

Система AVOAN: ее возможности и перспективы применения

Бусыгин И.Н., Белоусов О.Н., Воронова Г.Н., ФГУП "Гемма", г. Краснодар

Изучение динамики сейсмозаписей и изменения интенсивности отражённой волны с удалением от ПВ (AVO-анализ) позволяет получить значительно больше информации о геологических характеристиках разреза и, в частности, о его литологии, коллекторских свойствах, анизотропии, характере флюидонасыщения, чем это удаётся сделать на основе обычной технологии метода ОГТ.

Система AVOAN, разработанная в НПФ "Гемма", представляет собой пакет программ, предназначенных для выполнения такого AVO-анализа с целью прогноза УВ-насыщения коллекторов.

AVOAN выполнена в рамках системы СЦС 5 на платформе PC и рабочих станций SUN Sparc. Имеется версия AVOAN, включённая в состав системы INPRES.

Программы системы реализуют пакетный и интерактивный режим обработки и позволяют формировать обзорную информацию по разрезу и кубу данных, выполнять детальный анализ обнаруженных аномалий с целью установления их флюидосодержания.

Взаимосвязи составляющих компонент системы иллюстрирует рис. 1.

AVO-анализ производится по сейсмограммам ОГТ, подготовленным к получению окончательного временного разреза и подвергнутым миграции по сейсмограммам. Все процедуры выполняются с сохранением амплитуд. Скоростная модель задаётся априорными продольными скоростями V_{zf} , V_{int} .

Собственно AVO-обработку можно представлять состоящей из нескольких этапов, в рамках каждого из которых выполняются определённый набор процедур обработки (табл.1).

Она начинается с получения угловых разрезов и угловых сейсмограмм, которые используются для выбора углового и временного диапазонов анализа.

Построение системы AVOAN основано на реализации классической схемы [1], состоящей в аппроксимации распределения динамики

сейсмограмм ОГТ линейризованными упрощениями уравнения Цепритца и определения методом наименьших квадратов (МНК) AVO-атрибутов, характеризующих локальные свойства среды. Будем называть атрибуты, определяемые непосредственно МНК, базисными, остальные атрибуты, построенные на их основе, производными.

В силу плохой обусловленности системы нормальных уравнений МНК, когда угловой интервал, соответствующий длине расстановки ОГТ, уменьшается на больших временах (внизу разреза), из-за мьютинга (верхняя часть разреза) и при понижении кратности ОГТ (в начале и в конце профиля, на участках перехода через реки и при других препятствиях) в системе предусмотрено решение уравнений МНК с регуляризацией по Тихонову относительно априорных данных о разрезе.

Помимо средств, предназначенных для решения задач производственной обработки и интерпретации реального сейсмического материала, система имеет достаточно большой набор программ для исследования вопросов методического характера (выбор наиболее информативных атрибутов, их комбинаций, выбор оптимальной математической модели динамики отражённой волны и т.д.). Достаточно отметить, что система предусматривает расчёт нескольких десятков атрибутов. В качестве основных определяемых параметров можно назвать коэффициенты нормального отражения продольных и поперечных волн, градиент изменения амплитуды сигнала в зависимости от угла падения волны на границу, флюид-фактор F , являющийся индикатором газовой залежи, градиент продольных и поперечных скоростей и другие характеристики среды. Система содержит также программу, которая позволяет строить линейные и нелинейные комбинации атрибутов вида $k_1 a_1 + k_2 a_2 + k_3 a_3 \text{sgn}(a_4)$, $k a_1 a_2$, $k a_1 / a_2$, $k \sqrt{a_1}$, где k_i - числовые коэффициенты, a_i - атрибуты. Кроме того, система использует шесть вариантов математической модели распределения интенсивности отражённой

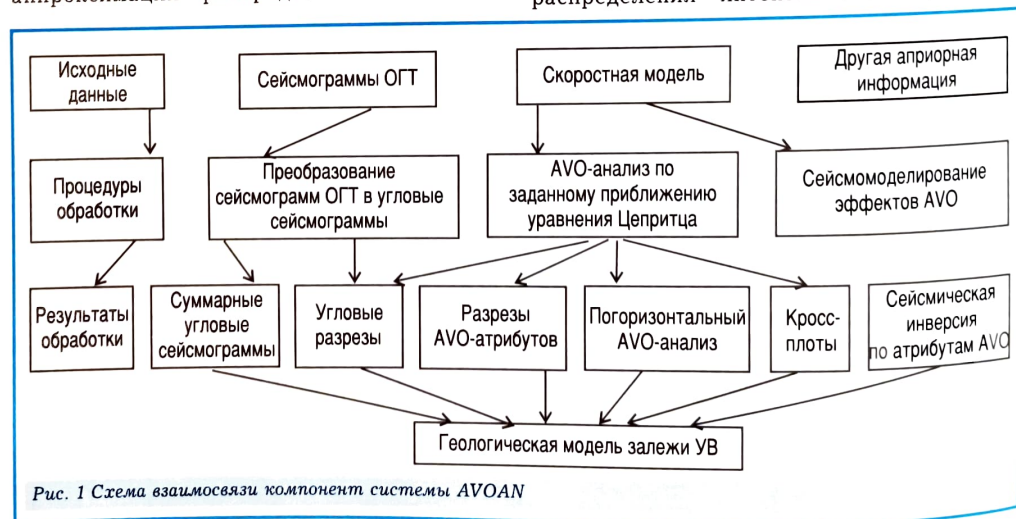


Рис. 1 Схема взаимосвязи компонент системы AVOAN



ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-ИНТЕРПРЕТАТОРА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

Таблица 1 Типовой граф AVO-обработки

Этапы	Процедуры
Подготовка с/записей к AVO-анализу	Угловая трансформация сейсмограмм ОГТ. Коррекция скоростной модели. Формирование угловых разрезов. Выбор математической модели AVO.
AVO-анализ на основе априорной информации	Формирование разрезов AVO-атрибутов. Формирование фоновых разрезов.
AVO-анализ на основе уточненной информации	Уточнение фоновой информации. Формирование итоговых AVO-разрезов. Установление аномальных объектов.
Сейсмическая инверсия по результатам AVO-анализа	Интегрирование базисных AVO-атрибутов. Вычисление зависимых параметров для вязкоупругих сред.
Детальный анализ целевых объектов	Привязка целевых горизонтов по данным АК и ГИС Формирование кросс-плотов. Определение класса аномалий. Погоризонтный AVO-анализ. Определение характера флюидонасыщения. Контроль результатов сейсмо моделированием.

волны на сейсмограммах ОГТ: трехчленную (для волн типа PP), три двухчленных с разными вариантами выбора базисных атрибутов (для волн типа PP), модель для расчёта фоновых значений атрибутов (в случае волн PP-типа), модель для расчёта атрибутов по обменным волнам (PS-типа). Таким образом обеспечивается большая гибкость системы и приспособляемость к различным геологическим условиям.

Особенностью системы является широкое использование фоновой информации о разрезе, то есть фоновых значений атрибутов, рассчитанных на основе априорных данных о геологических параметрах среды в предположении водонасыщенности коллекторов.

В качестве такой априорной информации используются продольные скорости V_p (обязательно), поперечные V_s и плотности ρ (поперечные скорости и плотности - при наличии такой информации). Априорная модель среды задается в отдельных точках профиля (допускаются данные акустического и плотностного каротажа) или в виде непрерывных скоростных и плотностных разрезов. В качестве продольных скоростей используются скорости $V_{p0}, V_{p1}, V_{p2}, \dots$.

Если измерения поперечных скоростей и плотности на профиле отсутствуют, то предусмотрено описание этой информации региональными статистическими соотношениями. Для терригенного разреза эти зависимости определены в виде уравнения алевролитовой линии для скоростей и формулы Гарднера для плотности:

$$V_p = a + bV_s, \quad \rho = mV_p^n + k,$$

где a, b, m, n, k - числовые коэффициенты, полученные путём регионального обобщения соответствующих петрофизических параметров. Сопоставление атрибутов, определённых по сейсмическим данным, и их фоновых значений позволяет обнаружить на разрезе аномальные области (зоны, интервалы), не подтверждённые фоновой информацией, и, следовательно, являющиеся объектами, перспективными для дальнейшего изучения.

Другой особенностью системы является наличие программ расчёта набора упругих параметров среды, таких как продольные и поперечные скорости, импедансы, коэффициент Пуассона, упругие модули, коэффициенты Ляме и т.д. Таким образом, с помощью всего комплекса программ система реализует решение проблемы инверсии сейсмических данных в адекватную геологическую модель среды. Важно отметить, что при этом мы получим интегрированные (сглаженные) распределения параметров разреза, что значительно повышает корректность задачи инверсии и устойчивость получаемых результатов при сохранении их высокой информативности. В качестве примера приведём рис. 2, где представлены разрезы V_p и V_s , полученные по предварительно рассчитанным атрибутам $\Delta V_p / V_p, \Delta V_s / V_s$. Эти разрезы позволяют сделать предположение о наличии газового ореола над установленной техногенной залежью в майкопских отложениях на глубине ≈ 1100 м.

Пользуясь допущением о применимости уравнений алевролитовой линии и формулы Гарднера, система позволяет по профильным данным рассчитывать коэффициенты анизотропии Томсена ϵ, δ (рис. 3): в предположении ориентации оси симметрии вдоль профиля (модель НТИ) и вертикальной ориентации (модель VTII). Такая анизотропия может быть обусловлена вертикальной или горизонтальной системой трещин, например, в карбонатных коллекторах (вторичная трещиноватость).

Для детального изучения AVO-аномалий, уточнения размеров и структуры залежей в системе используется программа погоризонтного AVO-анализа, которая работает в интерактивном режиме, позволяя оперативно контролировать исходную информацию на сейсмограммах, качество её аппроксимации, получать погоризонтные графики различных AVO-атрибутов и упругих характеристик разреза.

Программа формирования кросс-плотов позволяет задавать любую пару атрибутов и рассчитывает положение на плоскости кросс-плота линии их фоновых значений. Сопо-

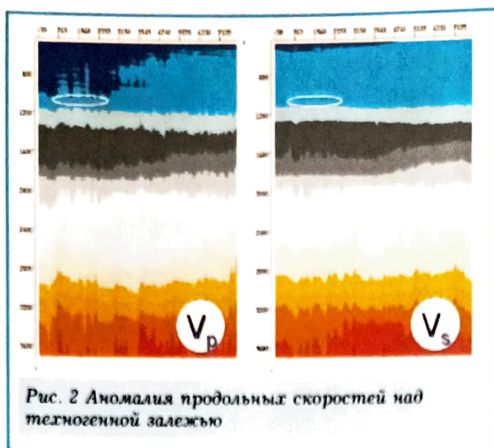


Рис. 2 Аномалия продольных скоростей над тектогенной залежью

ставление положения точек, построенных по заданным атрибутам, с положением фоновой линии облегчает интерпретацию AVO-аномалий, позволяя сравнивать характеристики изучаемых аномалий с аналогичными параметрами водонасыщенных коллекторов.

Процедура AVOAN - 3D обеспечивает выборку информации из бинов площадной съёмки и упорядочивание сеймотрасс по удалениям ПВ - ПП в пределах каждой выборки. Дальнейшая обработка полностью аналогична AVO-обработке профильных данных, однако, сопоставление полученных кубов различных атрибутов значительно повышает надёжность обнаружения и интерпретацию AVO-аномалий.

Азимутальный анализ данных 3D сводится к сортировке всех диполой ПВ - ПП, входящих в состав бина, по угловым секторам и к выполнению обычной AVO-обработки в пределах каждого сектора. При этом полученные значения атрибутов увязываются с направлениями углового сектора относительно оси X (с азимутом относительно оси X). Представительность азимутальных выборок характеризуется диаграммами кратности, удалений, коэффициентов равномерности выборки. Распределение самого атрибута и азимутальных углов выдаётся в виде графиков или в виде полярных диаграмм, аппроксимируемых эллипсом, обобщённо изображающим анизотропию свойств разреза.

В качестве количественной оценки анизо-

тропии принимается коэффициент

$$K = \frac{a_{max} - a_{min}}{\sqrt{a_{max} + a_{min}}}$$

где a_{max} , a_{min} - большая и малая полуоси эллипса.

Направлением трещиноватости считается угол Λ , который образует большая полуось эллипса с осью X.

Таким образом, каждому бину соответствуют два числа K и Λ , рассчитываемых по любому заданному атрибуту, которые формируются в виде разрезов (кубов) и погоризонтных графиков. Кроме того, на основе азимутального анализа по атрибутам V_p и V_s рассчитываются коэффициенты Томсена ϵ , δ , которые изображаются в виде разрезов (кубов) и погоризонтных графиков.

После установления структуры изучаемых отложений (слоистость, литология), стратиграфической привязки целевого горизонта выполнения AVO-обработки - очень важно проконтролировать полученные представления о геологической модели изучаемого объекта и характере его флюидонасыщения путем сейсмомоделирования для разреза с водонасыщенными и с нефтегазонасыщенными коллекторами. В настоящее время мы приступаем к разработке пакета программ моделирования сейсмозаписей отраженной волны с учётом тонкослоистости, пористости коллекторов, пластового давления, частотно-зависимого поглощения на основе модели Френкеля-Био-Гиртсма, учета анизотропии разреза и т.д.

Довольно значительный пакет автономных программ моделирования AVO-эффектов разработан нами совместно с ОАО "Краснодар-нефтегеофизика." В течение 2003 года мы планируем включение этих программ в состав системы AVOAN.

Литература

1. Smith G.C., Gidlow P.M. Weighted stacking for rock property estimation and detection of gas. GP, vol. 35 1987.

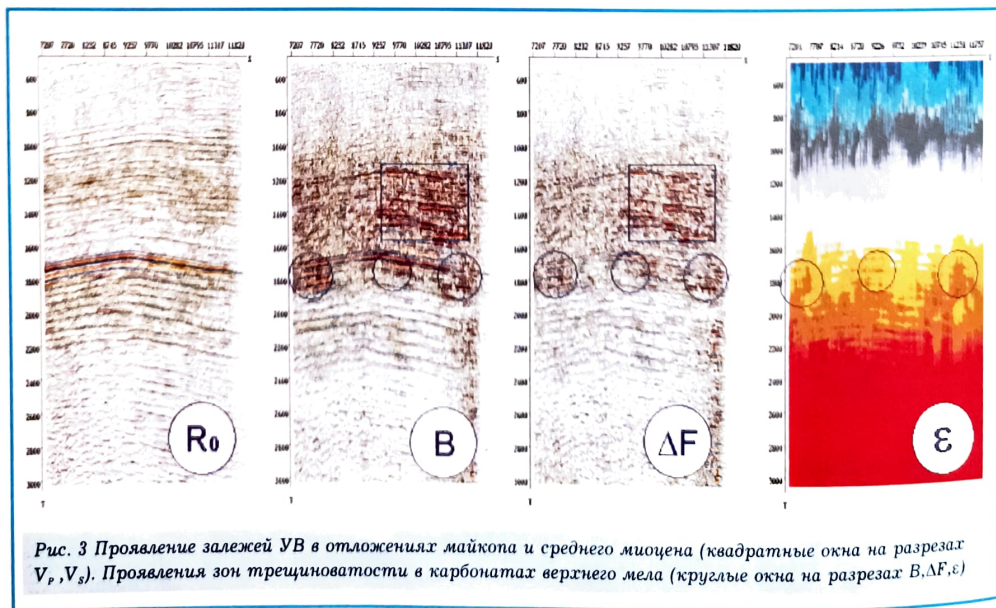


Рис. 3 Проявление залежей УВ в отложениях майкопа и среднего миоцена (квадратные окна на разрезах V_p , V_s). Проявления зон трещиноватости в карбонатах верхнего мела (круглые окна на разрезах B , ΔF , ϵ)