

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

Динамическая интерпретация сейсмических данных на примере Верхне-
Шапшинского и Средне-Шапшинского лицензионных участков»

наименование темы выпускной квалификационной работы

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 403 группы
направления 05.03.01 «Геология»
геологического факультета
профиль «Нефтегазовая геофизика»
Громова Юрия Вячеславович

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель:

К.Г.-М.Н., доцент

А.Е. Артемьев

подпись, дата

Зав. кафедрой геофизики,

К.Г.-М.Н., доцент

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Саратов 2023

Введение. Рассматриваемая в данной работе динамическая интерпретация сейсмических данных является одним из заключительных этапов проводимых работ. Её задачей является прогнозирование вещественного состава и свойств горных пород.

Актуальность работы заключается в успешном применении самых современных методов динамической интерпретации, используемых ведущими исполнителями в этой сфере.

Целью работы является определение фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов и их распределение в продуктивных пластах, выделенных в пределах рассматриваемых лицензионных участков.

Исходя из поставленной цели в ходе работы будут решаться следующие задачи:

- Анализ проведённых ранее геолого-геофизических исследований в том числе априорных данных, полученных в ходе бурения.
- Изучение геологического строения изучаемой территории.
- Проведение акустической и синхронной инверсии сейсмических данных.
- Выполнение сейсмофациального анализа целевых интервалов.
- Реализация технологии спектральной декомпозиции сейсмических данных.

Описываемая работа состоит из трех разделов- **краткая геолого-геофизическая характеристика**, включающая в себя общие сведения, литолого-стратиграфическую характеристику и тектонику района работ, **краткие сведения о методике полевых работ и графе обработки**, подразделённые на методику полевых работ и обработку сейсмических данных и **динамическая интерпретация сейсмических данных**, в которую включены инверсия сейсмических данных (акустическая и синхронная инверсия), расчёт и анализ атрибутов сейсмического куба, сейсмофациальный анализ и спектральная декомпозиция сейсмических данных.

Основное содержание работы. Краткая геолого-геофизическая

характеристика района работ. Общие сведения. Территория исследования включает в себя площади Шапшинской группы месторождений (Верхне-Шапшинское, Средне-Шапшинское, Нижне-Шапшинское), частично - Приразломного, Приобского, Восточно-Эргинского месторождений.

Геоморфология и рельеф района работ являются характерными для территорий центральной части Западно-Сибирской равнины. В геологическом отношении равнина молодая, аллювиальная с широко развитыми довольно значительной толщины четвертичными отложениями.

В административном отношении район работ расположен на территории Ханты-Мансийского и Нефтеюганского районов Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области РФ.

Литолого-стратиграфическая характеристика. В строении геологического разреза рассматриваемой территории Шапшинской группы месторождений принимают участие складчатый гетерогенный фундамент и осадочный комплекс мезозойско-кайнозойского чехла.

Породы фундамента, относящиеся к нижнему структурно-тектоническому этажу, представлены двумя комплексами: протерозойским (докембрийским) и палеозойским. Протерозойские породы слабо изучены и представлены слюдистыми, кремнистыми сланцами, гнейсами, гранито-гнейсами, кварцитами. Среднепалеозойский комплекс пород представлен, как правило, каменноугольной (нижний отдел) и девонской системами. Породы представлены известняками, эффузивами среднего и основного состава, туфами и туфопесчаниками. Породы отличаются меньшей степенью метаморфизма и дислоцированности. Нижнепалеозойские породы представлены кристаллическими сланцами.

Доюрское складчатое основание с угловым и стратиграфическим несогласием перекрыто породами осадочного чехла. Геологический разрез осадочного чехла, в основном, представлен песчано-глинистыми отложениями юрской, меловой и палеогеновой систем, несогласно перекрытыми осадками

четвертичной системы. Отложения юрской системы представлены нижним, средним и верхним отделами. В их строении выделяются два комплекса пород: нижний – континентального генезиса и верхний – морского. Нижний комплекс представлен осадками ягельной, горелой и тюменской свит. Верхний комплекс слагают осадки абалакской и баженовской свит.

Отложения меловой системы развиты повсеместно и, согласно «Региональной стратиграфической схеме районирования», в возрастном отношении представлены двумя отделами: нижним и верхним. Нижний отдел меловой системы включает отложения ахской, черкашинской, алымской, викуловской, ханты-мансийской свит, а верхней – отложения уватской, кузнецовской, березовской и ганьковской свит.

Отложения палеогеновой системы представлены тремя отделами: палеоценом, эоценом и олигоценем. Накопление основной массы осадков происходило в морских условиях и только в верхней части разреза появляются породы прибрежно-морского и континентального генезиса.

Тектоника. Шапшинская группа месторождений приурочена к Ханты-Мансийскому массиву и Салымской структурно-формационной зоны (СФЗ) Западно-Сибирской плиты. Границами СФЗ являются глубинные разломы, породы фундамента нарушены многочисленными тектоническими нарушениями. Вероятнее всего под палеозойскими образованиями, отличающимися меньшей степенью метаморфизма и дислокации, расположены сильно дислоцированные байкалиды. Основными крупными структурными элементами первого порядка являются: Казым-Нижедемянская мегавпадина и Юганская мегавпадина (в западной части ЛУ).

В пределах изучаемой территории Казым-Нижедемянская мегавпадина включает в себя Ханы-Мансийскую впадину (средняя структура I порядка), в пределах которой выделяются 3 средних структуры II порядка: Верхне-Шапшинское КП в центральной части, Нижне-Шапшинский малый вал на юге и Огибающий малый прогиб на севере. В числе средних и малых структур III и IV

порядков выделяются 3 антиклинальных и 5 синклиналильных безымянных структур, а также Верхне-Шапшинское поднятие и 2 безымянных антиклинали, относящихся к Верхне-Шапшинскому КП.

Краткие сведения о методике полевых работ и графе обработки.

Методика полевых работ. Полевые работы по методике МОГТ-3D в пределах изучаемых лицензионных участков представлены 15 съёмками, отработанными с 1998 по 2017 года общей площадью 1870 км². Последняя съёмка, выполненная в 2017 году, была проведена в зоне распространения толщи ачимовских отложений с доказанной нефтегазоносностью. Основная сложность заключалась в заболоченности исследуемой территории и увязке проектного участка работ с работами прошлых лет.

Обработка сейсмических данных. Обработка материала, полученного в ходе проведения полевых работ осуществлялась по стандартному графу обработки, разделенному на предварительный и основной этапы.

Основной этап включает в себя следующие процедуры:

-Ввод полевых данных в формате SEG-Y, SEG-D и перевод их во внутренний формат обрабатывающей системы.

-Описание геометрии с помощью SPS-файлов и бинирование;

-Присвоение геометрии и контроль;

-Построение карт атрибутов;

-Оценка качества записей и редактирование данных;

-Расчет и ввод априорных статических поправок «за рельеф»;

-Коррекция амплитуд за геометрическое расхождение;

-Уравнивание амплитуд на сейсмограммах с разными источниками возбуждения;

-Приведение к единой форме сигнала съёмок с разными источниками возбуждения;

В свою очередь основной этап обработки включает следующие процедуры:

-Сигнал-ориентированное подавление помех (LIFT1);

- Поверхностно-согласованная амплитудная коррекция. 1-ая итерация;
- Предсказывающая минимально-фазовая поверхностно-согласованная деконволюция;
- Сигнал-ориентированное подавление помех (LIFT2);
- Поверхностно-согласованная амплитудная коррекция. 2-ая итерация;
- Корректирующая полосовая фильтрация 5-10 – 90-120 Гц;
- Детальный интерактивный анализ скоростей по сетке 0.5x0.5 км;
- Автоматическая коррекция поканальной статики (трим-статика) в широком окне;
- 3D миграция до суммирования;
- 3D сеточная томография, схема которой представлена на рисунке 7;

В результате вышеописанных процедур была получена глубинно скоростная модель до суммирования.

Динамическая интерпретация сейсмических данных. На изучаемой территории проведен динамический анализ и интерпретация сейсмических данных входными данными для которого являлись:

- финальные сейсмограммы и сейсмический 3D куб после глубинной миграции (переведенный во временной масштаб), прошедший все этапы графа обработки;
- массив скважин, обеспеченных каротажными данными и поточечной интерпретацией;
- корреляция опорных и вспомогательных отражающих горизонтов.

Основной практический интерес на площади исследования связан с терригенными отложениями черкашинской и ахской свит нижнего отдела меловой системы, а также отложениями баженовской свиты верхнего отдела юрской системы.

Инверсия сейсмических данных. Сейсмическая инверсия — это процесс преобразования сейсмических данных в физические величины, характеризующие свойства пород, слагающих резервуар.

Эффективность сейсмической инверсии зависит от нескольких факторов: качества и полноты исходных геолого-геофизических данных; геологических особенностей изучаемых отложений; возможности выделения коллекторов в поле упругих параметров. Тип осуществляемой сейсмической инверсии зависит от круга решаемых задач и, в первую очередь, от наличия необходимого набора априорных данных (сейсмической и скважинной информации).

Акустическая инверсия. Инверсия реализована в пакете Vanguard (компании Paradigm) по алгоритму IFP Constrained Stratigraphic Inversion. Данный алгоритм объединяет всю входную информацию и позволяет получать кубы распределения упругих параметров хорошо согласующихся с априорными данными.

Акустическая и синхронная инверсии проводились по стандартному графу, в который входят: увязка сейсмических и скважинных данных; оценка сейсмического импульса; создание низкочастотной фоновой модели; тестирование и подбор оптимальных параметров расчета инверсии.

Для осуществления акустической инверсии использовался 3D куб PSDM, полученный в результате глубинной миграции до суммирования, переведенный во временной масштаб. Для целей синхронной инверсии использовались кубы частично-кратных угловых сумм, рассчитанные по финальным сейсмограммам после глубинной миграции. Для этих целей предварительно проводится анализ качества мигрированных сейсмограмм PSDM и оценка оптимального (значимого) для исследуемого интервала диапазона углов падения.

Для расчета кубов частично-кратных угловых сумм использовались финальные сейсмограммы после глубинной миграции во временном масштабе и куб интервальных скоростей (для пересчёта сейсмограмм из удалений в углы падения).

Сейсмический импульс, необходимый для осуществления инверсионных преобразований, был получен на основе извлеченных импульсов, полученных при привязке скважинных данных

На этапе увязки скважинных и сейсмических данных оценивался калибровочный коэффициент, необходимый для приведения в соответствие амплитуд сейсмических трасс к коэффициентам отражения при инверсии. В среднем по скважинам данный параметр составил $2.8e^{-0.5}$.

Создание фоновой модели. В процессе инверсии совместно используются данные сейсморазведки и ГИС. Скважинные данные служат для того, чтобы добавить низкочастотную компоненту за пределами сейсмической полосы частот. Как известно, сейсмическая трасса несет в себе информацию о той части модели среды, которой соответствует среднечастотная область, ограниченная диапазоном частот f_l - f_h , в котором сосредоточена практически вся энергия сейсмического импульса. Составляющие модели среды, определяемые низкочастотной областью ($f < f_l$), должны задаваться в качестве дополнительной информации. Такой дополнительной информацией служит низкочастотная фоновая модель акустического импеданса, которая, как правило, получается путем интерполяции скважинных данных по площади.

В качестве структурно-временного каркаса при создании фоновой модели использовались отражающие горизонты, полученные в результате кинематической интерпретации.

Этапу формирования фоновой модели предшествовал этап анализа и сопоставление кривых акустического импеданса в интервалах структурно-временного каркаса (полученного по корреляции ОГ) по скважинам, отобранным для инверсии.

Таким образом, основываясь на скважинных данных, была создана низкочастотная фоновая модель, представляющая собой куб акустического импеданса, полученного в результате интерполяции. Сверху интервал ограничен временем 1780мс, снизу 2400мс.

К полученной фоновой модели применялась процедура фильтрации, чтобы исключить высокочастотные компоненты.

Далее с использованием исходного сейсмического куба, низкочастотной

фоновой модели и сейсмического импульса происходит тестирование и подбор оптимальных параметров расчета инверсии и собственно инверсия.

Синхронная инверсия. Синхронная инверсия — это метод инверсии, в котором в качестве входных данных используются несколько кубов частично-кратных угловых сумм, а также каротажные кривых упругих методов (V_p , V_s и R_{hob}). Данный вид инверсии направлен на получение более надежного и взвешенного результата, чем результат акустической инверсии. В результате инверсии получаются кубы акустического (I_p) и сдвигового (I_s) импедансов, а также плотности (R_{hob}).

Для осуществления синхронной инверсии важно, чтобы кривые скорости продольной (V_p) и поперечной (V_s) волн, а также плотности (R_{hob}) были получены независимо друг от друга.

Важная часть процесса инверсии заключается в оценке сейсмических импульсов. На этапе увязки скважинных и сейсмических данных по каждому из кубов угловых сумм была проведена оценка импульса в точках скважин. Результаты по трем кубам представлены на рисунке 8. На каждом графике красным цветом выделен средний импульс, который использовался при инверсии. Также на этапе привязки для каждого куба оценивался калибровочный коэффициент, необходимый для приведения в соответствие амплитуд сейсмических трасс к коэффициентам отражения при инверсии. В среднем по скважинам данный параметр составил $4.8e^{-0,6}$ для ближних удалений, $6.2e^{-0,6}$ для средних удалений и $6.5e^{-0,6}$ для дальних удалений.

Также на этапе оценки качества инверсионных преобразований проводилось сопоставление исходного волнового поля с синтетическим полем, полученным в ходе инверсии. Высокий коэффициент корреляции ($KVK = 0.99$) и достаточно хорошая сходимость спектров подтверждает качество результата инверсии.

Расчёт и анализ атрибутов сейсмического куба. Геологическая среда является своеобразным фильтром сейсмического сигнала. Изменения свойств

изучаемой толщии косвенным образом отражаются на изменении динамических характеристик волнового поля. Качественный анализ атрибутов сейсмической записи позволяет обозначить аномальные зоны в пределах перспективных интервалов и отождествить их с вероятным изменением свойств геологической среды.

Для целей качественной интерпретации (атрибутного анализа) и последующего количественного прогноза (регрессионного анализа) из сейсмического куба (PSDM) были рассчитаны следующие кубы атрибутов: Average Frequency (AF – средняя частота); Instantaneous Frequency (IF – мгновенная частота); Instantaneous Phase (IP – мгновенная фаза); Relative Acoustic Impedance (RAI – относительный акустический импеданс); Signal Envelop (SE – мгновенная амплитуда); Differentiation (DIF – производная по форме сигнала, позволяющая дифференцировать разрез и выделить более тонкие пласты); Hilbert Transformation – (HT – исходный сейсмический куб, повернутый на 90 градусов); 20Hz, 25Hz, 30Hz, 35Hz, 40Hz, 45Hz, 50Hz, 55Hz, 60Hz – кубы результата частотного (спектрального) разложения по соответствующим частотам; Semblance – когерентность волнового поля. Далее был проведён их анализ и сопоставление с кубами распределения упругих параметров с целью выявления зависимостей.

Сейсмофациальный анализ. Анализ сейсмических фаций базируется на предположении, о том, что различные геологические фации в интервале пласта по-разному влияют на динамические характеристики сигнала. Анализируя сейсмические данные по форме и динамическому уровню можно разделить волновое поле на определенное количество классов.

Анализ неоднородности волнового поля идет статистическими методами (метод неуправляемой классификации), при этом определяются наиболее характерные для изучаемого интервала формы сейсмической записи. Полученные классы можно использовать на качественном уровне для описания геологической неоднородности пласта.

При получении карт распределения сейсмофаций (сейсмоклассов) анализируется не только исходный сейсмический куб, но также кубы различных сейсмических атрибутов. В качестве вспомогательной информации нередко привлекается и результат акустической инверсии. Комбинируя различные группы входных данных, выбирается то множество априорной информации и то количество сейсмоклассов, которые оптимальным образом отразят геологическую ситуацию изучаемого интервала разреза.

В ходе сейсмофациального анализа ачимовской толщи были выявлены предположительные конусы выноса, хорошо прослеживающиеся на карте сеймофаций.

Спектральная декомпозиция. Под спектральной (частотной) декомпозицией понимается спектральный анализ сейсмической информации, в результате которого реализуется возможность получения кубов амплитуд для конкретных сейсмических частот. Данные кубы могут быть совместно визуализированы для дальнейшего анализа с помощью технологии цветового смешивания (Colour Blending). Технология Colour Blending (цветовое смешивание) представляет собой наложение в полупрозрачности трех кубов различных сейсмических частот в цветовой гамме RGB. Такой совместный анализ позволяет оценивать вклад разных частот в формирование итогового изображения геологической среды. Применение данной технологии позволило наглядно увидеть сложную систему речных русел в отложениях тюменской свиты, что характеризует её как оптимальную для определения морфологических особенностей сейсмической записи.

Заключение. На площади Шапшинской группы месторождений проведен динамический анализ интервала от отложений доюрского комплекса до черкашинской свиты.

В ходе анализа получены следующие результаты:

- выполнены инверсионные преобразования в интервале целевых отложений (получены кубы акустического и сдвигового импедансов, а также

плотности);

- для всех интервалов исследования построены и проанализированы карты распределения сейсмофаций;

- проведен анализ вертикальных срезов кубов сейсмических атрибутов и выделены на качественном уровне области распространения пластов - коллекторов;

- в пределах пластов ачимовской толщи выявлены объекты, отождествляемые с конусами выноса;

- в пределах отложений тюменской свиты по результатам спектрального разложения выделена сложная система речных русел;

Представленные результаты акустической и синхронной инверсии сейсмических данных с коэффициентом взаимокорреляции при сопоставлении с синтетической моделью 0,99 говорят о корректности проделанной работы и позволяют их использование для дальнейшего прогноза коллекторских свойств целевых продуктивных пластов.

Помимо прочего выявлены корреляционные зависимости фильтрационно-емкостных свойств пород от упругих параметров среды для 2-х пластов ачимовской толщи. Для пласта Ач_1 наблюдается тенденция к понижению значений плотности в коллекторах относительно вмещающих пород, а для пласта Ач_2 установлена корреляционная связь между плотностью и принятой пористостью. Благодаря установлению этих зависимостей можно высчитать прогнозные эффективные нефтенасыщенные толщины, что в свою очередь позволит высчитать прогнозные запасы и ресурсы нефти.

Результаты, полученные в ходе работы позволяют уточнить детали геологического строения установленных нефтяных и газовых залежей в границах Верхне-Шапшинского и Средне-Шапшинского участков недр, а также провести прогноз и выявление новых ловушек углеводородов в пределах рассматриваемых интервалов.