

**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)**

Актуальность работы обусловлена перспективами нефтегазоносности доюрского комплекса Западной Сибири в сочетании со сложностью и неоднозначностью интерпретации геолого-геофизических данных для этого объекта. Для эффективного бурения как разведочных, так и эксплуатационных скважин необходим надежный прогноз свойств и характеристик целевого геологического интервала, и этот прогноз зачастую основывается на результатах интерпретации данных сейсморазведки. При этом необходимо применять комплексный подход, включающий детальный анализ различных характеристик сейсмического волнового поля.

Научная новизна работы состоит в том, что отдельные методы исследования коры выветривания ДЮК на территории Томской области Западной Сибири сведены в единую методику. Кроме того, впервые для данного региона применены анализ рассеянной компоненты волнового поля, а также совместная геологическая интерпретация анизотропии, рассеянной компоненты и когерентности; все это позволило провести районирование территории по перспективности.

Практическая значимость исследований не вызывает сомнений, поскольку и цели, и задачи работы продиктованы, главным образом, практическими соображениями: обеспечить успех геологоразведки и разработки нефтяных залежей в доюрском комплексе Западной Сибири. Факт реальной ценности выполненных исследований подтверждается регистрацией

патента (в соавторстве) на способ определения внутреннего строения складчатого фундамента по сейсмическим данным, а также включением результатов работы в производственные отчеты компании «Газпромнефть».

Глава 1 содержит краткое описание геологической истории развития района исследований. Приводятся стратиграфическая, литологическая и петрологическая характеристика изучаемых пород (на основе скважинных данных), вводится типизация отложений коры выветривания и доюрского комплекса.

В Главе 2 приведены результаты моделирования сейсмического отклика в интервале вблизи кровли доюрского комплекса. Моделирование призвано решить две задачи. Во-первых, требуется определить минимальную мощность коры выветривания, начиная с которой в сейсмическом волновом поле отражение от подошвы вышележащих углей отделяется от отражения, соответствующего кровле коренного палеозоя. Вторая задача – подобрать информативный сейсмический атрибут для изучения мощности коры выветривания в том случае, если эта мощность слишком мала и отражение от подошвы углей интерферирует с отражением от кровли ДЮК.

Моделирование включало в себя следующие этапы:

- Раздел 2.1: изменение мощности коры выветривания на трех характерных моделях «клина», отличающихся между собой мощностью углей и тем, как соотносятся значения импеданса КВ, ДЮК и юрских отложений;
- Раздел 2.3: создание псевдо-2D профиля путем расположения рядом нескольких скважин с разной мощностью коры выветривания;
- Раздел 2.4: исследование AVO-отклика от угленосных пластов различной мощности и конфигурации;

По итогам моделирования, автор заключает, что в зависимости от наличия или отсутствия углей, а также временной мощности коры

выветривания, для прогноза мощности КВ следует пользоваться кинематическими или динамическими атрибутами волнового поля в сочетании с данными скважин.

Стремление разделить влияние различных факторов привело к созданию «методики анализа волнового поля вблизи кровли доюрского комплекса», представленной в разделе 2.5. В работе показано, как, придерживаясь данной методики, удастся спрогнозировать мощность коры выветривания по сейсмическим данным.

В основном с результатами и выводами моделирования, а также с положениями методики можно согласиться. Стоит отметить, что исследование поведения сейсмических отражений, а особенно их спектра, на грани разрешающей способности (в тюнинг-зоне) на практике вообще встречается достаточно часто. В диссертационной работе был бы уместен обзор литературных источников на эту тему, а также сопоставление величины граничной мощности КВ по результатам моделирования (60 м) с теоретическими оценками разрешающей способности. Кроме того, странно, что для исследования выклинивающегося «тонкого слоя» коры выветривания не применена спектральная декомпозиция – широко применяемый на практике метод, нацеленный как раз на такие объекты.

Авторская методика применяется к реальным сейсмическим данным (разделы 2.6 и 2.7), результатом чего является прогнозная карта мощности КВ для участка А.

В целом, в этой главе автор придерживается системного подхода к исследованию коры выветривания. Вначале сделано геологическое описание объекта. Затем выполнено моделирование, которое позволило установить основные закономерности поведения волнового поля в условиях изменения мощности углей, их наличия или отсутствия, мощности КВ, свойств нижележащих пластов. Выявленные признаки применены к реальным сейсмическим данным для площадного изучения коры выветривания. Такой

подход свидетельствует о целостности и внутренней согласованности проведенного исследования, и его можно только поддержать.

Необходимо отметить следующие замечания к этой главе.

1) В работе очень поверхностно описаны петроупругие свойства целевых объектов, особенно значения отношения  $V_p/V_s$  для целевых объектов. Следовало бы перед моделированием и исследованием AVO-отклика привести кросс-плоты импеданса и отношения  $V_p/V_s$ , на которых точками разного цвета показать значения этих параметров для разных литотипов. Это позволило бы трактовать и волновую картину, и AVO-атрибуты, и результаты инверсии с позиций упругих свойств пород.

2) Вызывает сомнения целесообразность использования атрибута «индикатор тонкого слоя» для прогноза каких-либо свойств КВ. Во-первых, он неустойчиво ведёт себя на модельных разрезах (см. Рис. 2.11), на основании чего следовало бы этот атрибут отбраковать, а не делать основным для прогноза. Во-вторых, не приведено убедительного обоснования, в чем состоит его преимущество перед другими, не менее информативными, атрибутами. Отметим также, что упоминание этого атрибута в тексте ограничено лишь названием и не сопровождается никаким дополнительным пояснением.

3) Моделирование показало, что мощность углистого пласта очень существенно влияет на волновое поле (Рис. 2.16). Это ставит под сомнение некоторые пункты методики анализа КВ, а именно тезисы о том, от чего зависит интенсивность отражения в случае наличия углей и малой мощности КВ. По мнению оппонента, в данном случае интенсивность зависит не только от мощности КВ или свойств ДЮК, но и от свойств и мощности угленосного пласта. Это прекрасно видно на рис. 2.8: основной вклад в амплитуду отражения и во все атрибуты вносит не столько мощность коры выветривания, сколько наличие и мощность углей. Следовательно, прогнозирование мощности КВ по сейсмическим в таких случаях сопряжено с дополнительной неопределенностью. Её оценка была бы полезна в работе.

В главе 3, как и в предыдущей, анализу реальных сейсмических данных предшествует серия расчетов на моделях. Это позволило автору обоснованно выбрать оптимальный метод для построения фоновой модели и расчета инверсии.

В разделе 3.1 достаточно сжато и с практических позиций изложены особенности сейсмической инверсии волнового поля. Перечислены основные факторы, влияющие на расчет инверсии, и этапы выполнения этой процедуры. Отдельно рассмотрен алгоритм «Ji-Fi» инверсии и отмечены его преимущества перед другими алгоритмами.

Раздел 3.2 посвящен ограничениям сейсмической инверсии в ДЮК, причем часть из них относится к техническим моментам, часть – к геологическим, а часть – к недостаткам исходных данных. С этими рассуждениями в целом можно согласиться.

В разделе 3.3 рассмотрены результаты инверсии, выполненные по модельным данным. В этом разделе автор уделила основное внимание одному аспекту инверсии, а именно построению фоновой низкочастотной модели. Показано, что чем лучше построена фоновая модель, тем лучше получается результат инверсии, хотя этот вывод вряд ли требовал отдельного доказательства.

Раздел 3.4 освещает выполнение синхронной инверсии для участка В, при этом проведено тестирование различных вариантов построения фоновой модели. С основными выводами раздела можно согласиться. Решение использовать фоновую модель с сохранением контраста упругих свойств является вполне оправданным с технической точки зрения.

В разделе 3.5 рассмотрено применение синхронной инверсии литотипов и упругих свойств (Ji-Fi инверсии) к сейсмическим данным на участке А. Также приводится сравнение ее результатов с результатами «традиционной» инверсии, полученными в предыдущих разделах. Выполнен достаточно

детальный анализ результатов инверсии, и с основными наблюдениями и выводами можно согласиться.

К этому разделу есть следующее замечание. Сравнение приводится исключительно на качественном уровне и иллюстрируется лишь картами инвертированных параметров вблизи ОГ А. При выборе алгоритма инверсии обычно принято придерживаться количественных критериев (например, оценка погрешностей восстановления импеданса в точках скважин, кросс-плоты акустического и сдвигового импеданса, невязок волнового поля).

Глава 4 посвящена исследованию строения прикровельной части доюрского комплекса по набору сейсмических атрибутов. В разделе 4.1 приведены теоретические основы применяемых методов, а в разделе 4.2 представлены результаты изучения этими методами двух участков.

Среди методов, примененных автором для исследования и районирования доюрского комплекса, в разделе упоминаются: AVAz-анализ, DI-анализ, ДАГ-анализ.

В начале выполнено сопоставление азимутальной анизотропии амплитуд с направлением и интенсивностью трещиноватости в скважинах, а также дебитами жидкости скважин. Сделан вывод о том, что области повышенной интенсивности анизотропии коррелируют с расположением высокодебитных скважин.

Весьма любопытные результаты автор получила по итогам анализа спектральной декомпозиции рассеянной компоненты волнового поля. Это направление еще не до конца изучено, но уже имеет определенный практический потенциал.

В этом разделе также показаны обобщенные карты «атрибутов трещиноватости», представленные как смешивание карт анизотропии, дифракции и когерентности (так называемый ДАГ-анализ). Эти карты отражают наиболее перспективные зоны ДЮК.

В качестве замечания следует указать, что и районирование ДЮК, и проверка эффективности ДАГ-анализа выполнены лишь на качественном уровне. Работу бы очень украсила количественная оценка достоверности (или погрешности) результатов. Это позволило бы сделать утверждения о геологической информативности данной методики более убедительными.

В частности, логичным завершением ДАГ анализа было бы получение единого атрибута, отражающего перспективность ДЮК. Например, можно было бы посчитать взвешенную сумму когерентности, анизотропии и интенсивности дифракций, и сопоставить значения этого атрибута с данными скважин.

В Заключении автор обобщает основные результаты работы и еще раз вкратце подытоживает главные выводы, которые доказывают защищаемые положения.

Следует отметить некоторую оторванность глав друг от друга, хотя исследуется один и тот же объект по одним и тем же данным. К примеру, в главе 2 автор картирует угленосные пласты с использованием АVO-анализа и исследует мощность коры выветривания по сейсмическим атрибутам. Затем, в главе 3, с помощью инверсии исследуется весь среднеюрский и доюрский комплекс: результаты  $J_1$ - $F_1$  инверсии позволяют локализовать угли и выделить КВ в разрезе. Сопоставление этих данных с итогами предыдущей главы напрашивается, однако не приведено. Кроме того, инверсия позволяет выполнить районирование территории на формационные блоки по значениям импеданса в прикровельной части ДЮК. Как формационное районирование по импедансу соотносится с дальнейшим блоковым строением из главы 4? Влияет ли состав, импеданс и анизотропия отложений ДЮК на свойства и мощность коры выветривания? Эти вопросы оставлены без четкого ответа.

Есть ряд небрежностей в оформлении. Некоторые рисунки в тексте (например, 2.3) приведены без подписей осей. На рисунках 2.24, 3.8 – 3.13 на картах не показана линия разреза.

Автором выполнено весьма объемное исследование, которое охватывает и модельные, и реальные сейсмические данные, и скважины, причем включает анализ разнородных сейсмических полей и атрибутов. Диссертационная работа хорошо структурирована, каждый раздел насыщен информацией и выдержан в хорошем научном стиле. Перед использованием метода выполняется тестирование и анализ информативности. Это позволяет оценить автора как ученого-исследователя самым высоким образом. Обоснованность и достоверность защищаемых положений и научных выводов убедительно доказаны в работе. Как уже отмечалось, научная новизна, практическая значимость и актуальность работы не вызывают сомнений у оппонента.

Работа написана грамотным языком и хорошо проиллюстрирована. В тексте время от времени встречаются опечатки, стилистические и синтаксические ошибки, однако они не мешают восприятию смысла и не портят общего положительного впечатления от работы.

Вместе с тем, указанные 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:

Кандидат технических наук,

ведущий геофизик Отдела технологий сейсмических исследований

ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

**ГРИНЕВСКИЙ Антон Сергеевич**

22 мая 2023 г.

Контактные данные:

Тел.: +7 495 983 23 21, e-mail: Anton.Grinevskiy@lukoil.com

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Адрес места работы: 109028, Российская Федерация, г. Москва, Покровский бульвар, 3, стр.1, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

Тел.: +74959832286; e-mail: LUKOIL-Engin@lukoil.com

*Подпись Гриневского А.С. удостоверяю:*

и.о. Начальника отдела по работе с персоналом

Ульянова В.А.