

На правах рукописи



ЧЕРЕПАНОВ ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАБОТКИ И
ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ
СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕРРИГЕННЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поиска
полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Тюмень - 2018

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

Научный руководитель: **Туренко Сергей Константинович**, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», заведующий кафедрой «Прикладная геофизика», г. Тюмень

Официальные оппоненты: **Лобанков Валерий Михайлович**, доктор технических наук, профессор ФГБУ ВО «Уфимский нефтяной технический университет», заведующий кафедрой «Геофизические методы исследований», г. Уфа

Ефимов Виктор Абрамович, кандидат геолого-минералогических наук, ТО «СургутНИПИнефть» ПАО «Сургутнефтегаз», начальник отдела «Петрофизических алгоритмов», г. Тюмень

Ведущая организация: ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Защита состоится 04 декабря 2018 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета Д 212.273.05 при Тюменском индустриальном университете по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 56, аудитория 113.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТИУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72; на сайте ТИУ 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: semenovtv@tyuiu.ru

Автореферат разослан 20 октября 2018 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Т. В. Семенова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В основе решения поисково-разведочных задач на нефть и газ в Западной Сибири лежит комплекс методов геофизических исследований скважин (ГИС) – сейсморазведка. Сейсмогеологические модели являются основой для построения геологических моделей нефтегазовых объектов. В последние годы, в связи с усложнением геологоразведочных задач и ограниченностью ресурсов, особое внимание уделяется повышению эффективности геофизических исследований. Повышение требований к качеству сейсмогеологических моделей обуславливает настоящий запрос на более высокую достоверность геофизических исследований скважин, обеспечивающих петрофизическую основу интерпретации. От этого зависит точность привязки данных сейсморазведки и результаты сейсмогеологических построений в целом.

Качество результирующих построений по данным в скважинах зависит от многих факторов в числе которых следует отметить:

1. наличие в измеренных данных ошибок (искажений) негеологической природы (каверны в скважинах, аппаратурные искажения информации, помехи при измерениях);
2. наличие большого числа скважин, в которых либо не записаны необходимые кривые акустического (АК) и гамма-гамма-плотностного (ГГК-П) каротажей, либо измерения выполнены на отдельных интервалах;
3. отсутствие в ряде случаев надежных петрофизических моделей, позволяющих создавать петрофизическую основу построения сейсмогеологических моделей по всему исследуемому интервалу.

Степень разработанности темы исследований. Решение указанных вопросов как с теоретических, так и с практических позиций нашло отражение в работах многих авторов, в числе которых такие специалисты, как: Б. Н. Ивакин, Е. В. Карус, О. Л. Кузнецов, Ю. А. Курьянов, В. З. Кокшаров, Л. В. Кузнецова, Е. О. Беляков, А. В. Хабаров, В. В. Стрельченко, и др. К исследованию названных проблем обращались иностранные ученые, среди которых А. А. Кауфман, А. Л. Левшин и др. Высоко оценивая научную значимость работ названных исследователей, отметим, однако, что они

рассматривали затрагиваемые, в работе, вопросы по отдельности, не касаясь совершенствования технологии в целом.

С практической точки зрения наиболее эффективным является комплексное решение указанных проблем.

Исходя из вышесказанного, считаем, что методическое обеспечение обработки и интерпретации данных ГИС с целью построения сейсмогеологических моделей на основе анализа решаемых геологических задач и опыта использования различных методов является актуальным.

Цели исследований - разработка методического обеспечения обработки и интерпретации данных ГИС, позволяющего обеспечить повышение качества результирующих сейсмогеологических моделей.

Основные задачи исследования:

1. Анализ проблем петрофизического обеспечения для целей построения сейсмогеологических моделей;
2. Разработка методики обработки каротажных кривых с целью исключения не геологических факторов;
3. Разработка методических основ оценки качества каротажных кривых;
4. Разработка технологии моделирования акустических и плотностных параметров по разрезу в случае отсутствия их записи;
5. Разработка методики построения непрерывных петрофизических параметров для задач сейсмогеологического моделирования;
6. Апробация разработанных методик и технологий.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Разработан адаптивный подход к обработке данных ГИС для целей построения сейсмогеологических моделей, основанный на формализации критерия качества результатов обработки;
2. Обосновано развитие методики Гарднера для восстановления плотности пород по данным акустического каротажа, позволяющее дополнительно учитывать литологию и глубину;
3. Разработана технологическая схема (методика) моделирования акустических и плотностных параметров по разрезу скважин для терригенных и карбонатных отложений Западной Сибири, основанная на систематизации опыта практического использования известных методик и формализации критерия оценки

качества результатов, позволяющая выбрать наиболее эффективную методику для решаемой задачи;

4. Разработана интерпретационная методика определения петрофизических параметров для построения сейсмогеологических моделей. Как правило, сейсмогеологическое моделирование реализуется для большого целевого интервала разреза, включающего продуктивные и непродуктивные пласты. Зависимости между основными петрофизическими параметрами на керне строятся с учетом пористости скелета.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Предварительно обработанные рассмотренными способами материалы скважинных исследований обладают лучшим качеством, что позволяет снизить вероятность проявления факторов, не связанных с геологическим строением среды. Разработанная методика восстановления акустических и плотностных кривых позволяет использовать при построении сейсмогеологической модели большее количество скважин. Предложенная интерпретационная методика построения непрерывных по разрезу скважины петрофизических моделей среды дает возможность для прогноза петрофизических параметров горных пород, как по вертикали, так и по латерали, что, в конечном счете, повышает достоверность получаемых сейсмогеологических моделей. Методическое обеспечение, представленное в данной работе, опробовано в 53 сейсмогеологических проектах различных месторождений, освоением которых занимается ООО «Лукойл» - Западная Сибирь.

Методы исследования:

1. Системный анализ процессов обработки и интерпретации данных ГИС, построение петрофизических моделей;
2. Методы математической статистики;
3. Имитационное моделирование обрабатывающих и интерпретационных алгоритмов;
4. Использование профессиональных пакетов программ для обработки и интерпретации данных ГИС.

Защищаемые положения:

1. Разработанная адаптивная методика обработки (исправления) кривых акустического (АК) и плотностного (ГПК-п) каротажа вследствие влияния аппаратных ошибок и технического состояния

ствола скважины, позволяет повысить и контролировать (оценить количественно) качество АК и ГГК-п.

2. Разработанная методика восстановления (расчета) кривых АК и ГГК-п по данным других методов ГИС позволяет использовать наиболее эффективные для конкретной ситуации способы восстановления и контролировать (оценивать количественно) качество результирующих кривых, подготовленных для задач сейсмогеологического моделирования.

3. Разработанное петрофизическое обеспечение непрерывной интерпретации с учетом пористости скелета позволяет эффективно определять по данным керна и ГИС петрофизические параметры, необходимые для решения задач сейсмогеологического моделирования терригенных отложений Западной Сибири.

Степень достоверности результатов проведенного исследования. Представленная работа является результатом 17-летних исследований, проведенных автором на обширном геолого-геофизическом материале, включающем данные 1936 поисково-разведочных и 2266 эксплуатационных скважин, пробуренных на месторождениях Западной - Сибири. Используются материалы площадных сейсморазведочных работ 3D на Восточно-Каменной и Южно-Каменной площади, Южно-Ватьеганском, Покамасовском участке, Покачевском, Нивагальском, Равенском, Поточном, Малоключевом, им. Виноградова и др. месторождениях, интерпретация которых выполнена при участии автора.

Достоверность проведенного исследования подтверждается привлечением большого объема фактического материала (данных геофизических исследований в скважинах и лабораторных исследований керна). Корректным использованием методов обработки и интерпретации данных ГИС. Высокой сходимостью результатов моделирования с исходными данными в эталонных скважинах. Широкой апробацией результатов работы более чем в 50 производственных отчетах. Основные результаты работы опубликованы в открытой печати, они неоднократно обсуждались на различных конференциях и получили одобрение ведущих специалистов.

Сравнение с зарубежными аналогами. Зарубежное петрофизическое обеспечение изначально направлено на непрерывную (поточечную) интерпретацию литотипов (горных

пород) по разрезу скважины, и в этом направлении накоплен большой теоретический и практический опыт. На месторождениях Западной Сибири подобные работы широкого применения ранее не находили и стали активно осуществляться только в последнее время. Геофизические исследования скважин разных лет не всегда содержат информацию, необходимую для интерпретации с использованием известных зарубежных методик. Кроме того, методики Гарднера и Фауста используемые, для восстановления акустических и плотностных свойств разреза, являются обобщенными и не учитывают конкретных условий исследования. Предлагаемые в рамках данного исследования, методики, разработанные и опробованные на месторождениях Западной Сибири, являются более точными, так как более полно учитывают различные геолого-технические условия.

Апробация и реализация результатов диссертации.

Результаты проведенных исследований используются при подготовке студентов-геофизиков в Тюменском индустриальном университете. Основные положения диссертации докладывались на научно-практических конференциях, в их числе: XI конкурс молодых ученых и специалистов ООО «КогалымНИПИнефть» (г. Тюмень 2009 г.); «Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа» (г. Ханты-Мансийск, 2011 г.); «Перспективы нефтегазоносности Западно-Сибирской нефтегазовой провинции» (г. Тюмень, 2011 г.); «Современные геолого-геофизические исследования и работы в нефтегазовых скважинах» (с. Ольгинка, 2011 г.); «Геомодель» (г. Геленджик, 2011, 2013, 2017 гг.); XII, XIII, XIV конференции молодых специалистов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (г. Ханты-Мансийск 2012, 2013, 2014 г.г.); XIII конкурс Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени на лучшую научно-техническую разработку молодых ученых и специалистов за 2012 г.; «Современные технологии нефтегазовой геофизики» (г. Тюмень 2015, 2017, 2018 гг.); IV и V Балтийская школа - семинар «Петрофизическое моделирование осадочных пород» (г. Петергоф 2015 и 2016 гг.).

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 132 страницах и включает 72 рисунка, 2 таблицы, одно приложение. Список литературы насчитывает 150 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* обоснована актуальность работы, сформулированы цели и основные задачи исследования, защищаемые положения, научная новизна, апробация результатов и практическая значимость диссертационной работы.

Количественные оценки параметров пластов по результатам анализа данных сейсморазведки подразумевают проведение сейсмической инверсии, которая заключается в преобразовании сейсмических трасс в трассы акустического импеданса. В дальнейшем данные по акустическому импедансу используются для прогноза коллекторских свойств исследуемого интервала. Процесс инверсии предполагает использование, наряду с сейсмическими данными, априорной информации о скорости и акустическом импедансе, рассчитанной по разрезу скважин на основании данных акустического (АК) и гамма-гамма плотностного (ГГК-п) методов. Достоверность прогноза скоростной модели среды в низкочастотной области оценивается путем сопоставления полученных по данным сейсморазведки импедансов с результатами, определенными по данным геофизических исследований скважин (ГИС).

Сложность прогноза заключается в том, что вертикальная разрешенность сейсмического волнового поля, которая может служить опорой при интерполяции данных ГИС (коллекторских свойств в межскважинное пространство), гораздо меньше, чем вертикальная разрешенность данных ГИС. Результатом сейсмической инверсии является толстослоистая акустическая модель, охарактеризованная значениями скорости продольных волн и плотности, которые функционально связаны с коллекторскими свойствами пластов. Акустический импеданс, или акустическая жесткость, математически определяемый как произведение скорости упругих волн в породе на значение плотности, во-первых, в большинстве случаев хорошо коррелируется с литологией, пористостью и т. д., во-вторых, тесно связан с динамическими характеристиками отраженных волн, т. е. является связующим физическим параметром при интегрированной обработке данных каротажа и сейсморазведки.

Прежде чем приступить к комплексированию данных ГИС и сейсморазведки, необходимо исключить проблемы, связанные с качеством регистрации каротажных кривых или отсутствием их

записи, а также разработать специальное петрофизическое обеспечение. Технологические приемы и методические решения поставленных задач рассматриваются в данной диссертационной работе.

В первой главе предложен адаптивный (управляемый) подход к обработке данных ГИС для целей построения сейсмогеологических моделей, основанный на формализации показателей качества кривых ГИС и взаимоувязанном учете основных факторов, не связанных с изучаемыми объектами. Вопросами обработки данных ГИС в литературе и на практике уделяется значительное внимание. В своих исследованиях автор опирался, прежде всего на работы В. А. Ефимова, А. В. Мальшакова, Е. О. Белякова, А. В. Хабарова, В. З. Кокшарова, Л. В. Кузнецова, Ю. А. Курьянова.

В Западной Сибири основными факторами негеологического плана, влияющими на качество кривых, являются технологическое состояние ствола скважины (наличие каверн) и аппаратурные ошибки регистрации данных. Прежде чем использовать геофизические кривые, их необходимо обработать. Обработка кривых ГИС состоит из следующих этапов:

1. Редакция кривых (увязка кривых между собой по глубине, сшивка, если запись проводилась в разных интервалах отдельно);
2. Исправление срывов записи, связанных с влиянием каверн;
3. Исправление срывов записи, связанных с аппаратурными ошибками (пропуск фаз);
4. Оценка качества кривых до и после их обработки.

С целью оценки качества данных ГИС введено понятие **интегральной оценки качества кривых** (данных ГИС, используемых для целей построения сейсмогеологических моделей). Суть его в том, что по интервалу обработки предлагается показатель качества – КК, количественно учитывающий перечисленные выше факторы.

$$КК = (1 - P_{кав}) * (1 - P_a) * (1 - P_n) \quad (1)$$

Где КК – коэффициент качества, $P_{кав}$ – вероятность ошибки из-за каверн, P_a – вероятность ошибки из-за недоучета аппаратурных ошибок, P_n – вероятность ошибки, связанной со стандартизацией кривых.

Вероятность ошибок из-за влияния каверн оценивается путем отнесения суммы всех интервалов, осложнённых кавернами, к интервалу обработки и описывается соотношением:

$$P_{\text{кав}} = \frac{\sum h_{\text{кав}i}}{N} \quad (2)$$

где N – мощность интервала обработки, $\sum h_{\text{кав}i}$ – сумма толщин каверн в интервале обработки.

Если все процедуры по исправлению каверн выполнены, то вероятность ошибки $P_{\text{кав}}$ будет стремиться к 0.

Аналогичным образом, путем отнесения суммы всех интервалов, в которых выявлены аппаратурные ошибки, к интервалу обработки оцениваются срывы записи на каротажных кривых АК и ГГК-П. Сам показатель P_a описывается уравнением:

$$P_a = \frac{\sum h_{ai}}{N} \quad (3)$$

где N – мощность интервала обработки, $\sum h_{ai}$ – сумма толщин интервалов с выявленными искажениями на записи кривых в результате аппаратурных ошибок.

При стандартизации кривых АК и ГГК-П проводится их приведение к эталонным величинам опорной скважины. Степень сходимости стандартизируемой и опорной скважин характеризуется коэффициентом корреляции – $R_{\text{ак}}(\text{ггк} - \text{п})$ между значениями АК (ГГК-П) в текущей и опорной скважинах, который и используется для оценки вероятности ошибки, связанной с нормализацией (масштабированием) кривых.

$$P_n = 1 - R_{\text{ак}}(\text{ггк} - \text{п}) \quad (4)$$

В процессе обработки каротажных кривых АК и ГГК-П происходит уменьшение ошибок $P_{\text{кав}}$, P_a , P_n , в результате чего возрастает их качество - КК.

В качестве формального **показателя эффективности обработки** можно рассматривать показатель

$$K_{\text{Эо}} = \frac{K_{\text{Квых}} - K_{\text{Квх}}}{1 - K_{\text{Квх}}} \quad (5)$$

где $K_{\text{Эо}}$ – показатель эффективности обработки, $K_{\text{Квх}}$ – значение показателя качества кривой до обработки, $K_{\text{Квых}}$ – значение показателя качества после обработки.

Поскольку предложенный показатель качества кривых является интегральным, в дополнение к нему предлагается использовать **функцию надежности** кривых

$$KH(z) = 1 - \frac{\Phi_1(z) + \Phi_2(z) + \Phi_3(z)}{3} \quad (6)$$

где Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 - перечисленные выше факторы (влияние каверн, аппаратурные ошибки, не стандартизованные кривые), принимающие значения 0 (отсутствует фактор), 1 (присутствует фактор); z - глубина.

При $KH(z) = 1$ влияние перечисленных факторов отсутствует.

При $KH(z) = 0$ все перечисленные факторы присутствуют (это наименее надежные участки кривых ГИС).

Функция надежности может рассчитываться до и после обработки кривых ГИС. При этом, если влияние какого-либо фактора уверенно исключено, то он принимается равным 0 при расчетах, в противном случае - 1.

При построении сейсмогеологической модели функция надежности, играя роль протокола состояния данных, дает дифференциальную (поинтервальную, поточечную) оценку субъективности кривых ГИС и указывает места, к которым нужно в первую очередь вернуться при рассогласовании комплекса данных ГИС – сейсморазведки.

На этапе комплексирования данных ГИС и сейсморазведки, специалистам, обладая такой дополнительной информацией, легче принять решение, связанное с оценкой качества результирующей сейсмогеологической модели и корректировкой, при необходимости, графа обработки входной информации.

Во второй главе рассматривается проблема частичного или полного отсутствия записи в скважинах необходимых для сейсмо моделирования методов ГИС. Предлагается методическое обеспечение моделирования акустических и плотностных параметров в скважинах для построения сейсмогеологических моделей нефтегазовых объектов Западной Сибири, базирующееся на анализе и систематизации имеющегося опыта и формализации оценки качества результатов моделирования. Проанализированы различные методики восстановления акустических и плотностных свойств разреза по данным ГИС. При проведении исследований автор опирался на работы Б. Н. Ивакина, Е. В. Каруса, О. Л. Кузнецова, Ю. А. Курьянова, В. З. Кокшарова, Л. В. Кузнецова, Е. О. Белякова, А. В. Хабарова, В. В. Стрельченко, и др. На основе анализа опыта использования известных и авторских методик предложена методическая схема выбора и реализации наиболее эффективных способов

восстановления акустических и плотностных параметров в скважинах. Помимо определения области применимости и установления приоритетов для рассмотренных методик, в работе предложена методика количественной оценки качества восстановления указанных параметров.

Методы ГИС, имеющие различную физическую основу, по-разному реагируют на изменение упруго-деформационных свойств горных пород по разрезу скважин. Проведенные ранее исследования и накопленный практический опыт показывают, что наилучшей корреляцией с АК обладают показания нейтронных (НКТ) и электрометрических методов – кажущегося сопротивления (КС). При этом НКТ обладают лучшей корреляцией с АК по сравнению с КС.

В работе проанализированы методики восстановления:

Кривой АК:

1. по данным методов КС (Faust L. Y., 1953 г.);
2. по данным метода НКТ (построение эмпирической зависимости на эталонной скважине);

Кривой ГГК-П:

1. по данным метода АК (Gardner L. W., 1974 г.);
2. по данным АК и ПС (построение эмпирической зависимости на эталонной скважине);
3. из кривой пористости (петрофизический подход);
4. по данным АК и НКТ (развитие методики Gardner L. W.).

Методика восстановления кривой плотности по данным АК (Gardner L. W., 1974 г.)

Гарднер Л. В. в 1974 году установил зависимость между скоростью (v) сейсмической Р (продольной)-волны и плотностью (σ) для различных типов осадочных пород:

$$\sigma = a * v^b \quad (8)$$

где σ - плотность – в $г/см^3$, v – скорость – в $м/с$, a и b – зависящие от литологии коэффициенты (для песчано-глинистого разреза $a=309.545$, $b=0.25$).

Скорость Р-волны можно определить из показаний интервального времени зонда АК по следующему уравнению:

$$v = 10^6 / АК \quad (9)$$

Попытки использовать уравнение (8) для восстановления кривой плотности ГГК-П показали, что данный метод является

слишком обобщенным, и при работе с конкретными объектами его использовать нежелательно.

Усовершенствованная методика Гарднера

В работе предложено развитие методики Гарднера, позволяющее строить зависимость плотности (ГГК-П) от скорости (АК) - $\sigma = f(v)$ с учетом литологии и глубины. Предложенная методика более эффективная, чем методика Гарднера.

Постоянная величина a заменена на переменную – А (К, Н), зависящую от литологии (К) и глубины (Н). Для этого из формулы (8) выражается величина a и по данным метода ГГК-П и АК в эталонной скважине рассчитываются значения a для каждой литологической разности с учетом глубины.

$$A(K, H) = \frac{\sigma_{(K,H)}}{v^{b_{(K,H)}}} \quad (10)$$

где К – индекс литологической разности, Н – глубина (м). Результатом является кривая - А.

Для терригенного разреза значения А, полученные указанным способом, меняются в пределах от 280 до 340 в зависимости от литологии горных пород, причем в интервалах каверн эта величина может снижаться до 220.

Экспериментальным путем получена зависимость между кривой нейтронного каротажа (НКТ) и расчетной кривой А с учетом глубины:

$$A_{расч} = -50.1 * \lg(NKT) + 35.85 * \lg(H) + 224.3 \quad (11)$$

Тем самым из уравнения (8) получаем уравнение (12), адаптированное к конкретному геологическому разрезу.

$$\sigma = A_{расч}(K, H) * v^b \quad (12)$$

Анализ решения практических задач показывает, что усовершенствованная методика Гарднера более эффективна, чем авторская. Предложенную методику можно применять в скважинах, где отсутствует запись ГГК-П и имеются данные АК и НКТ.

Для решения практических задач на основе проведенного анализа разработана методическая схема решения практических задач восстановления акустических и плотностных параметров по данным ГИС.

Схема (рис. 1) составлена с учетом имеющихся в скважине данных и относительной эффективности представленных методик.

Каждый из перечисленных методов имеет свою эффективность и область применения.

На данный момент методика восстановления АК из НКТ является одной из самых распространённых, так как получаемый при ее использовании результат имеет хорошее качество. Очевидный плюс этой методики заключается в том, что при редкой сети разведочных скважин и недостаточном количестве исследований АК можно привлекать эксплуатационные скважины (желательно субвертикальные), в которых всегда проводят запись метода НКТ. В случае отсутствия записи НКТ в скважине можно воспользоваться кривой сопротивления КС для восстановления акустических характеристик разреза по известной методике Фауста.

Используя различные методики, мы получаем восстановленные параметры различного качества. Принципиально важной является количественная оценка качества восстановленных и измеренных параметров, используемых при построении сейсмогеологических моделей.

В работе предложена **методика оценки качества результатов моделирования кривых ГИС.**

Развивая подход, предложенный для оценки качества обработанных кривых, для **интегральной оценки качества восстановленных кривых АК и ГГК-П** по интервалу обработки предлагаем показатель качества – ККв, количественно учитывающий показатели качества входных данных и выбранного метода восстановления кривых.

$$\text{ККв} = \text{Рв} * \text{Рм} \quad (13)$$

где:

ККв – коэффициент качества восстановленных данных, Рв – показатель качества входных данных, Рм – показатель качества метода восстановления.

Качество входных данных (НКТ, КС, АК), используемых при моделировании, можно оценить путем их приведения к эталонным величинам опорной скважины.

Показателем качества входных данных (Рв) в данном случае будет величина коэффициента корреляции между значениями входных кривых (НКТ, КС, АК) стандартизируемой и опорной скважин. Пример такой корреляции приведен на рисунке 2.

Схема восстановления метода АК

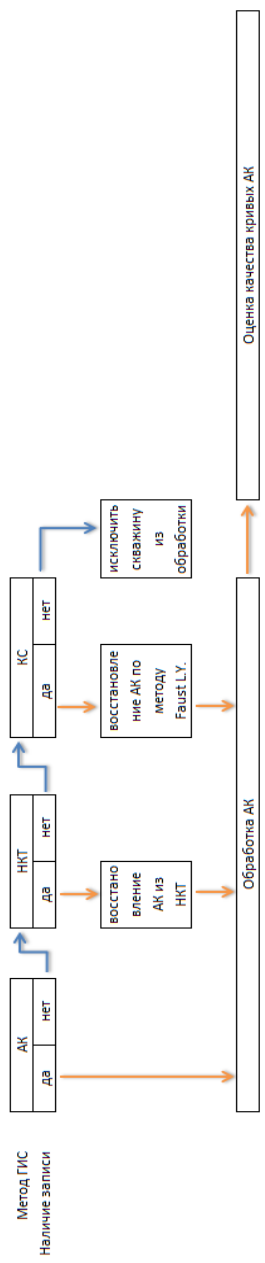


Схема восстановления метода ГГК-П

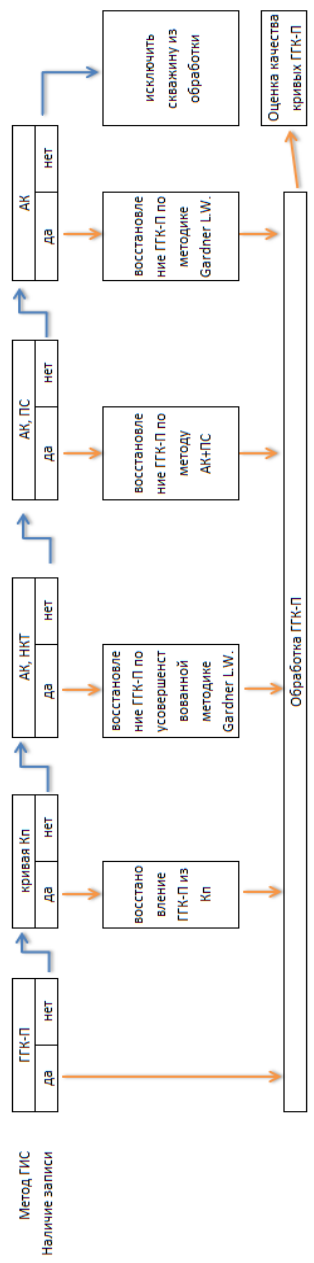


Рисунок 1 - Методическая схема восстановления кривых АК и ГГК-П по данным ГИС с учетом приоритетности

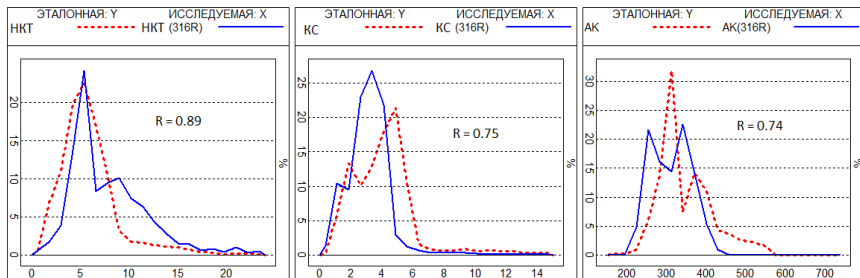


Рисунок 2 - Пример корреляции между значениями входных кривых (НКТ, КС, АК), стандартизируемой (316R) и опорной скважин

Для оценки качества (R_m) выбранного метода восстановления кривых необходимо по предлагаемым методикам сопоставить в эталонной скважине зарегистрированные и синтетические (восстановленные) кривые АК и ГК-П. Коэффициент корреляции зарегистрированных и синтетических кривых будет характеризовать качество метода восстановления. Так, на рисунке 3 показаны гистограммы распределения интервального времени по зарегистрированным кривым АК и псевдо-акустическим кривым, рассчитанным через уравнение Фауста и из нейтронного каротажа. На гистограммах приведены коэффициенты корреляции, показывающие сходимость зарегистрированных и псевдо-акустических кривых. Аналогично строятся гистограммы распределений для метода ГК-П.

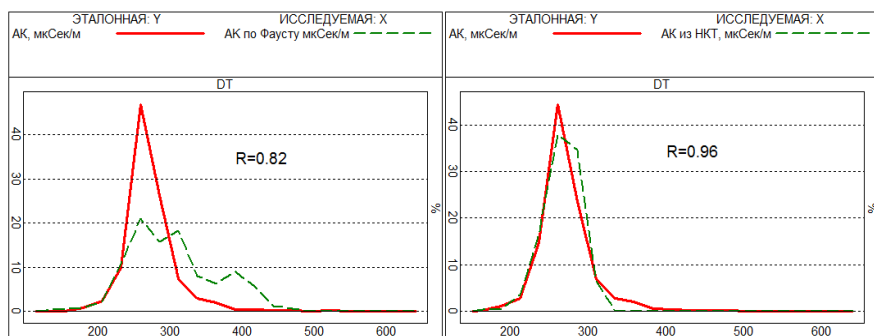


Рисунок 3 - Пример распределения свойств метода АК и псевдо-акустических кривых, рассчитанных через уравнение Фауста и нейтронного каротажа

В третьей главе предложена методика определения петрофизических параметров по данным геофизических исследований скважин (ГИС) для решения задач сейсмогеологического моделирования. Зависимости между основными петрофизическими параметрами на керне строятся с учетом пористости скелета. Для прогноза петрофизических параметров по данным ГИС предложена методическая схема, учитывающая наличие данных ГИС и их качество. Разработанная методика позволяет определять петрофизические параметры по всему стволу скважин.

Основными этапами указанной методики являются:

1. Построение петрофизических связей по данным лабораторных исследований керна.
2. Построение моделей прогноза петрофизических параметров по данным ГИС.
 - 2а. Расчленение разреза по скважинам на литотипы.
 - 2б. Построение модели интерпретации данных ГИС.
3. Оценка качества результата.

Построение петрофизических связей на керне

При решении задач сейсмогеологического моделирования как для уточнения известных сейсмогеологических моделей, так и для поиска новых перспективных интервалов возникает необходимость определения ряда петрофизических параметров, таких, как пористость (Кп), глинистость (Кгл), проницаемость (Кпр), эффективная (Кп.эф) и скелетная (Кп.ск) пористость содержание песчаников, алевролитов по всему стволу скважин.

Потребность в разработке адекватной петрофизической модели возникает, в первую очередь, из-за отсутствия методического обеспечения для непрерывной интерпретации данных ГИС по всему стволу скважины.

В данной работе предлагается строить связи между петрофизическими параметрами с учетом пористости скелета.

Переход от двухмерных зависимостей между основными петрофизическими параметрами, представленными в подсчете запасов, к трехмерным зависимостям, учитывающим пористость песчано-алевритовой матрицы (Кп.ск.), позволяет описывать широкий спектр литологических разностей как коллекторов, так и неколлекторов. Данное обстоятельство позволяет строить объемные

минералогические модели, выполнять непрерывную параметризацию изучаемого объекта основными петрофизическими параметрами (Кп, Кгл, Кпр, Кво, Кп.эф, Кп.ск.) с глубиной и тем самым обеспечивать необходимыми данными инверсионные построения для задач сейсмогеологического моделирования.

Литологическое расчленение разреза, выделение коллекторов

Расчленение геологического разреза по литотипам является важной задачей при сейсмогеологическом моделировании. Значимость данной процедуры заключается в том, что необходимо иметь информацию о петрофизических характеристиках пород, встречаемых в разрезе скважин. Для этого сначала разрез расчленяется на литотипы, для которых затем определяются петрофизические характеристики.

Проведен анализ методик **определения петрофизических параметров по данным ГИС.**

Один из основных параметров, используемых для прогноза петрофизических параметров при сейсмогеологическом моделировании, – пористость.

В работе проанализированы методики определения пористости по данным нейтронного, гамма-гамма-плотностного и акустического методов.

Представлена методика **оценки качества результатов определения пористости.**

Используя различные методики, мы получаем коэффициенты пористости (Кп) различного качества. Принципиально важной является количественная оценка качества определенных параметров, используемых при построении сейсмогеологической модели.

Развивая подход, предложенный для **оценки качества обработанных кривых**, для **интегральной оценки качества восстановленных кривых АК и ГГК-П** аналогичным образом предлагаем ввести показатель качества – ККп, количественно учитывающий показатели качества входных данных и методов определения пористости.

$$ККп = R_v * P_p \quad (14)$$

Где ККп – коэффициент качества определяемого параметра (Кп); R_v – показатель качества входных данных; P_p – показатель качества метода определения пористости.

Качество входных данных (НКТ, ГГК-П, АК), используемых для расчета коэффициента пористости, можно оценить путем их приведения к эталонным величинам опорной скважины.

Показателем качества входных данных (P_v) в данном случае будет величина коэффициента корреляции между значениями входных кривых (НКТ, ГГК-П, АК) стандартизированной и опорной скважин. Пример такой корреляции приведен на рисунке 4.

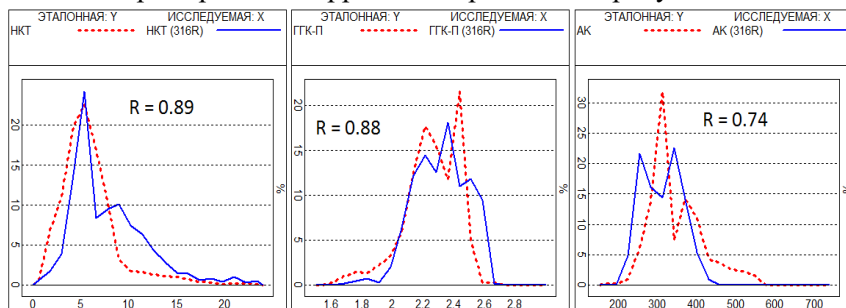


Рисунок 4 - Пример корреляции между значениями входных кривых (НКТ, ГГК-П, АК) стандартизированной (316R) и опорной скважин

Для оценки качества (P_p) методов определения пористости необходимо сопоставить определение пористости по методам НКТ, АК и ГГК-П с керном. Коэффициент корреляции между определенными параметрами по ГИС и керну будет характеризовать качество результатов определения.

Таким образом, опираясь на предложенные количественные показатели, можно оценивать эффективность методик определения петрофизических параметров и использовать для интерпретации наиболее эффективные из них.

Полученные кривые пористости дают возможность охарактеризовать весь изучаемый разрез как по коллекторам, так и по неколлекторам. Результат данной работы позволяет сделать более достоверный прогноз петрофизических параметров посредством сейсмогеологического моделирования.

В четвертой главе рассматриваются примеры реализации предложенных автором методических подходов при решении различных задач сейсмогеологического моделирования.

Данные ГИС при сейсмогеологическом моделировании привлекаются при выполнении следующих операций:

1. Привязка данных сейсморазведки к скважинам.
2. Прогноз – определение литологии и данных насыщения по данным сейсморазведки и ГИС:

2.1. Интерполяция ГИС между скважинами в границах горизонтов, определенных по сейсморазведке (двухмерные и трехмерные модели).

2.2. Петроупругое моделирование (Rock Physics) - прогноз литологии и коллекторских свойств.

2.3. Инверсионные построения по данным сейсморазведки и ГИС.

Полученный результат напрямую зависит от качества входной информации, в частности, от данных ГИС.

Влияние эффективности обработки данных ГИС на этапе привязки данных сейсморазведки к скважинам рассмотрено на примере Северо-Покамасовского месторождения. На примере одной из скважин показано улучшение после обработки коэффициента корреляции реальных и синтетических сейсмограмм с 0.68 до 0.85.

Прогноз эффективности выделения коллекторов по скоростным характеристикам и акустической жесткости разреза рассмотрен на примере нескольких месторождений Западной Сибири:

1. Проведено разделение на коллектор и неколлектор с привлечением необработанных и обработанных данных ГИС. Использование обработанных кривых позволило уменьшить погрешность на гистограмме распределения импеданса продольной волны с 0,88 до 0,6 %. Привлечение обработанных кривых ГИС позволяет более надежно разделить породы по литологии.

2. Привлечение обработанных данных дало возможность уточнить граничные значения величин упругих характеристик и повысить эффективность прогноза распространения коллекторских свойств.

3. Рассмотрен пример применения обработанных данных при теоретическом моделировании, что позволило выполнить моделирование упругих свойств (V_p , V_s и δ), а также процедуру флюидозамещения в породах-коллекторах любым типом флюида (нефтью, газом, водой), который потенциально может присутствовать в рассматриваемых залежах.

4. Проиллюстрировано установление взаимосвязей между упругими и коллекторскими свойствами и оценка возможности их прогнозирования по данным сейсморазведки.

Основные результаты:

1. Проанализирован процесс сейсмогеологического моделирования на объектах ООО «Лукойл» - Западная Сибирь.

2. Выявлены основные факторы, направленные на повышение эффективности петрофизического обеспечения построения сейсмогеологических моделей, и сформулированы основные задачи.

3. Разработана методика оценки качества и исправления каротажных кривых АК и ГГК-п.

4. Проанализирован опыт использования различных методик восстановления кривых АК и ГГК-п в условиях Западной-Сибири.

5. Разработана технологическая схема восстановления кривых АК и ГГК-п с учетом имеющихся в скважине данных и относительной эффективности представленных методик.

6. Разработана методика оценки качества результатов моделирования кривых ГИС.

7. Разработано петрофизическое обеспечение непрерывной интерпретации для задач сейсмогеологического моделирования с оценкой качества определения петрофизических параметров.

8. Разработанное методическое обеспечение апробировано на 53 объектах и внедрено в филиале «КогалымНИПИнефть», используется при интерпретации данных сейсморазведки во всех производственных отчетах.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основное содержание диссертации отражено в 14 работах, в том числе 7 в изданиях ВАК (из них 2 включены в международную базу данных SCOPUS). Общий объем научных публикаций составляет 6 п. л.

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ:

1. Хасанов, Р. Н. Прогнозирование геологического строения сводовой части Усановской структуры по материалам 3Д – сейсморазведки с использованием геоакустического моделирования / Р. Н. Хасанов, А. Н. Кычкин, Е. А. Черепанов // Каротажник. Тверь. - 2004. - № 3-4. - С. 199-203.

2. Черепанов, Е. А. Прогнозирование геологического разреза по материалам сейсморазведки 3D с использованием геоакустического моделирования / Е. А. Черепанов, А. Н. Кычкин, Р. Н. Хасанов // Геофизика, специальный выпуск. Москва ЕАГО. – 2004. – С. 113-115.

3. Черепанов, Е. А. Технология петрофизического обеспечения комплексной интерпретации сейсмических данных и ГИС на примере построения сейсмогеологической модели Северо-Покамасовского суперкуба / Е. А. Черепанов, Я. А. Калачева // Каротажник. Тверь. – 2013. – № 8. – С. 40-55.

4. Туренко, С. К. Использование данных нейтронного каротажа при построении сейсмогеологических моделей нефтегазовых объектов Западной Сибири / С. К. Туренко, Е. А. Черепанов. – Известия ВУЗов. Нефть и газ. – 2016. – № 2. – С. 27-32.

5. Туренко, С. К. Адаптивный подход к обработке данных геофизических исследований скважин при построении сейсмогеологических моделей нефтегазовых объектов / С. К. Туренко, Е. А. Черепанов // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 5. – С. 34-37.

6. Туренко, С. К. Разработка методического обеспечения моделирования акустических и плотностных параметров в скважинах для построения сейсмогеологических моделей нефтегазовых объектов Западной Сибири / С. К. Туренко, Е. А. Черепанов // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 9. – С. 34-38.

7. Туренко, С. К. Методика определения петрофизических параметров для решения задач сейсмогеологического моделирования / С. К. Туренко, Е. А. Черепанов, Г. В. Такканд, Я. А. Калачева // Каротажник. Тверь. - 2017. - № 4. - С. 49-64.

Статьи в научных сборниках и материалах конференций:

8. Хасанов, Р. Н. Прогнозирование геологического строения сводовой части Усановской структуры по материалам 3Д – сейсморазведки с использованием геоакустического моделирования / Р. Н. Хасанов, А. Н. Кычкин, Е. А. Черепанов // Материалы международной геофизической конференции и выставки «Geophysics of the XXI century – the leap into the future» (Геофизика XXI века – прорыв в будущее). Москва. – 2003. – С. 163 – 165.

9. Черепанов, Е. А. Повышение эффективности комплексирования материалов ГИС и сейсморазведки для решения задач сейсмогеологического моделирования [Электронный ресурс] /

Е. А. Черепанов // Материалы XIII научно-практической конференции по проблемам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных при геологическом моделировании месторождений углеводородов «Геомодель-2011». Геленджик. -2011г– Режим доступа: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=53885>.

10. Черепанов, Е. А. Петрофизическое обеспечение технологии комплексной интерпретации сейсмических данных и ГИС / Е. А. Черепанов, Я. А. Калачева // Материалы XV научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа - Югры». Ханты-Мансийск. – 2011. – Т. 2. - С. 165 – 167.

11. Черепанов, Е. А. Проблемы комплексной интерпретации на больших месторождениях / Е. А. Черепанов // Материалы научно-практической конференции «Современные геолого-геофизические исследования и работы в нефтегазовых скважинах». Ольгинка. – 2012. - С. 62 – 64.

12. Черепанов, Е. А. Технология петрофизического обеспечения комплексной интерпретации сейсмических данных и ГИС для построения геологической модели Северо-Покамасовского суперкуба / Е. А. Черепанов, Я. А. Калачева // Материалы XIII конференции молодых специалистов, работающих в организациях, осуществляющих деятельность, связанную с использованием участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Ханты-Мансийск. – 2013. - С. 84 - 88.

13. Черепанов, Е. А. Построение объектно-ориентированных петрофизических моделей по данным керна и ГИС для целей сейсмогеологического моделирования на группе месторождений / Е. А. Черепанов, Я. А. Калачева // Материалы XIV конференции молодых специалистов, работающих в организациях, осуществляющих деятельность, связанную с использованием участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Ханты-Мансийск. – 2014. – С. 49 - 52.

14. Черепанов, Е. А. К оценке качества результатов обработки данных ГИС с позиции построения сейсмогеологических моделей. / Е. А. Черепанов, С. К. Туренко // Сборник докладов совещания-семинара. Тюмень. – 2015. С. 43 - 47.