

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата технических наук Ахияровой Елены Робертовны на тему
«Методика динамического анализа сейсмических данных для изучения
строения доюрского комплекса Нюрольской структурно-фациальной зоны
Западной Сибири» по специальности 1.6.9 – Геофизика (технические науки)

Диссертация Елены Робертовны Ахияровой посвящена развитию методов обработки и интерпретации геофизических данных применительно к изучению доюрского комплекса Западной Сибири. Тема диссертации отвечает как насущным потребностям в целом геофизической практики, так и актуальной проблематике изучения конкретного региона. Изучаемый объект: коры выветривания и верхняя часть палеозоя Западно-Сибирской платформы характеризуется весьма сложным строением и здесь необходимо применение специальных методов исследования.

В Главе 1 даётся геологический обзор исследуемой территории. Обзор весьма (возможно – даже избыточно для диссертации по техническим наукам) подробен и даёт полное понимание не только строения, но и генезиса изучаемых отложений.

Глава 2 носит ключевой для исследования характер, поскольку посвящена изучению вопроса о выраженности целевого объекта – коры выветривания – в сейсмическом волновом поле в зависимости от её мощности и особенностей строения. Изучение этого вопроса носит систематический характер: по скважинным данным выделены пять основных типов строения коры выветривания в зависимости от состава пород палеозоя, выполнен анализ распределения упругих свойств для указанных типов, затем выполнено моделирование сейсмического волнового поля для модели в которой кора выветривания представлена клином, что позволяет изучить возможность её выделения в зависимости от мощности.

К данному разделу имеются два основных замечания. Как сказано в работе моделирование в модели клина выполнялось для каждой скважины, а результаты были разделены на три группы. При этом не ясно как эти три группы соотносятся с пятью выделенными ранее типами коры выветривания. Также не указано каким образом выполнялось сейсмическое моделирование. Сказано только, что использовался импульс, оценённый по сейсмическим данным и его спектральные характеристики, а также то, что проводилось одномерное моделирование для трассы нулевых удалений. Но этого недостаточно: непонятно, использовалась ли свёрточная модели трассы, или выполнялось волновое моделирование. Известно, что свёрточная модель не вполне адекватна для мощностей слоя сопоставимых с длиной волны, что имеет место в данном случае. Выполнить одномерное волновое моделирование в настоящее время не составляет сложности. Из текста работы не ясно, что именно делалось.

Очень интересен подробный анализ амплитуд отражений, в зависимости от мощности и типа коры выветривания, приведённый в разделе 2.2. Обнаружено, во-первых, определяющее значение наличия юрского угленосного пласта на значения и изменение амплитуд отражений от кровли палеозоя, во-вторых – закономерное поведение амплитуд в области малых мощностей коры выветривания при наличии угленосного пласта, определяемое эффектами интерференции с наличием максимума и минимума амплитуд. Эффект, как следует из рис. 2.7, воспроизводится в моделях не только качественно, но и количественно, включая положение минимума амплитуд. Это подтверждает правомерность выбранного автором при моделировании подхода.

Раздел 2.3 носит название «Моделирование 2D», между тем, как кажется из содержания, речь идёт о 1D моделировании, результаты которого собраны в синтетический 2D разрез. Точно ли это так установить из текста невозможно. Остаётся и вопрос о методе моделирования: лучевая свёрточная модель или волновое моделирование? Это важно, поскольку на основании результатов

моделирования делаются довольно важные и тонкие выводы: об отсутствии зависимости ширины отражённого импульса (т.е. частотной дисперсии) от мощности коры выветривания, о приуроченности отбивок по кровле КВ и палеозоя к нуль-переходам, о закономерном изменении амплитуды. Более того, далее результаты моделирования используются для расчёта и анализа сейсмических атрибутов. Достоверность всех этих построений существенно зависит от метода моделирования. По-видимому, основные черты воспроизводятся верно, однако детали и количественные оценки могут быть искажены.

В разделе 2.4 делается анализ возможности выделения угольных пластов по результатам AVO-анализа. Действительно, угольные пласты обладают вполне уникальным сочетанием низкой плотности и высокой скорости, что делает их AVO-атрибуты отличными от большинства прочих. И вновь замечания связаны с недостаточно полным описанием использованных методов моделирования. Утверждается, что на первом этапе выполнялось «моделирование на основе реальных замеров скважин по синтетической 2D линии». Что это значит практически? Рассчитывались AVO-атрибуты с использованием уравнения Цеппритца (или его аналогов) непосредственно по скважинным данным или выполнялось сейсмическое моделирование (лучевое или волновое?) и затем по результатам моделирования – AVO-анализ? В работе указано, что AVO-анализ позволяет выделить тонкие угольные пласты мощностью от 4,6 метров. Это кажется довольно сомнительным при имеющейся длине волны и может быть артефактом процедуры моделирования.

На втором этапе моделирования варьировалась мощность угленосного пласта. В данном случае явно указано на то, что были рассчитаны синтетические сейсмограммы. Интересно прямое сопоставление результатов моделирования для мощности 20 метров и фактических данных при мощности пласта 23 метра. Утверждается, что данные очень похожи, но экспериментальные «слабее по динамике». В действительности это не так:

экспериментальная сейсмограмма явно более низкочастотная в области обсуждаемого отражения. Это вполне соотносится с ожидаемой дисперсией при отражении от тонкого слоя. Из модельных данных следует, что угольный пласт фиксируется уже при мощности от 5 метров. При этом из анализа сейсмограмм для больших мощностей кажется, что их форма определяется практически только линейной интерференцией. Это возвращает нас к вопросу об адекватности используемого метода моделирования. Кроме того, непонятно что именно изображено на рис. 2.16: сейсмограмма ОПВ, ОГТ?? Отсутствует горизонтальная шкала, только на одной из панелей посередине указано: «19,3». Что это за число? Непонятно, что отложено по горизонтальной оси. Визуально кажется, что амплитуды отражений вообще не меняются, может быть это просто 1D моделирование? То же относится к синтетическим сейсмограммам на рис. 2.18-2.20.

В конечном итоге автор делает правильный вывод, что для выделения отражений от кровли углей имеет смысл анализировать знак произведения интерсепта и градиента: аномалиям IV класса соответствует отрицательное произведение. При этом на рис. 2.22 показана корреляция указанного произведения с мощностью пласта У10, которая, как утверждается, «напрямую связана» с мощностью пласта углей. Однако на графике корреляции большая часть соответствует положительным значениям произведения!! Как это объяснить?

Предложенный далее алгоритм выделения угленосных пластов по анализу интерсепта и градиента представляется обоснованным. Жаль только, что процесс выделения аномальных областей описан лишь в самом общем: «варьируя областью точек, соответствующей нормальному разрезу... получена так называемая карта вероятности наличия угленосных пластов». Радует появление слов «так называемая», поскольку к вероятности эта карта имеет весьма отдалённое отношение. Но смысл процедуры понятен и, повторюсь, выглядит адекватным. Наверняка за «кулисами» осталась

интересная работа по определению соответствующих граничных значений. Да, это техника. Но в диссертации по техническим наукам ей самое место.

Результаты модельных исследований и анализа данных суммируются в разделе 2.5 где приводится чётко сформулированная (и иллюстрированная блок-схемой) методика анализа мощности коры выветривания по сейсмическим данным. Положения методики следуют из описанного выше анализа и логично выстроены в алгоритм работы. Данный результат можно считать центральным в работе. Применение методики к реальным данным иллюстрирует раздел 2.6. В разделе 2.7 вышеописанная методика существенно расширена за счёт включения в анализ сейсмических атрибутов.

В целом, можно констатировать, что результаты исследований, приведённые в Главе 2, подтверждают первое защищаемое положение. Главу 2 отличает высокая степень новизны.

Третья глава посвящена применению сейсмической инверсии к анализу вещественного состава и свойств целевого интервала – доюрского комплекса.

В разделе 3.1 описаны применяемые методы инверсии: обычная детерминистическая и Ji-Fi, т.е. с одновременным определением фаций. Важно, что это не просто формальное описание, но подробный сравнительный анализ преимуществ и недостатков методов. В целом справедливо отмечены преимущества Ji-Fi инверсии, важнейшим из которых является отсутствие необходимости в предварительном создании низкочастотной модели. Однако кажется, что автор несколько переоценивает значимость набора результатов Ji-Fi инверсии, куда, в частности, входят и коллекторские свойства, песчаность и пр. Правильность их оценки зависит от использованного в конкретном ПО подхода и может подвергаться сомнению. Использованное ПО просто взяло на себя соответствующие расчёты, одновременно спрятав от пользователя внутреннюю кухню и все её недостатки и неоднозначность результатов. По результатам инверсии можно, в лучшем, случае – при наличии угловых сумм – определить два импеданса и плотность. Об этом стоит всегда помнить.

Интересными являются исследования, описанные в разделе 3.3, где анализируются влияние различных вариантов построения низкочастотной модели на результаты инверсии по синтетическим данным (в данном случае способ моделирования указан однозначно – полноволновое, не указан конкретный алгоритм, но это уже не столь важно). Убедительно показано, что качество низкочастотной модели имеет определяющий характер и то, что при реально имеющемся наборе скважинных данных такую модель построить нельзя.

Этот результат положен в основу дальнейшего: детерминистическая инверсия реальных данных выполнена с использованием целого набора низкочастотных моделей, включая ГСМ использованную для миграции, а результаты сопоставлены со скважинными данными, включая «слепые» скважины. Результаты не слишком утешительны, хотя карбонатная часть разреза выделяется неплохо.

Затем к тем же данным применяется Ji-Fi инверсия. Интересно, что результат также нельзя назвать идеальным. Он более детален, более отвечает некоторым геологическим соображениям. Тем не менее, значения импеданса внутри доюрского комплекса не отвечают скважинным данным по амплитудам.

Куб литологии по результатам Ji-Fi инверсии детально анализируется в части соответствия с распространением угленосных пластов в основании юрского комплекса и мощности коры выветривания. Подтверждается, что кора выветривания выделяется только при её значительной мощности, в том числе – в межскважинном пространстве.

В целом, анализ различных видов инверсионных преобразований и их возможностей, применительно к конкретному объекту исследований, является весьма интересным, глубоким и полным. Результаты, представленные в Главе 3, подтверждают второе защищаемое положение.

В Главе 4 исследовано применение методов анализа анизотропии и поля дифрагированных (в тексте, почему-то, они иногда названы

«дифракционными», что не кажется принятым термином) волн к изучению верхней части целевого интервала – доюрского комплекса. Для этого автор применяет традиционные алгоритмы и совместный анализ их результатов, в частности – на основе RGB представления. В качестве третьего компонента используется когерентность. Отметим, что анализ результатов весьма критичен и учитывает возможные артефакты, в частности – связанные с потерей кратности на краях площади. Результаты хорошо совпадают с концептуальной блоковой моделью среды. Имеется также и корреляция с фильтрационно-емкостными свойствами по скважинным данным.

Результаты, приведённые в Главе 4, подтверждают третье защищаемое положение.

В целом, следует констатировать, что описанные в работе исследования являются весьма актуальными и практически значимыми. Поиск и разведка углеводородов в глубинных горизонтах и корах выветривания, для которых отсутствует надёжный структурный каркас и характерна сложная комбинация фациальной изменчивости и трещиноватости, чрезвычайно важен в условиях истощения традиционных месторождений в осадочном чехле.

Автором выполнен большой объём работы, который прекрасно систематизирован и доведён до практически работающих методов. Несмотря на кажущуюся узкую направленность работы на изучение конкретного комплекса, её результаты имеют более общее значение для развития техники обработки и интерпретации сейсмических данных и несомненно будут востребованы в практике работы сервисных компаний, ведущих сейсмические исследования.

Указанные в отзыве замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.9 – Геофизика (технические науки), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых

степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Ахиярова Елена Робертовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика (технические науки).

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН,
директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

ТИХОЦКИЙ Сергей Андреевич



25.05.2023 г.

Контактные данные:

тел.:

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Адрес места работы:

123557, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1

Тел.: +7 (499) 766-26-56; e-mail: direction@ifz.ru