

На правах рукописи

РАЗИН Андрей Викторович

МЕТОДИКА ДЕТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И
КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ
СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Специальность 04.00.12 – Геофизические методы поисков и
разведки месторождений полезных
ископаемых

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск-1999

Работа выполнена в ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК» и Томском
политехническом университете

Научный руководитель:

Доктор геолого-минералогических наук, профессор Л.Я.Ерофеев

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор И.С. Чичинин

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент В.Н.Устинова

Ведущая организация: ОАО «Томскнефтегазгеология» ВНК

Защита диссертации состоится 16 июня 1999 года в 15 часов в 210 аудитории
1 корпуса ТПУ на заседании диссертационного совета К 063.80.08 в Томском
политехническом университете

Адрес: 634034, г.Томск, пр.Ленина,30

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Томского
политехнического университета.

Автореферат разослан 7 мая 1999г.

Ученый секретарь диссертационного совета
Кандидат геолого-минералогических наук

В.К.Бернатонис

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Большинство эксплуатируемых месторождений главной нефтегазоносной провинции нашей страны - Западной Сибири, и ее юго-восточной части - Томской области, в частности, находятся на стадии снижающейся добычи. При этом практически все крупные и средние по размерам антиклинальные структуры изучены поисковым и разведочным бурением, а связанные с ними залежи нефти находятся в промышленной разработке. Это приводит к необходимости вводить в разведку и эксплуатацию локальные поднятия значительно меньших размеров, а также ловушки неантиклинального типа. В первом случае становится очень актуальным, а во втором безусловно необходимым детальный прогноз латерального развития и коллекторских свойств песчаных и пластов-резервуаров. Практически единственным источником информации, позволяющей произвести такой прогноз до постановки глубокого бурения, являются данные сейсморазведки. При этом по-прежнему актуальной остается задача повышения достоверности интерпретации данных сейсморазведки с целью прогноза свойств геологического разреза и, в частности, нефтегазоносных песчаных пластов. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является использование расчета акустических свойств горных пород, непосредственно влияющих на формирование регистрируемой сейсмическими методами волновой картины. Актуальным остается и вопрос совершенствования методик интерпретации сейсмических данных на основе их сопоставления с летальным изучением геологического разреза по скважинным данным, получаемым в результате эксплуатационного бурения.

Цель исследований - разработка методики интерпретации сейсморазведочных материалов для детального определения акустических и коллекторских свойств горных пород в терригенном разрезе юго-востока Западной Сибири. Для ее решения необходимо решение следующих задач:

- 1) определение петрофизических предпосылок интерпретации сейсморазведочных материалов в различных нефтегазоносных комплексах отложений;
- 2) уточнение возможности и ограничений легальной интерпретации сейсмических материалов МОВ и ММП ОИТ для прогноза свойств горных пород;
- 3) анализ методик интерпретации сейсмических материалов, направленных на изучение акустических и коллекторских свойств;
- 4) разработка методики определения акустических свойств горных пород при комплексном использовании скважинной информации и данных сейсморазведки;
- 5) разработка методики определения коллекторских свойств горных пород при комплексном использовании материалов ГИС, сейсморазведки и керна;
- 6) оценка геологической эффективности разработанных методик на примере внедрения их и практику работ ОАО «Томскнефть» ВНК.

Фактический материал. Основой для проведенных работ по изучению петрофизических свойств послужили результаты исследований 705 образцов керна, отобранных из 33 скважин на 17 площадях. При анализе акустических свойств горных пород широко использовался комплекс каротажных диаграмм, включающий акустический каротаж (АК) по скорости. Всего были проанализированы и изучены геофизические материалы по разрезам 126 разведочных и 725 эксплуатационных скважин, пробуренных на 72 площадях. Изучены и проанализированы графики пластовых скоростей в глубинном и временном масштабах, полученных при интерпретации данных АК Л.А.Фроловой по 52 скважинам. Всего обработано 84 сейсмических профиля общей протяженностью 1811 пог. км на Карасевской и Северо-Карасевской площадях, Северо-Вахском месторождении, Западно-Полуденном месторождении, Июльском месторождении, на участке между Северным и Вахским месторождениями, на Катъльгинском, Западно-Катъльгинском, Онтонигайском месторождениях и на участке между Катъльгинским и Первомайским месторождениями на территориях Томской области и Ханты-Мансийского АО.

В работе применялись теоретические разработки, подчерпнутые из опубликованных литературных источников, а также фондовые материалы.

Научная новизна работы.

- выявлены и изучены специфичные особенности в распределении и связанности физических свойств горных пород в узких стратиграфических интервалах;
- разработана методика детального определения акустических и коллекторских свойств горных пород по данным сейсморазведки в терригенном разрезе месторождений и нефтегазоперспективных территорий юго-восточной части Западно-Сибирской плиты и технологические приемы интерпретации сейсмических материалов;
- определены условия по получению качественного первичного сейсмического материала, пригодного для последующей детальной интерпретации;
- на примере Игольской площади доказана возможность картирования по сейсмическим данным (с применением элементов разработанной методики определения акустических свойств горных пород) особенностей внутреннего строения коллектора, таких, как внутрирезервуарные карбонатные прослои. Построена карта строения пласта Ю₁² на Игольской площади; с применением технологических приемов, входящих в созданную методику, получены карты распространения и свойств песчаных пластов Ю₁⁰ и Ю₁^{1Б} на участке между Катъльгинским и Первомайским месторождениями.

Основные защищаемые положения в предложенной методике:

1. При интерпретации данных сейсморазведки необходимо использовать с целью определения физических свойств законы распределения акустических жесткостей горных пород для узких стратиграфических интервалов, т.к. учет только пластовых скоростей или данных по большим стратиграфическим интервалам приводят к существенным ошибкам;
2. По значениям акустической жесткости предпочтительно определять открытую пористость горных пород нежели их литологию;
3. При комплексном использовании данных сейсморазведки и материалов геофизических исследований скважин (ГИС) возможен прямой расчет акустических жесткостей горных пород (решение обратной задачи);
4. Использование методов расчета акустических жесткостей по сейсмическим данным не несет субъективных ошибок, связанных с заданием исходной и коррекцией промежуточных моделей в методиках, основанных на подборе параметров.
5. При расчете акустических жесткостей по сейсмическим данным обычное преобразование Фурье обладает большей устойчивостью по сравнению с быстрым преобразованием Фурье.
6. Комплексная карта строения пласта $Ю_1^2$ (на основе интерпретации сейсморазведки) на Игольской площади.
7. Карта эффективных толщин пласта $Ю_1^0$ на северо-восточном склоне Каймысовского свода.

Практическая ценность работы. Разработанные автором приемы интерпретации данных сейсморазведки позволяют повысить достоверность прогноза свойств геологического разреза, определять акустические и коллекторские свойства песчаных пластов-коллекторов на нефтеперспективных участках, в межскважинном пространстве на эксплуатируемых месторождениях, а также за пределами копра эксплуатационного бурения на разбуриваемых месторождениях. Получаемая информация о строении коллектора на разрабатываемых месторождениях позволяет корректировать режимы закачки нагнетаемой воды и отбора нефти, а также оптимизировать применение методов повышения нефтеотдачи пластов. Все это позволяет повысить эффективность как поисково-разведочного бурения, так и в целом разработки нефтяных месторождений.

Детальное изучение толщин и открытой пористости песчаных пластов по материалам сейсморазведки, особенно в модификации 3-D, позволяет существенно повысить достоверность оценки количества углеводородов на стадии подсчета запасов.

Реализация работы на производстве. Разработанная методика и отдельные входящие в нее технологические приемы реализованы в ОАО «Томскнефть» ВНК, а позднее в ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК».

Полученные данные использованы при планировании геолого-разведочных работ ОАО «Томскнефть» и размещении эксплуатационного бурения на Игольской площади.

Апробация работы. Основные результаты по теме диссертационной работы изложены в пяти отчетах по научно-исследовательским работам и доложены на научно-практическом совещании, посвященном индексации сейсмических отражающих горизонтов в Западной Сибири (г.Ханты-Мансийск, февраль 1989 г.), на всероссийском научно-техническом совещании «Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях» (г.Томск, 18-21 марта 1996 г.), на научно-практической конференции «Перспективы внедрения научно-технических достижений и новых технологий при разведке и разработке месторождений» (г.Томск, 27-28 июня 1996 г.), на Первом международном научном симпозиуме в рамках Международного научного конгресса студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука - третье тысячелетие» (г.Томск, 11-12 декабря 1996 г.), на конференции «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО» (г.Ханты-Мансийск, 3-5 декабря 1997 г.), на научной конференции «Актуальные вопросы геологии и географии Сибири» (г.Томск, 2-4 апреля 1998 г.), на заседаниях секции ученого совета по геологии и разработке ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК» (1996 г., 1997 г.), на заседаниях ЦКРР ОАО «Томскнефть» ВНК (1996 г.), на совещании пользователей программных продуктов фирмы Schlumberger GeoQuest Forum'98 (г.Канны, Франция, 25-27 марта 1998 г.) Канн.

Публикации. По вопросам, рассмотренным в диссертации, опубликовано 11 печатных работ и защищено 7 производственных и тематических отчетов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав и заключения, содержит 141 страницу машинописного текста, 1 таблицу и 34 рисунка. Библиография включает 108 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Л.Я. Ерофееву.

За ценные советы, консультации, критические замечания и постоянную поддержку в работе автор сердечно благодарит В.Б.Белозерова. Искренне благодарен автор также Л.С.Баянову, М.М.Немировичу-Данченко,

Г.И.Резяпову, Э.С.Крец, Г.И.Тищенко, Л.И. Егоровой, В.Е.Даненбергу, Н.А.Брылиной, Г.Г.Номоконовой, Г.Г.Зятеву, В.П.Меркулову, А.А.Никольскому, Г.К.Автеньеву, Д.И.Рудницкой. Автор признателен своим коллегам по отделу геологии нефти и газа ТО СНИИГГиМС и отдела геологоразведочных работ «ТомскНИПИнефть ВНК» за совместный труд и помощь в реализации разработок.

1. Петрофизические предпосылки определения свойств горных пород по данным сейсморазведки

Возможности прогноза геологического строения разреза по сейсмическим данным основываются на петрофизических предпосылках и разрешающей способности метода.

Современные представления о петрофизических свойствах горных пород продуктивного интервала терригенного разреза в юго-восточной части Западно-Сибирской плиты на базе исследований кернового материала сформированы на основе работ многих исследователей таких организаций, как СНИИГГиМС, ПО «Сибнефтегеофизика», ОАО «Томскнефтегазгеология», ОАО ТомскНИПИнефть», ТПУ, ТО СНИИГГиМС: Е.А.Конторович, Л.М.Дорогиницкой, Н.А.Туезовой, Р.Г.Демина, Г.Г.Зятева, Л.Я.Ерофеева, В.П.Меркулова, Ю.Я.Ненахова, Ю.К.Романова, И.А.Иванова, В.Б.Белозерова, Е.Е.Даненберга и многих других. Основные результаты изучения акустических свойств разрезов с привлечением данных ГИС отражены в работах Д.И.Рудницкой, А.П.Базылева, А.С.Баянова, Е.А.Гайдебуровой, Л.Б.Абакумова, Г.И.Ведерникова, Ж.М.Сомовой, Г.И.Тищенко, Н.В.Сысолятина, Р.В.Белова, автора настоящей работы и других.

Одним из наиболее обобщающих исследований по возможностям прогнозирования литологического состава платформенного чехла юго-востока Западно-Сибирской плиты по данным МОВ является работа Л.А.Фроловой.

Изучение пластовых скоростей продольных волн образцов керна васюганской свиты показало, что выделить по сейсмическим данным (скоростям) проницаемый песчаный пласт в отложениях васюганской свиты весьма трудно, а однозначно разделить алевролиты и песчаники практически невозможно. В выборке образцов терригенных горных пород с пластовыми скоростями в модальном интервале песчаников последние встречаются с вероятностью 0.38, алевролиты - 0.38, аргиллиты - 0.24. По материалам изучения АК дифференциация пород разной литологии выше. Аналогичная картина наблюдается и в отложениях нижнего келловея и байос-бата. Литологическая интерпретация на основе пластовых скоростей в отложениях аалена, тогурской и урманской свит еще более затруднена. Это не исключает более благоприятной ситуации на отдельных конкретных участках территории.

Дифференциация горных пород по плотностям ниже, чем по пластовым скоростям. Отличить литологические разности по плотностям представляется возможным лишь в васюганской и верхней части тюменской свит. Здесь по пластовым скоростям песчаники отличаются от алевролитов и аргиллитов большими значениями (кроме среднезернистых), по плотностям картина обратная: плотности в песчаниках ниже, чем в алевролитах и аргиллитах.

Сейсмическая запись несет и себе информацию о распределении в геологической среде коэффициентов отражения, которые связаны именно с акустическими жесткостями пластов, поэтому изучению их уделено особое внимание. Для продольных волн обратная задача (воссоздание геологической модели разреза по сейсмическим данным) по мнению А.С.Алексеева может быть решена только до получения акустической жесткости среды (без деления на пластовые скорости и плотности).

По материалам изучения акустической жесткости образцов керна сделан вывод, что определение литологии горных пород по материалам сейсморазведки более сложная задача, нежели представлялось ранее по результатам исследования пластовых скоростей продольных волн (по данным АК). Наиболее сложным для литологической интерпретации является интервал отложений аалена. Существуют предпосылки, в первую очередь в отложениях васюганской и верхней части тюменской свит, для выделения в разрезе пластов с улучшенными коллекторскими свойствами по пониженным значениям (кроме битуминозных и углистых разностей горных пород) относительно непроницаемых разностей.

В последние годы в практике сейсморазведочных работ чаще стали использоваться зависимости пористости горных пород от их акустической жесткости, например, на месторождении Ход в Северном море и ряде нефтегазоносных площадей Томской и Тюменской областей. Полученный обобщенный график зависимости значений открытой пористости от акустической жесткости для всех пород васюганской свиты имеет сложную форму и состоит из левой ветви с зависимостью, близкой к прямопропорциональной для углей, углистых и битуминозных аргиллитов и правой, для нормальных терригенных пород, с зависимостью, близкой к обратнопропорциональной (рис.1). Использование этой зависимости позволяет определять в полосе акустических жесткостей от 8700 до 10000 открытую пористость горных пород с ошибкой до 20% (породы являются коллекторами). Породы с акустической жесткостью выше 12000 и ниже 8700 коллекторами не являются. Интервал акустических жесткостей от 11000 до 12000 соответствует зоне перехода горных пород по своим

свойствам от коллектора к неколлектору. В нем ошибка в определении пористости может быть наибольшей и составить до 50%. Экстремальные значения акустической жесткости коллектора и неколлектора (8800 и 16200) различаются на 84%.

Аналогичный график получен для отложений верхней части тюменской свиты.

2. Геофизические предпосылки определения свойств горных пород по данным сейсморазведки

Существуют ограничения возможностей определения физических свойств самой сейсморазведки как в отношении аппаратуры, так и применяемых методов и способов их реализации.

Разрешенность метода при визуальной интерпретации связывается с надежным прослеживанием на временных разрезах фазовых осложнений, соответствующих картируемому телу, и принята за $1/4$ периода. При 34 Гц для интервала наиболее типичного нефтепоискового объекта на территории Томской области горизонта Ю₁ при скорости волны порядка 4000 м.с это соответствует 30 м. По мнению автора диссертации, при этом используется лишь малая часть несомой сейсморазведкой информации, и данная величина не соответствует ее истинной разрешающей способности. Взять информацию наиболее полно позволяют методы интерпретации, основанные на углубленной обработке материалов на ЭВМ. Физическая же разрешенность метода по вертикали связана с шагом дискретизации сейсмической записи. При 2 мс и опять таки объекте в васюганской свите на глубине около 2.5 км это соответствует одному отсчету на примерно 2-х метровый интервал в пласте угля или 4-х метровый в песчанике.

Физические ограничения разрешающей способности метода отраженных волн как теоретические, так и появляющиеся при реализации его на практике, и, в частности, его модификации - метода многократных прослеживаний общей глубинной точки (ММП ОГТ) - изложены в работах многих авторов, в том числе А.К.Рудакова, Г.И.Петрашень, О.К.Кондратьева, С.В.Гольдина, Г.А.Гамбурцева, Р.М.Бембея, Н.Н.Пузырева.

К основным ограничениям относятся: исходная неидентичность условий формирования трасс ОГТ при современной технологии проведения работ ОГТ (по мнению некоторых авторов, но это положение оспаривается); суммирование при ОГТ всех волн различной природы; суммирование при формировании сейсмограмм ОГТ трасс ОГТ с разным удалением взрыв-прибор и соответственно разными спектральными характеристиками из-за различий в углах отражения падающей волны; разный пуп, прохождения и различная фильтрация полны геологической средой (устранить такую помеху впоследствии невозможно);

условность привязки отражения к детальным особенностям среды при получении суммарного сигнала на большой базе наблюдения и прошедшего большой путь в неоднородной среде; ограничение в разделении двух малых объектов по латерали радиусом первой зоны Френеля; затухание волны и потеря ей энергии за счет геометрического расхождения волны от точечного источника; наличие кратных и неполнократных волн, обменных, дифрагированных и волн другой природы; незеркальность реальных геологических границ.

Применение современных технологических приемов регистрации и процедур обработки сейсмической информации позволяют в значительной мере ослабить влияние мешающих факторов. В частности, определенная последовательность процедур коррекции и суммирования трасс позволяет получить сейсмограмму (временной разрез), отвечающую нормальному падению плоской волны на вертикально-неоднородную сейсмическую среду, в которой ролью частично-кратных отражений в известных рамках можно пренебречь. При этом волны полной кратности в достаточной мере подавляются при суммировании по ОГТ.

Таким образом, с определенной степенью условности и осознанием возможного наличия помех различной природы, можно утверждать, что сейсморазведка предоставляет возможность проведения детальной геологической интерпретации.

3 Анализ существующих методик определения свойств горных пород по сейсмической информации

Прогнозирование геологического разреза (ПГР) тесно переплетается с математическим моделированием сейсмических полей, и, соответственно, с теоретическими разработками в области волновой теории сейсморазведки. Круг исследователей, занимавшихся данным вопросом, весьма широк, как и ряд созданных программных пакетов. Это, например, отечественные пакеты ПАК (Г.Н.Гогоненков и др., ЦГЭ), РЕАПАК (Д.И.Рудницкая, СНИИГ-ГиМС), РЕАМ,ПАРМ, РИД, VELOG. В диссертационной работе кратко рассмотрены лишь наиболее типичные из них, активно использующиеся о практике интерпретации сейсмических данных в первую очередь на территории Томской области.

Повышенное внимание именно к акустическим преобразованиям вполне понятно, т.к., сейсморазведка фиксирует из всех свойств геологического разреза напрямую именно акустические жесткости, и они позволяют (в той или иной мере) перейти от интерференционной волновой картины к полю свойств геологического разреза. Вопрос лишь в том, насколько точно это удастся сделать. Автор диссертации считает, что это направление является одним из основных в интерпретации данных сейсморазведки несмотря на уже довольно высокую изученность проблемы.

Логичным путем, которому следовали многие исследователи направления ПГР, являлся переход от математического моделирования, сначала одномерного (сейсмических трасс), позже двухмерного (волновых полей и временных разрезов), позволяющего оценить отображение исследуемых объектов в волновых полях и выделить критерии их проявления, к программам пошагового подбора модели среды и затем к пересчету сейсмических волновых полей в псевдоакустические разрезы. Этим же путем прошел и автор диссертации.

В упомянутом пакете ПАК допускается, что сеймотрассу ОГТ можно рассматривать как отвечающую нормальному падению плоской волны на горизонтально-слоистую среду, ролью частично-кратных волн и других волн-помех пренебречь. При этом используемому при моделировании сейсмическому импульсу приписывается следующее: «Говоря о выборе формы импульса ... мы подразумеваем такую функцию, которая, будучи свернутой с функцией коэффициентов отражения, давала бы наилучшее соответствие между полученной синтетической сейсмограммой и конкретной сейсмической трассой». Такая функция позволяет интерпретатору изучать целевой горизонт, считая характеристику перекрывающей толщи, включая ВЧР, однородной и пользоваться сверточной моделью формирования сейсмических трасс. Этого положения придерживается в разработанной методике и автор диссертации.

При моделировании, а позже в процедуре ПАК Г.Н.Гогоненков использует импульс, рассчитываемый по формуле. Результирующим продуктом данного пакета являются псевдоакустические разрезы.

Кроме пакета ПАК, рассмотрены работы по построению прогнозных разрезов В.В.Корягина и Ю.П. Сахарова, некоторые особенности пакета РЕАПАК (автор Д.И.Рудницкая), пакета ПАРМ, разработанного во ВНИИгеофизике, пакета «Пангея». Обращено внимание на различия и сходные черты с разрабатываемой методикой.

Рассмотрены также расчет акустических жесткостей в пакете Charisma-RM фирмы Schlumberger-GeoQuest, методика поиска модели среды, реализованная в программе PMS2MS, новый метод робастной деконволюции, предложенной М.С.Денисовым и Г.В.Бусыгиным, использование моделей механики сплошных сред с приведением системы ее уравнений в переменных Лагранжа применительно к расчету сейсмических волновых полей, предложенного М.М.Немировичем-Данченко и Ю.П.Стефановым.

4. Методика определение акустических и коллекторских свойств горных пород по сейсмической информации

Как уже отмечалось выше, если сейсмотрассу, прошедшую ряд процедур обработки, можно считать отвечающей нормальному падению плоской волны на вертикально-неоднородную сейсмическую среду, в которой ролью частично-кратных отражений можно пренебречь, то ее можно представить в виде одномерной сверточной модели

$$s(t) = w(t) * e(t) * S_k + r_g * i(t) + n(t)$$

где s - сейсмическая трасса, w - импульс сейсмического источника, e - последовательность коэффициентов отражения, S_k и r_g - характеристики образования волн-спутников в точках соответственно возбуждения и приема колебаний, i - временная характеристика регистрирующей аппаратуры, n - аддитивный шум. При переходе в частотную область мы имеем

$$S(f) = W(f) \cdot E(f) \cdot S_g(f) \cdot R_g(f) \cdot I(f) + N(f)$$

где прописными буквами обозначены преобразования Фурье соответствующих функций времени.

Пренебрегая аппаратурными искажениями и нерегулярными шумами, величина которых после процедур суммирования и процессинга сейсмического материала ожидается незначительной, но в любом случае неизвестной, и используя определение сейсмического импульса по Г.Н.Гогоненкову, приходим к упрощенному виду данного уравнения

$$s(t) = w(t) * e(t)$$

или в частотной области

$$S(f) = W(f) \cdot E(f)$$

Как известно, операции, обратной свертке, для временных последовательностей не существует. Это побуждает многих исследователей имитировать ее пошаговым подбором параметров результирующей, функции, достигая при этом некоторого приближения к ней. При переходе в частотный диапазон нахождение третьей функции по двум известным, при равенстве их частотных диапазонов, производится точно. То есть при наличии на сейсмическом профиле скважины с известной акустической характеристикой разреза имеются две известные функции $s(t)$ и $e(t)$, при переходе в частотную область позволяющие рассчитать сейсмический импульс

$$W(f) = S(f) / E(f)$$

Найденный таким образом сейсмический импульс с определенной степенью условности можно применить и ко всему изучаемому интервалу временного разреза.

Таким образом, вновь, имея две известные функции вдоль всего сейсмического профиля $s(t)$ и $w(t)$ в частотной области, производим точный расчет модели среды (рис.2)

$$E(f) = -S(f)/W(f)$$

При расчете модели среды результатом является набор коэффициентов отражения во временном масштабе. Высокая точность их нахождения делает возможным следующий этап: нахождение акустических жесткостей.

Существует рекуррентное соотношение для акустической жесткости

которое позволяет по известным коэффициентам отражения (K) перейти к относительным значениям акустической жесткости, а при известном абсолютном ее значении хотя бы в одном интервале (пласте) - к абсолютным значениям. Такими интервалами (пластами) могут быть баженовская свита для верхнеюрских коллекторов и кошайская пачка при изучении песчаных пластов мелового возраста.

Теоретически детальность построения модели ограничена лишь шагом дискретизации. Отсюда следует заключение: *для повышения детальности интерпретации сейсмических материалов необходимо переходить на шаг дискретизации сейсмической записи 1 или 0.5 мс.* Обработку материала на ЭВМ необходимо проводить с этим же шагом.

Основное ограничение по применению данной методики заключается в необходимости иметь на сейсмическом профиле скважину с известным акустическим разрезом в интервале на 150-200м выше и на столько же ниже изучаемого объекта. Таким образом разработанную методику возможно применять только в пределах разбуренных площадей.

При расчете акустических жесткостей необходимо максимально возможное сохранение частотного диапазона, особенно в области верхних частот. В работе показано, что присутствие таковых даже в незначительном амплитудном диапазоне существенно изменяет результаты интерпретационной обработки. Показано также, что верхние частоты, реально существующие на сейсмической записи, обычно искусственно убираются и на этапах полевых наблюдений, и при обработке сейсмических материалов.

Экспериментальные исследования по применению предлагаемой методики на реальных примерах привели к выводу, что использование быстрого преобразования Фурье при пересчете временных последовательностей в частотную область и обратно в неабсолютно корректных условиях, которые существуют при расчете модели среды по данным сейсморазведки, приводит к быстрому увеличению ошибки по мере удаления от наилуч-

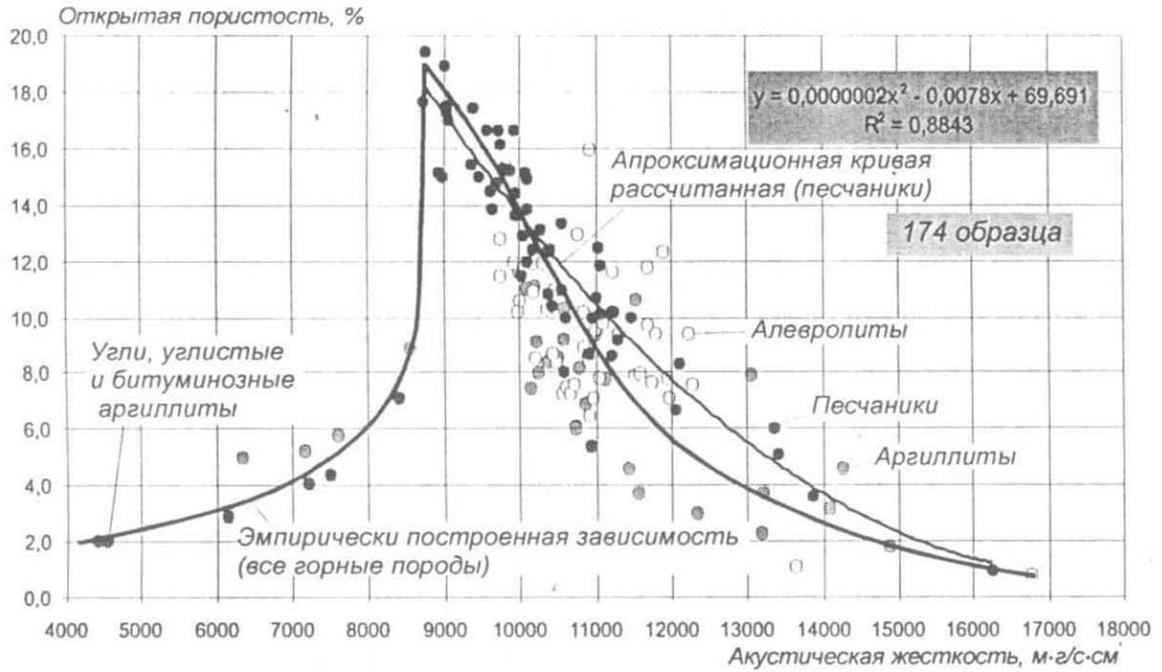


Рис.1 График зависимости открытой пористости от акустической жесткости горных пород баженовской и васюганской свит (по данным исследования керна)

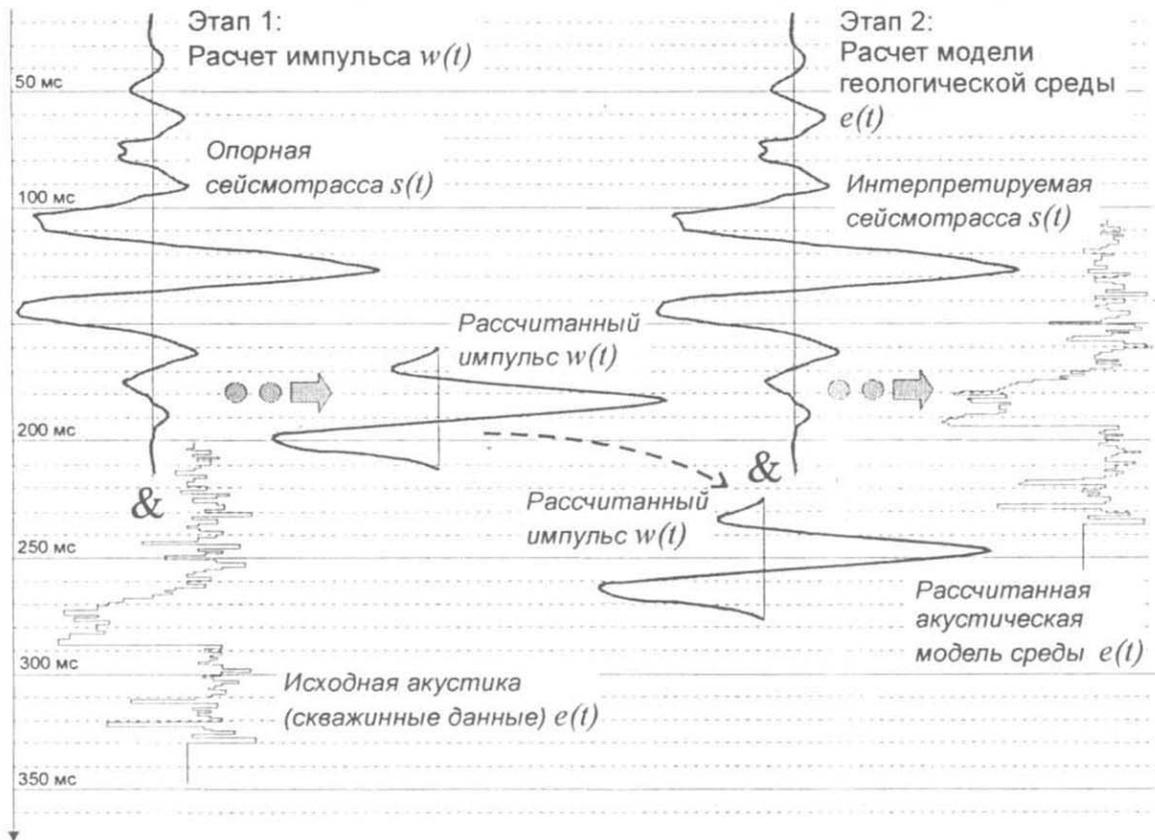


Рис.2. Расчет Импульса и акустической модели среды по предлагаемой методике

шего решения. Использование обычного преобразования Фурье дает более устойчивое решение и поэтому рекомендовано к использованию в данной методике.

Ряд допущений, принятых при обосновании возможности применения методики, приводит к появлению ошибок в конечном результате. Экспериментально показано, что применение статобработки к рассчитываемым импульсам и трассам акустических жесткостей, использование затухающей функции в начале и конце сейсмических трасс, высокочастотная фильтрация обеспечивают подавление помех и повышение качества результирующих материалов.

На основе рассчитанного разреза акустической жесткости предложено, используя эмпирически полученные для конкретных узких стратиграфических интервалов и конкретных площадей зависимости между значениями открытой пористости и акустической жесткостью, рассчитывать разрезы значений открытой пористости. Последние являются результирующим документом обработанных по предлагаемой методике сейсмических материалов. Сделан вывод, что подобный интерпретационный прием делает результирующие материалы легко читаемыми, надежно обоснованными, высоко разрешенными.

5. Практическая реализация методики

Данная методика опробована на нескольких месторождениях ОАО «Томскнефть».

Северо-Вахское месторождение. На площади этого месторождения и смежной с ней Кошильской площади изучены сейсмические материалы и акустические свойства горных пород по скважинным материалам. По предлагаемой методике обработан профиль 1.88.11, рассчитаны разрезы акустической жесткости и значений открытой пористости. Отмечено хорошее совпадение прогнозных результатов сейсморазведки со строением васюганской свиты по эксплуатационным скважинам, использованным в качестве контрольных. Получены новые данные о геологическом строении изучаемого интервала разреза. Выделена зона глинизации песчаного пласта Ю₁³, обычно развитого повсеместно на территории месторождения как коллектор, что может объяснить разное положение ВНК на Северо-Вахском месторождении и Кошильском. Результаты получены при «сложном» геофизическом материале и шаге дискретизации 4 мс.

Западно-Полуденное месторождение. Методика расчета акустических и коллекторских свойств пород по сейсмическим данным была применена на Западно-Полуденном месторождении (Тюменская область) с целью прогноза свойств верхней части нижнемелового разреза. В рамках проведенных исследований были проанализированы сейсмические материалы, данные по скважинам, изучена акустическая характеристика разреза по материалам ГИС, составлены формулы многомерных регрессий для расчета акустических свойств среды по каротажным кривым, график зависимости открытой пористости от акустической жесткости горных пород верхнего мела на Западно-Полуденной площади. Рассчитаны разрезы акустической жесткости и значений открытой пористости по профилю

72.83.11. В результате получены новые сведения о геологическом строении изучаемого месторождения.

Катыльгинское месторождение. При проведении работ по изучению территории между Катыльгинским и Первомайским месторождениями на территории Томской области с использованием пакета программ Charisma-RM (Schlumberger GeoQuest) были использованы элементы рассматриваемой методики - при построении результирующих прогнозных карт задействованы расчетные значения акустических жесткостей. Результирующими картами, характеризующими строение песчаных пластов Ю₁⁰, Ю₁^{1a}, Ю₁¹⁶ васюганской свиты, стали карты эффективной толщины и пористости для каждого пласта. Внешняя оценка точности карты эффективных толщин пласта Ю₁⁰ по 95 эксплуатационным скважинам Западно-Катыльгинского месторождения, не участвовавшим в построении данных карт, показала, что среднеарифметическая величина абсолютного отклонения при средней толщине 8 м составила 1,1 м или 13.5%.

Игольское месторождение. Комплексное изучение строения Игольского месторождения, проведенное в отделе ГРП института «ТомскНИПИнефть», показало, что из всех существующих и описанных в литературе прибрежно-морских седиментологических моделей наиболее хорошо с фактическим материалом по Игольской площади согласуется модель бара дальней зоны. Характерной особенностью строения бара дальней зоны является наличие наклонно залегающих аккреционных поверхностей в теле коллектора, сформировавшихся в процессе последовательного бокового наращивания баровой постройки, выполняющих роль внутрирезервуарных экранов, в литологическом отношении представляют собой плотные карбонатизированные песчаные прослои. С целью картирования зон развития карбонатизированных прослоев в теле песчаника были привлечены материалы сейсморазведки. Для этого были изучены материалы по акустическим свойствам разреза и сделан вывод о возможности решения данной задачи. Последняя решалась в два этапа: путем интерпретации окончательных временных разрезов с построением карты распространения зон развития карбонатизированных прослоев, которая уточнялась на втором этапе путем учета и коррекции на основе рассчитанных разрезов акустической жесткости. Разрезы значений открытой пористости не рассчитывались ввиду малой величины изучаемых объектов (около 0.5 м) и заведомо интегральных значений фиксируемых величин. Полученная результирующая карта раскрыла внутреннее строение песчаного пласта за пределами эксплуатационного бурения.

Заключение

Проведенными исследованиями выявлены значительные резервы в возможностях сейсморазведки при изучении акустических и коллекторских свойств горных пород. Разработана специальная методика интерпретации данных сейсморазведки, позволяющая существенно расширить объем и качество извлекаемой информации об этих свойствах, в том числе на «детальном» уровне, ранее не используемом в практике сейсморазведочных работ. Методика прошла всестороннее испытание в реальных условиях, установлена ее высокая эффективность на ряде нефтегазоносных площадей Томской и Тюменской областей, она внедрена в практику работ ОАО «Томскнефть» и ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК».

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Белозеров В.Б., Разин А.В. Модель косослоистого строения верхнеюрского резервуара Игольского месторождения и особенности его разработки // Вестник ВНК. - 1998. - №1. - С.25-28
2. Белозеров В.Б., Разин А.В. Возможности сейсмогеологического прогноза сложнопостроенных резервуаров при наращивании сырьевой базы разрабатываемых месторождений // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Сб.докл. регион. науч.-практ. конф. -Ханты-Маисийск, - 1998. - С.170-174.
3. Белозеров В.Б., Ковалева Н.П., Разин А.В. Перспективы поиска залежей нефти «шнуркового» типа в отложениях верхней юры Каймысовского свода // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири. Тез. докл. науч. конф. – Томск: ТГУ, 1998. Том 2. - С.22-24.
4. Васильвицкий В.В., Разин А.В. Косослоистая модель строения нефтеносного пласта Ю₁¹ Игольского месторождения // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири. Тез. докл. науч. конф. - Томск: ТГУ, 1998. - Том 2. - С.39-40.
5. Крец Э.С., Разин А.В. Первый опыт автоматизированного подсчета запасов и прогноза строения территории по сейсмическим данным с использованием системы «Charisma-RM» // Перспективы внедрения научно-технических достижений и новых технологий при разведке и разработке месторождений. Тез. докл. регион науч.-практ конф. - Томск: ОАО «Томскнефть» ВНК, 1996.-С.6-7.
6. Крец Э.С., Разин А.В. Первый опыт автоматизированного подсчета запасов нефти на системе «Charisma-RM» в Западной Сибири //Нефтяное хозяйство. – 1996. - №11. – С.71-73.

7. Разин А.В. Определение акустических и коллекторских свойств геологического разреза по сейсмическим данным // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях. Тез. докл. всероссийской науч.-практ. конф. - Томск: ТПУ, 1996. - С.49.
8. Разин А.В., Мирошкин В.Г. Построение электронной геологической модели нефтегазоперспективных территорий с учетом сейсмических данных // Молодежь и проблемы геологии. Тез. докл. международной науч. конф. - Томск: ТПУ, 1997. - С.151-152.
9. Разин А.В. Возможности использования сейсмических данных для прогноза акустических и коллекторских свойств пород // Молодежь и проблемы геологии. Тез. докл. международной науч. конф. -Томск: ТПУ, 1997. -С. 137.
10. Разин А.В., Мирошкин В.Г. О результатах геологического моделирования и подсчета запасов с использованием пакета «Charisma-RM» // Вестник ВНК. - 1998. - № 1. - С.50-51.
11. Мирошкин В.Г., Разин А.В. Особенности автоматизированного подсчета запасов в системе «Charisma-RM» на примере Катильгинского нефтяного месторождения // Молодежь и проблемы геологии. Тез. докл. международной науч. конф. -Томск: ТПУ, 1997. - С. 147-148.