффективности изучения нижнемелового комплекса пород на территории ЧР и РИ, а с другой стороны, обеспечивает отработку подходов к научному обоснованию методики углубленной интерпретации данных ГИС в терригенных отложениях, представленных преимущественно плотными и трещиноватыми породами алевритового состава.

Цель работы – повышение детальности определения геологической неоднородности и коллекторских свойств сложно построенных терригенных отложений преимущественно алевритового состава на основе экспериментального и теоретического обоснования петрофизического обеспечения методики углубленной интерпретации комплекса данных ГИС на примере месторождений Терско-Сунженской нефтегазаносной области.

Основные задачи исследований

1. Обоснование требований к методике интерпретации данных ГИС, обеспечивающей определение геологической неоднородности и коллекторских свойств нижнемеловых отложений ТСНО.

2. Исследование применимости имеющихся научных и методических работ в области изучения сложно построенных терригенных комплексов пород и обоснование применимости их для изучаемых нижнемеловых продуктивных отложений ТСНО.

3. Обоснование системы петрофизического обеспечения интерпретации данных ГИС для трехкомпонентной песчано-алеврито-глинистой породы, сложенной преимущественно алевритовой фракцией и имеющей повышенную глинистость.

4. Разработка методики интерпретации данных ГИС, позволяющей определять в рассматриваемом разрезе литологический состав и емкостно-фильтрационные свойства песчано-алеврито-глинистой породы.

5. Опробование разработанных методических приемов интерпретации данных ГИС на фактических скважинных материалах.

Защищаются следующие научные положения и результаты

1. Учет влияния размерности частиц, слагающих скелет породы, пористости и флюидального насыщения порового пространства на формирование физических свойств терригенных пород и влияние этих свойств на показания методов ГИС служит основой методического подхода к интерпретации данных ГИС при определении геологических характеристик и нефтегазонасыщенности отложений, сложенных плотными глинистыми алевролитами.

2. Обоснованная автором система петрофизических моделей для комплекса данных ГИС, включающая в себя электрометрию (УЭС), ПС, ГК, НГК и квернометрию и созданный на ее основе алгоритм определения фракционного состава, пористости, абсолютной проницаемости и флюидального насыщения кварцево-полевошпатовых терригенных пород месторождений ТСНО.

3. Разработанный автором способ выявления в продуктивной толще альб-аптских отложений ТСНО геологических тел, которые потенциально могут содержать остаточную нефть, основанный на использовании результатов интерпретации данных ГИС по методике, разработанной автором диссертации.

4. Полученные автором в процессе реализации диссертации результаты восстановления в пределах ТСНО геологической неоднородности терригенной толщи.

Научная новизна

1. На основе обобщения выполненных ранее работ и собственных теоретических и экспериментальных исследований доказана применимость обоснованной при участии автора и Афанасьева С.В. системы петрофизических моделей УЭС, ПС, ГК, НК, АК, Кв.св и Кпр в условиях терригенных пород нижнего мела месторождений ТСНО и обоснованы параметры настройки этих моделей для определения свойств изучаемого комплекса пород.

2. Разработан алгоритм интерпретации данных ГИС, позволяющий определять в скважине напротив терригенных альб-аптских отложений содержание в скелете породы песчаной, алевритовой и глинистой фракций, пористость, абсолютную проницаемость, а также состав флюидального насыщения порового пространства.

3. На основе применения данных о фракционном составе пород и установленной связи его с содержанием связанной воды в породе и ее абсолютной проницаемостью разработаны принципы более детальной классификации пород коллекторов. Выделены классы коллекторов с повышенным содержанием в скелете алевритового компонента, которые имеют пониженную проницаемость и которые следует рассматривать как объекты, содержащие локальные остаточные запасы нефти в толще Терско-Сунженских месторождений.

4. По данным интерпретации данных ГИС разработана методика выделения тел песчано-алевритовых коллекторов, потенциально содержащих остаточные запасы нефти.

5. Автором впервые выполнено математическое моделирование влияния трещиноватости глинистых и не глинистых алевритов на их физические свойства, определяемые методами ГИС. Установлено слабое влияние трещиноватости при определении по данным ГИС емкостных свойств и нефтенасыщенности коллекторов.

6. Разработан способ выделения в разрезе интервалов трещиноватых пород по данным микроэлектрических методов, обосновано применение этого способа для уточнения выделения коллекторов в разрезе.

7. В процессе реализации диссертации автором выполнены исследования по восстановлению в пределах ТСНО геологической неоднородности терригенной толщи. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем при геологическом моделировании месторождений ТСНО.

Практическая ценность работы

1. Для восстановления геологической неоднородности, коллекторских свойств и флюидального насыщения пород альб-аптского возраста нижнего мела на месторождениях Терско-Сунженской нефтегазоносной области обоснована система петрофизических моделей интерпретации данных ГИС.

2. Создана методика углубленной интерпретации данных ГИС в терригенных отложениях альб-апта нижнего мела на месторождениях ТСНО.

3. Разработанная методика реализована автором диссертации в Системе автоматизированной интерпретации данных ГИС Gintel в форме адаптации методики ТАВС (авторы методики С.В. Афанасьев и др.) и расширения ее петрофизической и алгоритмической базы. Методика опробована при интерпретации данных ГИС по 63-м базовым скважинам месторождений Терско-Сунженской нефтегазоносной области с положительным результатом и подготовлена для использования на практике с целью обработки геолого-геофизической информации при решении задач разведки и разработки залежей нефти и газа на месторождениях ТСНО.

Реализация результатов работы на производстве

Полученные в ходе исследований результаты были использованы при создании методики переинтерпретации данных ГИС, обеспечивающей достоверную оценку структурно-минералогического строения и нефтенасыщенности продуктивных терригенных отложений альб-аптского возраста нижнего мела на месторождениях Терско-Сунженской нефтегазоносной области.

Методика подготовлена для производственного применения в нефтегазодобывающих организациях ЧР.

Разработанная технология используется в учебном процессе для студентов Грозненского нефтяного технического университета (ГГНТУ) геофизической специальности на практических занятиях по курсу «Комплексная интерпретация данных ГИС».

Личный вклад

Все результаты, обладающие научной новизной и практической ценностью и изложенные в диссертации, были получены лично автором или при его непосредственном участии.

С целью исследования петрофизических особенностей и нефтегазоносности толщ терригенных пород, с преимущественно алевритовыми образованиями автором диссертации было выполнено математическое моделирование данных керна и ГИС, в разрезе нижнего мела ТСНО. Автором самостоятельно выполнено теоретическое и экспериментальное обоснование требований к методике интерпретации данных ГИС в нижнемеловых терригенных отложениях ТСНО, исследовано влияние трещиноватости и кавернозности терригенных пород на показания методов ГИС, обосновано применение методики интерпретации данных ГИС ТАВС, разработанной В.С. Афанасьевым и С.В. Афанасьевым для оценки свойств пород нижнего мела ТСНО. Автор под руководством С.В. Афанасьева выполнил адаптацию петрофизического обеспечения методики ТАВС для использования ее при определении геологических свойств и нефтегазонасыщенности пород нижнего мела ТСНО. На основе обобщения результатов интерпретации данных ГИС по скважинам были обоснованы уточненные параметры коллекторов альб-аптского возраста на всех крупных месторождениях ТСНО.

Апробация работы

Результаты исследовательских работ, положенных в основу настоящей диссертационной работы, докладывались на международных конференциях:

Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве, науке и образовании», Грозный 2010 г.; V Международной конференции «Горное, нефтяное, геологическое и геоэкологическое образование в XXI веке», Москва-Грозный 2010 г.; Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире», Пермь, 2011 г.; Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геологии Северного Кавказа», Грозный, 2011 г.; VIII Международной научно-практической конференции молодых специалистов «Геофизика-2011», Санкт-Петербург, 2011 г.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 2 – в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения и содержит 127 страниц текста, 31 рисунок, 7 таблиц. Список литературы включает 87 наименований. Диссертационная работа выполнена в период учебы в аспирантуре ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Автор благодарен научному руководителю к.т.н. Сергею Витальевичу Афанасьеву за всестороннюю помощь на всех этапах работы над диссертацией.

За внимание и ценные советы автор выражает благодарность д.т.н., профессору кафедры геофизики РГГРУ им. Серго Орджоникидзе В.С. Афанасьеву.

За поддержку и внимание автор выражает благодарность руководству ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова в лице ректора, профессора Х.Э. Таймасханова, а также всему коллективу кафедры «Прикладная геофизика и геоинформатика» ГГНТУ.

За предоставление необходимой литературы и консультации автор благодарен вице-президенту АН ЧР, д.ф.-м.н, профессору И.А. Керимову.

Большое влияние на направление и уровень исследований оказали к. г.-м. н., доцент кафедры «Прикладная геофизика и геоинформатика» ГГНТУ М.А.

Хасанов и заведующий кафедрой «Прикладная геофизика и геоинформатика» ГГНТУ к. г.-м. н. Гайсумов М.Я., за что автор выражает им благодарность и признательность.

Отдельная благодарность коллективу ООО «Геоинформационные технологии и системы» за техническую поддержку в период работы над диссертацией.

Автор посвящает свою диссертационную работу своему первому учителю, ушедшему из жизни, выдающемуся ученому и педагогу профессору Дахкильгову Тугану Даутхановичу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведены сведения об особенностях геологического и тектоническом строении, а также нефтегазоносности изучаемого комплекса пород. Приведены результаты исследования физических свойств, петрофизических закономерностей терригенных отложений нижнего мела Восточного Предкавказья в целом по данным ГИС и керна.

Нижнемеловые отложения ТСНО представляют собой мощную осадочную и терригенно-карбонатную формацию, в образовании которой принимают участие глинистые, песчано-алеврито-глинистые и карбонатные породы.

В отложениях нижнего мела выделяются валанжин-готеривский, барремский, аптский и альбский ярусы. Изучаемый терригенный комплекс включает отложения апта и альба, залегающие на глубине 2300 - 6500 метров. Общая мощность нижнемеловых отложений изменяется от 700 до 1600 метров.

Бурение на нижнемеловые отложения было начато в 1954 г. на Карабулак-Ачалукской площади (скважина № 16). Первая промышленная нефть из нижнего мела была получена в 1960 г. в скважине № 39 на Карабулак-Ачалукской площади.

В результате проведенных поисковых и разведочных работ в разрезе нижнего мела ТСНО была установлена промышленная нефтеносность валанжинских, барремских и аптских отложений.

Режим залежи аптских отложений определяется как упруго-замкнутый. Давление насыщения 260 -300 атмосфер.

В целом, нефти нижнего мела малосернистые с содержанием серы 0,15 %. Количество парафинов колеблется в пределах 4,3-7,4 %, количество асфальтенов также невелико и составляет 0,36 %. Пластовые давления изменяются от 350 до 690 атмосфер. Пластовые температуры составляют 115-160 °С.

Первые промыслово-геофизические исследования альб-аптских отложений были начаты в 1963 г. Обязательный комплекс геофизических исследований (стандартный каротаж, БКЗ, БК, ИК, МБК, АК, ГК, НГК, кавернометрия) был утвержден в 1972 г. В основном, полученные геофизические материалы хорошего качества и пригодны для качественной и количественной интерпретации.

Исследование показаний различных методов каротажа дало возможность оценить диапазоны изменения физических свойств пород в разрезе. На рис. 1 приведены результаты статистического анализа показаний методов ГИС.

Экспериментальные исследования керна проведены в СКТБ ПГ, СевКав-НИПИнефть и в Грозненском нефтяном институте им. акад. М.Д. Миллионщикова. Кроме того на некоторых образцах керна выполнены специальные анализы во ВНИИЯГГ (элементный состав), в Ростовском государственном университете (минерализация поровых вод) и в тематической экспедиции объединения «Грознефть» (петрографические описания шлифов).

Экспериментальные исследования электрических свойств проводились в атмосферных условиях и при моделировании пластовых термобарических условий при насыщении образцов моделью пластовой воды с минерализацией 80 г/л и на некоторых образцах – с минерализацией 200 г/л.

Известно, что на петрофизические параметры терригенных пород существенное влияние оказывает присутствие высокодисперсных глинистых минералов и других поверхностно активных компонентов, в частности, полевых шпатов, доля которых в изучаемых породах составляет 10-28 %.

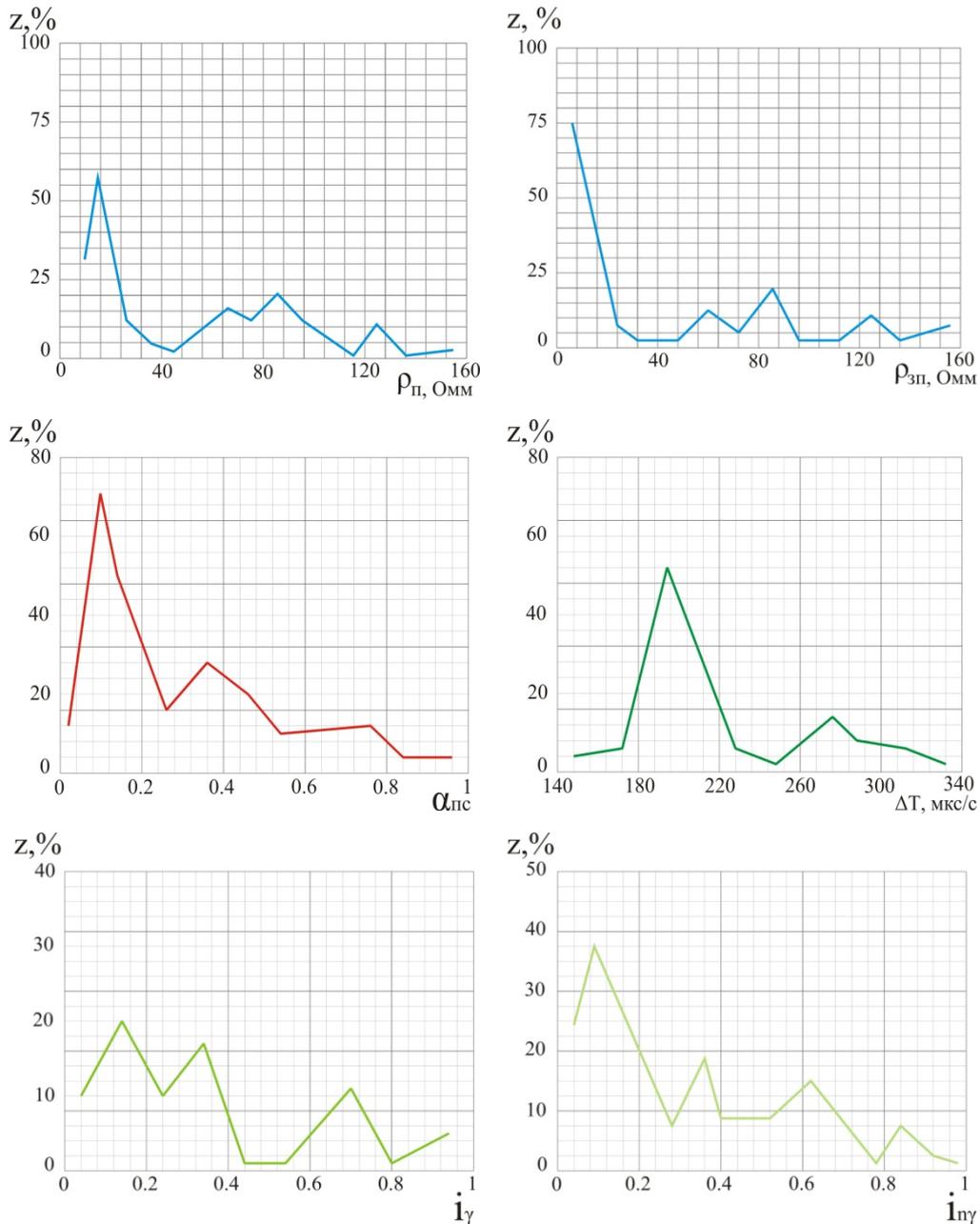


Рис. 1. Кривые распределения показаний методов ГИС, используемых при оценке свойств пород в терригенном комплексе пород.

По данным анализов шлифов песчаники разнозернистые, плохо отсортированные (размер зерен изменяется от 0,16 до 0,8 мм), алевролит мелкозернистый.

На рис. 2 показаны результаты статистического анализа данных гранулометрического анализа пород. Как видно, в породе наблюдается малое содержание песчаной фракции, преобладают алевритовая и глинистая фракции.

Треугольная диаграмма фракций породы (рис. 2б) показывает, что в изучаемом комплексе пород песчаники имеют малое распространение и характеризуются глинистостью не более 20 %. Основная масса пород сложена глинистым алевролитом. При этом с ростом алевритистости породы (до 80 %) возрастает и диапазон изменения глинистости алевролитов – содержание глистой фракции колеблется в диапазоне от 10-20 до 80 %. С ростом алевритистости уровень минимального содержания глиен изменяется от 10 до 20%. Отдельные прослои пород представлены неглинистыми смесями песчаной и алевритовой фракций.

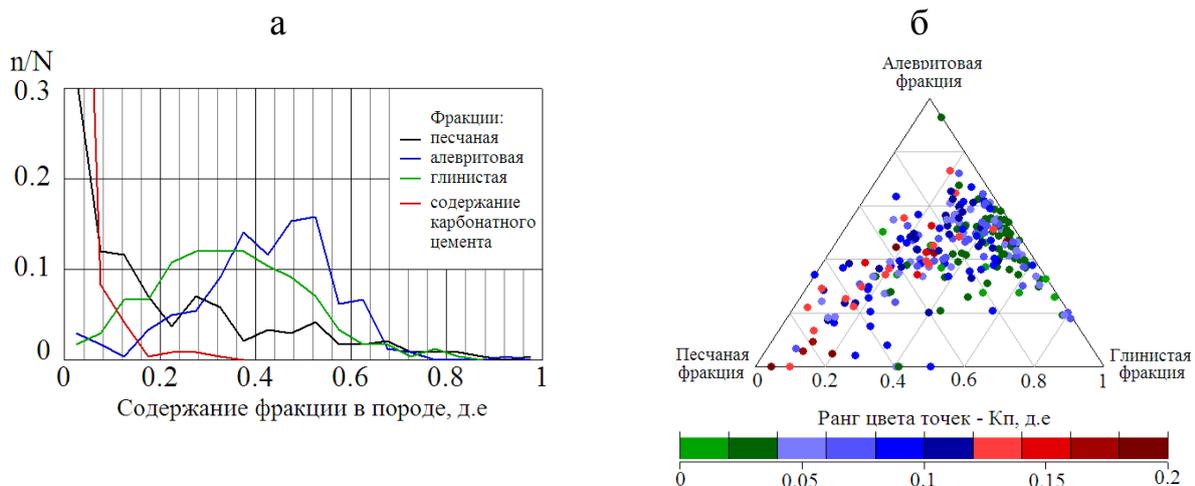


Рис. 2. Изменение фракционного состава альб-аптских пород.

Породы-коллекторы представлены алевролитами песчанистыми и глинистыми. Карбонатность коллекторов низкая и в среднем составляет 2,5 %, а в 90 % случаев не превышает 10 %.

Изучаемые породы характеризуются трещиноватостью. Трещины имеют локальное распространение, хаотически распространены в толще и изменяют ее проницаемость.

Сложное структурно-минералогическое строение пород, представленных глинистыми алевролитами, определяет особенности петрофизических связей между фильтрационно-емкостными свойствами пород и показаниями методов ГИС. В этой связи при разработке петрофизического обеспечения методики интерпретации данных ГИС в условиях изучаемого комплекса пород необходимо исследовать влияние размерности частиц, слагающих скелет породы, пористости и флюидального насыщения порового пространства на формирование электрических, радиоактивных, акустических свойств терригенных пород и влияние этих свойств на показания соответствующих методов ГИС.

Во второй главе изложены разработанные автором требования к уровню интерпретации данных ГИС для определения геологических характеристик и нефтегазонасыщенности нижнемеловых терригенных отложений Восточного Предкавказья, приведен анализ ограничений ранее применявшихся методов интерпретации данных ГИС в изучаемом комплексе пород.

Установлено, что в условиях изучаемого комплекса пород, сложенного в основном уплотненными алевролитами, характеризующимися повышенной глинистостью (20-60 %), широким диапазоном пористости (6-20 %), очень низкой проницаемостью (в основной массе пород коллекторов менее 0.1 мД, а в песчаных породах не превышает 30 мД), высокой долей связанной воды (в коллекторах 30-70 %), влияние структурно-минералогического фактора в формировании физических свойств пород и показаний различных методов ГИС существенно возрастает.

Автор пришел к выводу, что восстановление структурно-минералогического состава пород вдоль стволов всех скважин, пробуренных на месторождениях ЧР, является важнейшей и первоочередной задачей интерпретации данных ГИС. Зная эти параметры, можно решить весь спектр задач при дальнейшем детальном изучении геологического строения залежей углеводородов. Такой подход на этапах оперативной интерпретации данных ГИС позво-

лит более надежно выделять продуктивные интервалы в разрезах бурящихся скважин.

Методика интерпретации данных ГИС для терригенного комплекса пород ТСНО была разработана в 1970-х годах коллективом специалистов (В.С. Афанасьев, Н.В. Демушкина, В.Ю. Терентьев и др.) под руководством Г.А. Шнурмана. Эта методика изложена в опубликованных работах авторов. В процессе создания этой методики был выполнен цикл исследований кернов, который был использован автором диссертации при собственных исследованиях.

Разработанная методика была применена при определении подсчетных параметров по всем месторождениям Терско-Сунженской нефтегазоносной области.

Анализ применявшейся ранее методики с учетом достижений современного состояния теории и технологии интерпретации данных ГИС показал, что эта методика имеет ограничения, которые делают нецелесообразным ее использование при изучении мелового комплекса пород на территории ЧР.

Наиболее важными из ограничений, по мнению автора диссертации, являются следующие:

1. Методика обеспечивает определение только подсчетных параметров: эффективной толщины, пористости и нефтенасыщенности пород коллекторов.

2. Методика не обеспечивает достоверное определение структурно-минералогического строения пород в составе, описанном выше.

3. При выделении коллекторов учитывается только критерии α_{nc} и граничное значение пористости пород $K_{n.zp}$ и игнорируется влияние многих факторов, характеризующих фильтрационные и емкостные свойства пород, а также их трещиноватости на показания методов ГИС. Величина критерия α_{nc} изменяется в диапазоне $0.13 \div 0.4$, $K_{n.zp} = 0.06 \div 0.09$. При этом принципы выбора необходимой величины не обоснованы, принимаются экспертно.

4. При интерпретации данных НК (водородосодержание), АК, ГГК применяются формулы, описывающие двухкомпонентную модель “глинистый пес-

чаник”, в результате при расчете пористости не в полном объеме учитывается влияние структурно-минералогического строения пород и протекающие в них адсорбционные явления, контролирующие показания методов ГИС.

5. При интерпретации данных электрометрии используется модель Вакмана-Смитса, а для обработки аномалий ПС модель Смитса, которые имеют ограничения применения в породах повышенной глинистости. Эти модели не позволяют достоверно оценить величину коэффициента водонасыщенности и, соответственно, нефтенасыщенности пород.

6. Методика не обеспечивает оценку доли связанной и подвижной воды в коллекторе, в результате делается неоднозначной оценка состава извлекаемых из пласта флюидов.

7. Методика не позволяет получить объективные оценки абсолютной проницаемости пород коллекторов.

Изложенное выше определяет потребность в создании более совершенного методического подхода для оценки по данным ГИС свойств пород коллекторов в разрезе альб-апта Терско-Сунженской нефтегазоносной области.

В третьей главе дается обоснование системы петрофизических моделей. Автором диссертации при обосновании системы петрофизического обеспечения для отложений нижнего мела на различных месторождениях Терско-Сунженской нефтегазоносной области были учтены следующие факторы:

1. Для изучения свойств пород в подавляющем большинстве скважин имеются данные электрометрии (ИК, БК, ПЗ, БКЗ), ПС, ГК и НГК, АК, кавернометрии. Все данные каротажа зарегистрированы аппаратурой, разработанной в 1970-х годах.

2. Исследования керна в подавляющем большинстве случаев выполнены путем определения стандартного набора физических свойств пород, на ограниченной коллекции кернов выполнены исследования гранулометрии. Имеются описания небольшой коллекции шлифов. На специальной коллекции кернов

были произведены измерения естественной гамма активности и емкости катионного обмена.

С учетом указанных факторов, при обосновании петрофизического обеспечения методики интерпретации данных ГИС автором диссертации применен подход к исследованию петрофизических закономерностей и оценке параметров петрофизических связей, заключающийся в математическом моделировании с использованием фактических керновых данных по нижнемеловым отложениям, известных обобщенных петрофизических закономерностей. В качестве базы при выполнении автором исследований была использована система петрофизических моделей, разработанная В.С. Афанасьевым и С.В. Афанасьевым, теоретическое описание которой приведено в патенте авторов и их публикациях в изданиях из списка ВАК. К настоящему времени эта система моделей была успешно адаптирована ко многим геологическим разрезам нашей страны, а также зарубежных месторождений нефти и газа.

В основе системы петрофизических моделей лежит трехкомпонентная модель песчано-алеврито-глинистой породы. В соответствии с этой моделью терригенная порода состоит из структурного каркаса и порового пространства. Структурный каркас сложен песчаной, алевритовой и глинистой фракциями, карбонатным цементом, обломками первичных пород и прочими минералами.

Поровое пространство в нефтегазоносном коллекторе насыщено связанной и подвижной водой, подвижными и остаточными углеводородами.

Объем связанной воды формируется всеми составляющими структурного каркаса породы.

В трехкомпонентной модели реализован учет влияния алевритового материала на физические свойства породы наряду с глинистым компонентом.

Для трехкомпонентной модели терригенной породы обоснована система петрофизических моделей: электропроводности породы, водородосодержания по НГК и интервального времени пробега продольной волны АК, абсолютной проницаемости и связанной воды. Обоснование обобщенной модели электро-

проводности терригенной гранулярной породы, разработанной В.С. Афанасьевым и С.В. Афанасьевым $\sigma_n = (K_n K_e)^m \sigma_{эл}$ в терригенных отложениях нижнего мела ТСНО, представлено в работе автора диссертации. Для обоснования применимости этой модели выполнено математическое моделирование и сравнение его результатов с графиками $P = f(K_n)$ и $P_n = f(K_e)$, построенными по данным измерения УЭС образцов кернов.

Измерения УЭС проводились в пластовых и атмосферных условиях, полученные стохастические зависимости описываются, соответственно, выражениями

$$P_n = \frac{3,09}{K_n^{1,37}} \text{ и } P_n = \frac{8,75}{K_n^{1,25}}.$$

Совместное представление данных, полученных

при атмосферных и пластовых условиях, показано на рисунке 3, на котором нанесены теоретические линии $P = f(K_n)$, рассчитанные по модели электропроводности для ряда значений емкости катионного обмена 0; 0,02; 0,1; 0,3 и 1 моль/г.

По расположению точек, которые соединены между собой линиями, видно, что относительное сопротивление в пластовых условиях увеличивается, а пористость уменьшается по сравнению с атмосферными условиями для одних и тех же образцов пород. Математическое моделирование, детально описанное в диссертации, показало, что выбранная модель электропроводности вполне корректно описывает электрические свойства пород нижнего мела ТСНО.

Для оценки свойств пород используются кривая водородосодержания, определяемая по данным НГК, и кривая интервального времени пробега продольной волны по данным АК. Для интерпретации кривых этих методов применяются петрофизические модели водородосодержания и АК, разработанные В.С. Афанасьевым и С.В. Афанасьевым. В диссертационной работе выполнены исследования по обоснованию применимости этих моделей в условиях альб-аптских отложений Терско-Сунженской нефтегазоносной области.

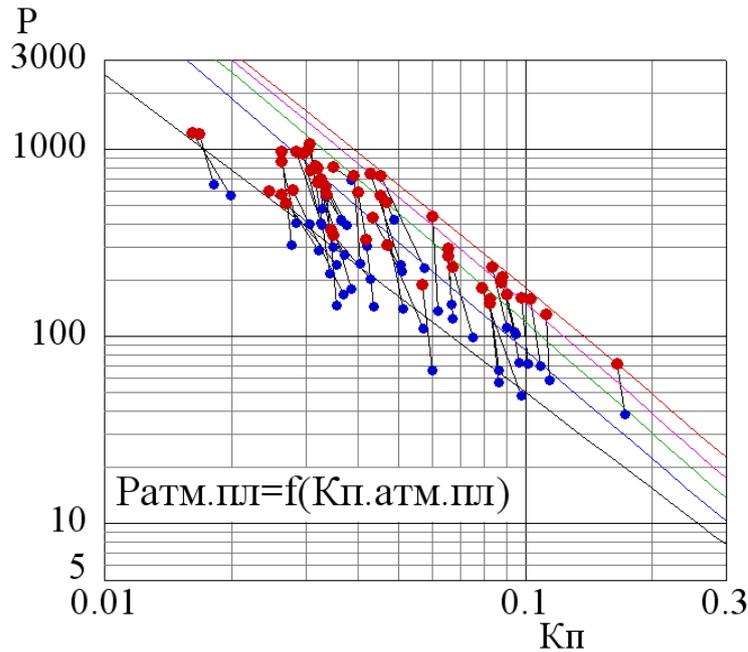


Рис. 3. Совместное представление данных, полученных в атмосферных и пластовых условиях.

На рисунке 4 приведены графики сопоставления данных пористости, измеренной на кернах, показаний водородосодержания (рис. 4а) и интервального времени АК (рис. 4б), определенных по соответствующим кривым ГИС, зарегистрированным в скважинах. На рисунке 4а нанесены теоретические кривые $\omega_{HK} = f(K_n)$, а на рисунок 4б – $\Delta t = f(K_n)$, рассчитанные соответственно для фиксированных величин емкости катионного обмена скелета породы $Q_{ск} = 0, 0.01, 0.1, 0.3$ и 1 моль/г. Анализ положения точек на графиках показывает, что с ростом глинистости пород и, следовательно, емкости катионного обмена, точки смещаются вправо, что соответствует положению теоретических линий. Графики также показывают, что максимальное смещение точек соответствует глинам гидрослюдистого состава ($Q_{ск} = 0.3$ моль/г). Это служит доказательством достоверности моделей каротажей пористости и их применимости при интерпретации данных ГИС в изучаемом разрезе.

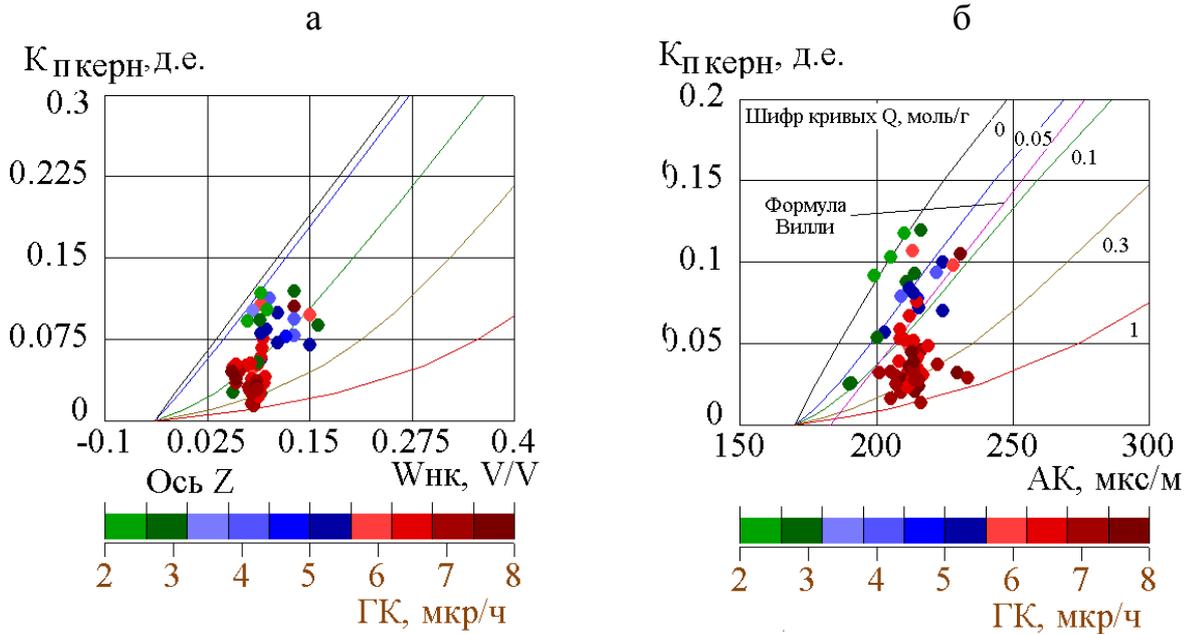


Рис. 4. Сопоставление пористости по керну и показаний водородосодержания (а) и АК (б) нижнемеловых пород по скважинам месторождений ТСНО

Модель связанной воды, которая была применена при интерпретации данных ГИС по месторождениям Терско-Сунженской нефтегазоносной области, записывается следующей формулой:

$$K_{в.св} = \frac{1}{1 + f_{\epsilon} \cdot c \cdot \frac{K_n \cdot K_{\epsilon}}{(Q_n + Q_0)}} + b \cdot K_{ал} \quad (3)$$

При обосновании данной модели были построены графики зависимости $K_{в.св} = f(K_n, K_{np})$, по выборке кернов и по результатам интерпретации комплекса ГИС нижнемеловых отложений различных месторождений по разработанной автором методике. Анализ расположения точек на графиках показал что, по данным ГИС восстанавливается та же закономерность изменения доли связанной воды в породе, что и по данным керна. Это является доказательством применимости модели (3) для расчета остаточной водонасыщенности пород-коллекторов в разрезе нижнего мела на месторождениях Терско-Сунженской нефтегазоносной области.

Для оценки абсолютной проницаемости коллекторов, не обладающих трещиноватостью, применена петрофизическая модель $K_{np} = f(K_n, K_{в.св})$. На основе математического моделирования установлено, что модель обеспечивает достоверное определение проницаемости, что подтверждается и хорошим совпадением кривых распределения, построенных по выборке керна и результатами обработки данных ГИС по предложенной методике.

Автором выполнено математическое моделирование влияния трещиноватости глинистых и не глинистых алевролитов на их физические свойства, определяемые методами ГИС. Как показали расчеты, наличие трещин в объеме до установленной по шлифам и описаниям керна максимальной величины $K_{н.тр}=0.3\%$ оказывает слабое влияние и может не учитываться при определении по данным ГИС емкостных свойств и нефтенасыщенности коллекторов. Разработан способ выделения в разрезе интервалов трещиноватых пород по данным МКЗ, МБК, обосновано применение этого способа для уточнения выделения коллекторов в разрезе (интервалов с повышенной проницаемостью)..

Обоснованные в диссертации петрофизические модели использованы для разработки алгоритма определения свойств терригенных пород ТСНО на основе совместного решения системы уравнений, включающей петрофизические модели и формулу, описывающую структурно-минералогическую модель породы. Созданный автором алгоритм расчетов трещиноватости пород включен в общую схему автоматизированной интерпретации данных ГИС.

В четвертой главе описана разработанная методика интерпретации данных ГИС.

В варианте методики ТАВС, адаптированном автором диссертации для геологических условий мелового комплекса пород ТСНО, применяется предложенная С.В. Афанасьевым и уточненная автором диссертации с учетом петрофизических особенностей изучаемого разреза двухэтапная вычислительная схема комплексной интерпретации данных ГИС по месторождению в целом или по группам скважин.

Этап 1. Выполняется интерпретация данных ГИС по отдельным скважинам. В результате определяются все необходимые параметры. Результаты обработки сохраняются в цифровой форме в файлах с расширением LAS и оформляются в форме планшетов. На основе послойной обработки комплекса ГИС в каждой скважине выделяются относительно однородные по геологическим свойствам прослойки коллекторов, имеющие одно и то же насыщение и средние значения коэффициентов пористости, нефтенасыщенности и абсолютной проницаемости с учетом заданного среднестатистического уровня отклонения в пределах прослоя, а так же с контролем на минимальную величину толщины прослоя 0,4 м.

Этап 2. Результаты сопоставляются по группам скважин в форме литологических разрезов. На планшетах изображаются рассчитанные объемные и флюидальные модели, а также дополнительно по скважинам могут выводиться: исходные каротажные кривые; данные по керну; результаты испытаний; кривые накопленной добычи флюидов и обводнения. По этим данным: 1) анализируется достоверность интерпретации данных ГИС по всем скважинам, подтверждается корректность выбранного алгоритма обработки данных ГИС или вырабатываются решения по его модернизации; 2) уточняются стратиграфические разбивки разреза по скважинам; 3) корректируются данные инклинометрии для обоснованного согласования глубин залегания выделяемых в разрезе геологических тел; 4) устанавливаются контакты флюидов и выделяются отдельные залежи в пределах изучаемого стратиграфического пласта.

Далее по полученным данным рассчитываются подсчетные параметры – эффективные нефтегазонасыщенные толщины, коэффициенты пористости и нефтегазонасыщенности, и подготавливаются данные для геологического моделирования.

Важным этапом интерпретации данных ГИС по скважинам является оценка достоверности определенных геологических свойств пород. В методике ТАВС эта задача решается следующими способами: 1) расчет теоретических

кривых удельного электрического сопротивления (УЭС) ρ_{nm} и аномалий ПС $\Delta U_{ПСm}$ при 100 % водонасыщенности породы, теоретических кривых показаний АК Δt_m , водородосодержания $\omega_{НКm}$ по НКК (НГК, НКТ), объемной плотности δ_{nm} (ГГК) при фактической водонасыщенности пород в разрезе и сравнение теоретических кривых с зарегистрированными в скважине кривыми ГИС;

2) построение стохастических связей между рассчитанными параметрами по отдельным или группам скважин и сравнение этих связей с аналогичными, построенными по данным керна, например, связи $K_{e.cв} = f(K_n)$, $K_n K_e = f(\rho_n)$, $K_{np} = f(K_n, K_{e.cв})$; 3) анализ кривых статистического распределения коэффициентов пористости K_n , нефтенасыщенности K_n , абсолютной проницаемости K_{np} и сравнение их с аналогичными кривыми, построенными по представительным данным керна. Анализ графиков сопоставления этих параметров между собой и с толщиной нефтегазонасыщенных h_n и водонасыщенных h_e прослоев;

4. Прямое сопоставление рассчитанных по слоям или прослоям значений пористости, доли связанной воды и абсолютной проницаемости и сравнение этих данных с осредненными данными по керну, отобранному из интервалов прослоев.

На планшет в месте с вышеперечисленными параметрами выносятся также результаты испытаний, а также другие показания записанные в период эксплуатации скважин. Пример такого планшета для Старогрозненского месторождения, полученный автором диссертации, представлен на рис. 5.

На текущий момент по методике ТАВС с использованием алгоритма, обоснованного в диссертационной работе, обработаны материалы ГИС по скважинам, выполнены исследования материалов лабораторного анализа керна из 63 скважин месторождений Терско-Сунженской нефтегазоносной области. При переинтерпретации материалов каротажа по скважинам были получены

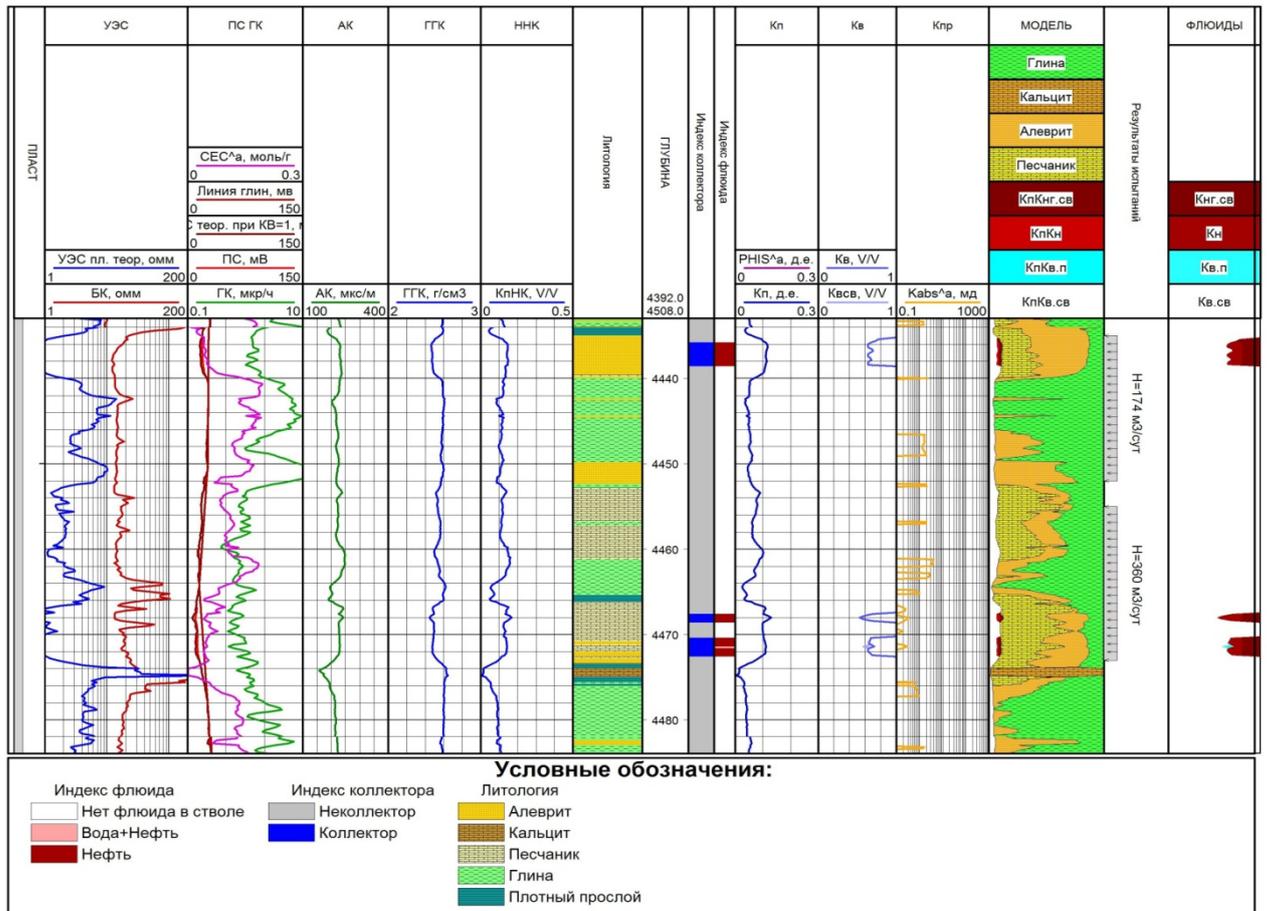


Рис. 5. Пример планшета с результатами интерпретации данных ГИС

объективные данные, свидетельствующие о высокой достоверности разработанного алгоритма обработки данных ГИС.

Определенные в результате обработки данных ГИС по методике ТАВС геологические параметры пород были использованы при построении структурно-минералогических разрезов исследуемой толщи и оценке параметров пород коллекторов, при изучении неоднородности пород изучаемого горизонта и при решении целого ряда геологических задач для дальнейшей разработки месторождений ТСНО.

Особенностью изучаемого геологического комплекса является то, что на территории ТСНО на протяжении последних двадцати лет не бурились новые

скважины на нижнемеловой горизонт и не выполнялась интенсивная эксплуатация месторождений. В связи с этим, основываясь на новых данных о процессах релаксации месторождений (восстановления нефтенасыщения в простаивающих скважинах) (Муслимов Р.Х., Закиров С.Н., Кашик А.С., Лисовский Н.Н.), можно предположить, что в залежах нефти месторождений ТСНО произошли процессы восстановления гидродинамической обстановки и релаксация нефтегазонасыщения. Это может рассматриваться как дополнительный источник увеличения извлекаемой доли остаточных запасов нефти и газа на месторождениях.

В работе проведено сравнение результатов и достоверности методики ТАВС и некоторых других наиболее распространенных методик определения подсчетных параметров на примере ряда месторождений ТСНО, по которым имеется достаточное количество испытаний по продуктивным пластам (табл.1).

Результаты сравнения показывают, что методика ТАВС является приемлемой для определения подсчетных параметров альб-аптских отложений ТСНО.

Анализ представленных в таблице данных показал, что по сравнению с ранее принятыми значениями: 1) существенно увеличились эффективные мощности по месторождениям Старогрозненское и Эльдарово; 2) по всем месторождениям наблюдается увеличение определенных по данным ГИС величин коэффициентов пористости и проницаемости; 3) возрастает оценка коэффициента нефтенасыщенности.

Результаты диссертационного исследования обеспечивают достоверное и углубленное изучение геологии и нефтегазоносности месторождений на территории ТСНО.

На основе выполненных исследований для терригенных отложений ТСНО получены данные, свидетельствующие о высоком промышленном потенциале месторождений нефти, что особенно важно в современных условиях восстановления нефтедобывающей промышленности Чеченской Республики и определения его вклада в общий энергетический потенциал РФ.

Таблица 1

Сравнительный анализ подсчетных параметров, определенных по методике ТАВС и значений принятых ранее

Площадь Карабулак-Ачалукская		
Подсчетные параметры	Ранее принятые	Определенные по методике ТАВС
$H_{эф}^{cp}, м$	23,3	-
$K_n^{cp}, \%$	15,5	16,8
$K_n^{cp}, \%$	47	47,9
Площадь Малгобек-Вознесенская		
$H_{эф}^{cp}, м$	4,0	-
$K_n^{cp}, \%$	15,5	15,9
$K_n^{cp}, \%$	44,0	45,2
Площадь Хаян-Кортовская		
$H_{эф}^{cp}, м$	8,8	-
$K_n^{cp}, \%$	12,8	13,7
$K_n^{cp}, \%$	43,0	44,5
Площадь Старогрозненская		
$H_{эф}^{cp}, м$	11,8	17,3
$K_n^{cp}, \%$	11,8	14,7
$K_n^{cp}, \%$	53,0	60,3
Площадь Эльдаровская		
$H_{эф}^{cp}, м$	4,3	4,7
$K_n^{cp}, \%$	9	12
$K_n^{cp}, \%$	40	43

В заключении даются основные научные и практические результаты выполненных исследований, которые сводятся к следующему:

1. Развито представление о модели и коллекторских свойствах терригенных пород нижнего мела ТЧО и на основе этого разработаны требования к уровню интерпретации данных ГИС, а также выработаны критерии выделения в разрезе коллекторов различной структуры на основе определения по данным

каротажа фракционного состава скелета терригенных пород, их пористости и абсолютной проницаемости.

2. Обоснована система петрофизических моделей для интерпретации комплекса данных ГИС, зарегистрированного в скважинах в интервалах залегания альб-аптских отложений ТСНО.

3. Разработан алгоритм углубленной интерпретации данных ГИС, позволяющий определить непрерывно вдоль ствола скважины в разрезе альб-аптских отложений ТСНО содержание в скелете песчаной, алевритовой и глинистой фракций, пористости, доли связанной и подвижной воды, нефти, абсолютной проницаемости. Алгоритм реализован в системе автоматизированной интерпретации данных ГИС Gintel в форме адаптации методики ТАВС.

4. Разработана методика поиска и выявления в нижнемеловых месторождениях ТСНО насыщенных нефтью участков, которые по разным причинам не были выявлены предыдущими методиками интерпретации.

5. Выполнено математическое моделирование влияния трещиноватости глинистых и не глинистых алевролитов на их физические свойства, определяемые методами ГИС и установлено слабое ее влияние при определении по данным ГИС емкостных свойств и нефтенасыщенности коллекторов.

6. Разработан способ выделения в разрезе интервалов трещиноватых пород по данным микроэлектрических методов, обосновано применение этого способа для уточнения выделения коллекторов в разрезе.

7. В результате сравнительного анализа значений подсчетных параметров, принятых ранее, и полученных при использовании методики ТАВС обоснована эффективность применения предлагаемой методики, по новому оценен текущий потенциал нефтяных месторождений ТСНО.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Издания, определенные ВАК

1. Петрофизические характеристики терригенных нижнемеловых продуктивных коллекторов Терско-Сунженской нефтегазоносной области как

основа интерпретации данных ГИС. НТВ Каротажник, № 8 (185), Тверь, 2009 г., с. 3-9 (в соавторстве с Хасановы М.А.).

2. Обоснование модели электропроводности для аптских отложений Терско-Сунженской нефтегазоносной области. НТЖ Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, №8, М., ОАО «ВНИИО-ЕНГ», 2011 г., с. 41-43 (в соавторстве с Афанасьевым С.В., Хасановым М.А.).

В других изданиях

3. Применение автоматизированной системы визуальной интерпретации результатов геофизических исследований скважин («Gintel»). Тезисы доклада на международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве, науке и образовании», Грозный 2010 г., с. 69-71 (в соавторстве с Хасановым М.А.).
4. Опыт применения автоматизированных систем оцифровки и визуальной интерпретации результатов ГИС для изучения терригенных коллекторов ТСНО. Геология в развивающемся мире, Сборник научных трудов (по материалам Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых), Пермь 2011г, с. 135-137.
5. Система автоматизированной визуальной интерпретации результатов геофизических исследований скважин «Gintel» на примере терригенных отложений Терско-Сунженской нефтегазоносной области. Вестник академии наук Чеченской Республики, №2 (13), Грозный, 2010 г., с. 73-77. (в соавторстве с Хасановым М.А.).
6. История изученности нижнемеловых терригенных коллекторов Терско-Сунженской нефтегазоносной области. История наук о земле. Сборник статей, Выпуск 4, М., ИИЕТ РАН, 2011г, с. 299-306 (в соавторстве с Хасановым М.А.).
7. Обоснование моделей каротажей пористости для альб-аптских отложений Терско-Сунженской нефтегазоносной области. Тезисы доклада на VIII

международной научно-практической конференции молодых специалистов «Геофизика 2011», СПб., 2011 г., с. 113-116.

8. Использование методики автоматизированного восстановления свойств пород при интерпретации данных ГИС нижнемеловых отложений Терско-Сунженской нефтегазоносной области. Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», Грозный, 2011 г., с. 323-328.