

Обнаружение зон трещиноватости пород в отложениях баженовской свиты по данным сейсморазведки 3D

■ Кириллов С.А., Лаврик А.С., Самойлов А.В., ОАО ЦГЭ, г. Москва

Аннотация. Воздействие на геологические породы тектонических движений приводит к направленности расположения частиц пород и слоистости и в случае превышения предела прочности пород – к структурным нарушениям и к трещиноватости. Трещиноватые или глинистые коллектора часто являются анизотропными. Поэтому для построения глубинной модели среды, глубинной миграции с дальнейшим прогнозом зон трещиноватости коллектора необходимо выявлять и учитывать анизотропию скоростей.

Некоторые типы коллекторов характеризуются сложным внутренним строением: кроме первичной пористости, они содержат трещины и каверны – вторичную пористость. Как правило, именно вторичная пористость определяет фильтрационные характеристики продуктивного пласта, поэтому информация о ее структуре необходима для оптимизации разработки залежи углеводородов.

Одной из наиболее актуальных проблем, стоящих перед сейсморазведкой, является прогноз зон трещинно-поровых коллекторов, локализация их в разрезе и плане.

Для выделения зон трещиноватости нефтеперспективных пластов развиваются способы интерпретации данных сейсморазведки 3D на основе азимутальной анизотропии.

Пласт с вертикально-ориентированными трещинами представляется в виде модели трансверсально-изотропной среды с горизонтальной осью симметрии (среда НТИ). Известно [1, 2], что наиболее надежные результаты при изучении азимутальной анизотропии среды могут быть получены с использованием поперечных и обменных волн. Однако изучение азимутальных изменений кинематических и динамических характеристик отраженных продольных волн позволяет обнаружить и картировать трещиноватый коллектор нефти и газа [3, 4].

В основу анализа результатов азиму-

тальной анизотропии продольных волн положено предположение, что трещиноватость может проявляться в виде изменения скоростных свойств среды в зависимости от направления распространения волны по отношению к доминирующему направлению трещин. Особенно сильно различаются скоростные свойства для волн, распространяющихся в направлениях вдоль и поперек трещин. Эти изменения оцениваются в виде так называемой горизонтально ориентированной или азимутальной анизотропии скоростей.

Авторами сделана попытка обнаружения зон трещиноватости в интервале пластов баженовской свиты в одном из районов Западной Сибири на основе азимутального анализа данных сейсморазведки 3D.

Применяющиеся трехмерная система наблюдений неоптимальна для проведения азимутального анализа данных. Это связано с неравномерной плотностью наблюдений на различных удалениях от источников и при различных азимутах распространения волн. Неполнота данных ухудшает работу всех существующих алгоритмов азимутального скоростного и амплитудного анализов и приводит к большим погрешностям определения свойств геологической среды.

Погрешность определения направления оси анизотропии растёт при уменьшении числа профилей, особенно важно

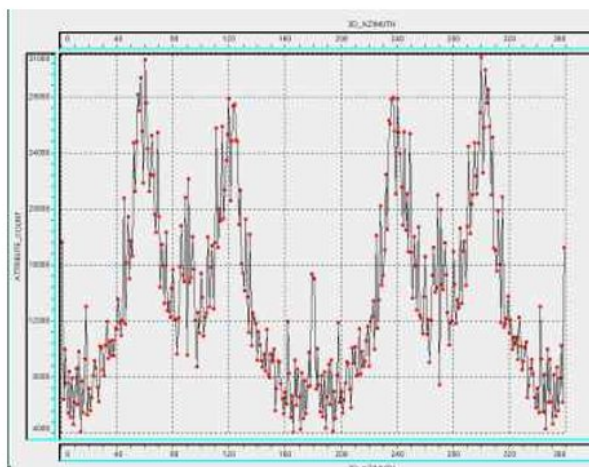
наличие профилей с азимутами, близкими к направлению оси симметрии.

Граф обработки данных 3D, основанный на выравнивании кратности по азимутам и удалениям, позволяет по результатам азимутального AVO-анализа продольных волн определить преобладающее направление трещиноватости пород.

На этапе подготовки сейсмических данных 3D весь набор сейсмограмм разбивается на сектора по азимутам, по которым происходит суммирование и последующие сравнение азимутальных кубов между собой.

Для исключения влияния углов наклона годографа отраженной волны расчет атрибутов выполнялся по сейсмограммам после трехмерной временной миграции. Поскольку обычная миграция выполняет миграционные преобразования в полном диапазоне азимутов, то информация об азимуте для выходной трассы теряется. Поэтому для сохранения информации об азимуте стандартная временная миграция была заменена азимутальным вариантом.

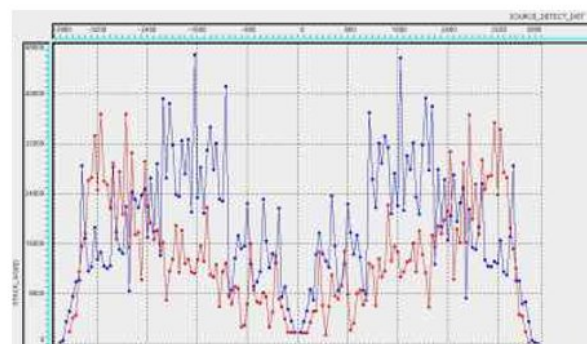
Для определения диапазона азимутов проведено изучение распределения данных по азимутам. На рис.1 наблюдается два максимума в распределения данных в направлениях 60° и 120° .



▲ Рис. 1. Распределение данных по азимутам.

Поэтому исходные данные перед процедурой миграции были разделены по азимутам на две группы. В первую группу вошли трассы с азимутами в диапазонах от 300° до 60° и от 120° до 240° (в дальнейшем эта группа трасс будет называться az_1). Во вторую группу вошли трассы с азимутами в диапазонах от 60° до 120° и от 240° до 300° (в дальнейшем эта группа трасс будет называться az_2).

Выполнена проверка отсортированных данных на количество трасс попадающих в заданный азимутальный сектор. График распределения трасс в зависимости от удалений для двух этих групп приведен на рис.2. Трассы группы az_1 изображены синим цветом, трассы группы az_2 – красным цветом. Видно, что для двух выбранных секторов распределение трасс примерно одинаково, таким образом, количество трасс, участвующих в каждом диапазоне удалений не сильно отличаются для двух заданных секторов.



▲ Рис. 2. График распределения трасс по удалениям.

Подготовка данных и временная миграция по сейсмограммам выполнялась для каждого выбранного азимутального сектора отдельно.

Каждый массив данных разбит на 29 «офсетных» планов, по которым была проведена регуляризация. Миграция PSTM выполнялась со сглаженными скоростями суммирования. В результате были получены два набора сейсмограмм

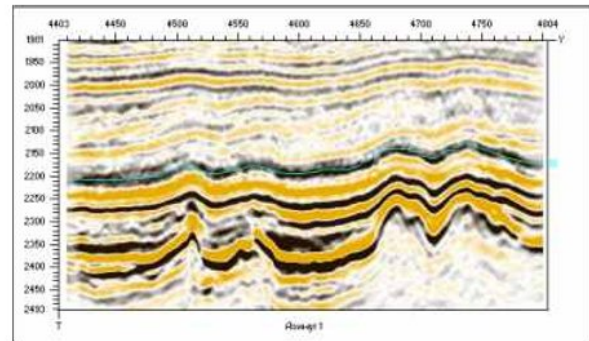
после временной миграции и два суммарных куба. Сейсмограммам, группы az_1 были присвоены значения азимута равные 0° , сейсмограммам, группы az_2 были присвоены значения азимута равные 90° . Затем сейсмограммы из двух групп были объединены. Таким образом, был получен один набор данных, содержащий данные с двух направлений, т.е. сейсмограммы, в каждой из которых присутствуют трассы с различными азимутами. Из данного набора сейсмограмм был получен суммарный куб, который был сравнен с кубом, полученным в процессе миграции по полному набору азимутов. Разница оказалась незначительной и результат прогноза зон трещиноватости по суммарному кубу отрицательный.

На рис. 3а,б,в представлены сечения кубов az_1 и az_2 данных, полученных по сейсмограммам отсортированных по заданным азимутам и суммарного куба после миграции PSTM, полученного по объединенным сейсмограммам с различными азимутами.

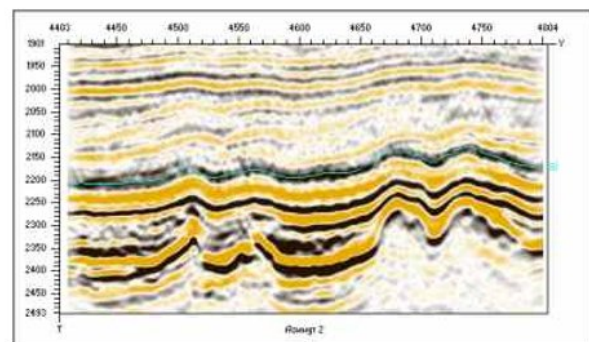
Для выявления трещиноватости пород был предпринят расчёт атрибута AVO «плотности трещин» по изучаемой площади (рис.4.а).

После выполнения контроля качества сейсмограммы после престек миграции были использованы для выполнения AVO анализа - расчет угловых сейсмограмм. Расчет выполнялся на основании формулы, предложенной Ругером [5], а расчет угловых сейсмограмм выполнялся в диапазоне углов от 0° до 50° . По этим сейсмограммам был рассчитан параметр трещиноватости (параметр называется плотностью трещиноватости).

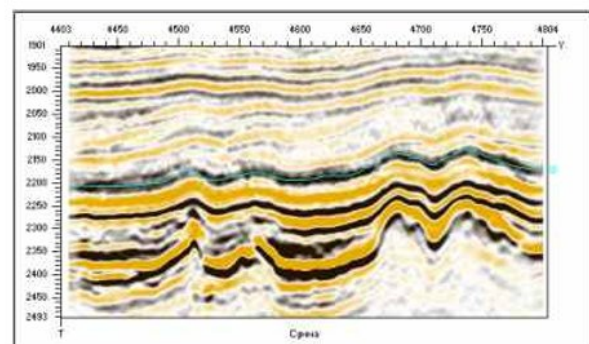
Алгоритм посекторного азимутально-го AVO-анализа основан на полиномиальной аппроксимации коэффициента отражения продольной PP-волны от



а) временной разрез сейсмического куба az_1 , полученного по сейсмограммам с азимутами в диапазонах от 300° до 60° и от 120° до 240° .



б) временной разрез сейсмического куба az_2 , полученного с азимутами в диапазонах от 60° до 120° и от 240° до 300° .



в) сечение суммарного куба после миграции PSTM, полученного по объединенным сейсмограммам с различными азимутами

▲ Рис. 3. Временные сечения (Cline 7530).

кровли слабо анизотропного (HTI) полупространства [5]:

$$R_{PP}(\theta, \varphi) = a + (b_i + b_a \cos 2\varphi) \sin^2 \theta \quad (1)$$

где $a, b_i = b_{iso} + b_{ani}^{1/2}$ коэффициенты полинома;
 $b_a = b_{ani}^{1/2}$

θ - угол падения волны на границу; φ -

азимут линии источник-приёмник относительно горизонтальной оси анизотропии.

$b_a/b_i = b_{ani}/(2b_{iso} + b_{ani})$ отвечает за плотность трещин.

Коэффициент a в разложении (1) равен коэффициенту отражения при нормальном падении волны. Второй коэффициент b , так называемый градиент AVO, может быть представлен в виде [14]:

$$B(\varphi) = B^{ISO} + B^{ANI} \cos[2(\varphi_\phi - \varphi_0)], \quad (2)$$

где B_{ISO} - изотропная часть, равная градиенту AVO в изотропной среде;

B_{ANI} - анизотропная добавка к градиенту, зависящая от параметров анизотропии среды;

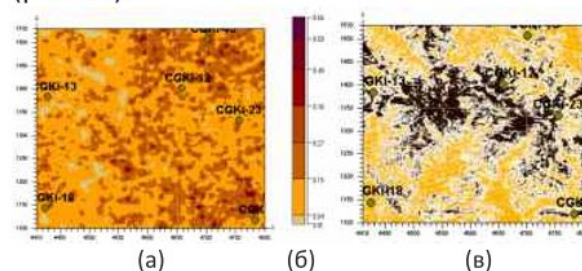
φ_0 - неизвестный азимут оси анизотропии относительно оси X.

Карта плотности трещин Ruger представлена на рис. 4а. Минимальные значения (0,05-0,15) отмечены светлым цветом, максимальные (0,25-0,55) – темно-коричневый цвет. Скважина CGKi-13 расположена в зоне пониженных значений плотности трещин Ruger. Дополнительной информацией о расположении трещин по сейсмическим данным является определение зон распределения трещиноватости по сейсмическим атрибутам.

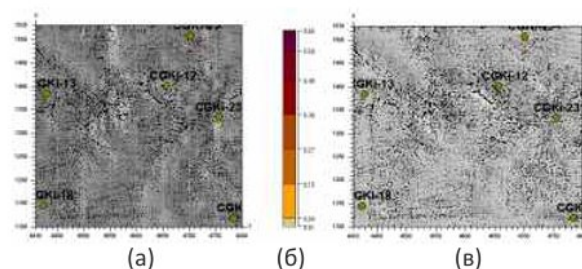
Для выделения зон трещиноватости построена карта повторяемости сейсмической записи по сейсмическому когерентному кубу во временном диапазоне продуктивного пласта. Карты атрибутов кривизны позволяют анализировать распределение трещин по статистическим характеристикам сейсмического куба данных в диапазоне пласта по разным азимутам (рис. 5) и по сумме (рис.4в).

Распределение сети мало амплитудных трещин в районе скважины CGKi -18 имеют юго-восточное направление, а

между скважинами CGKi -12- CGKi -45 северо-восточное направление. В районе скважины CGKi -13 трещины отсутствуют. Между скважинами CGKi -13 и CGKi -18 присутствует равномерная зона нарушений, распределенная по всем направлениям. Следует отметить, что анализ атрибутов двух сейсмических кубов, полученных по различным азимутальным направлениям, практически, не отличаются. Поэтому для анализа зон трещиноватости можно использовать атрибутный анализ по суммарному кубу, полученного по объединенным сейсмограммам с различными азимутами (рис.4в).



▲ Рис. 4. Сечение кубов на времени 2180
а) плотность трещин «RUGER»,
б) шкала плотности трещин «RUGER»,
в) атрибут кривизны куба когерентности после миграции PSTM, полученного по объединенным сейсмограммам с различными азимутами



▲ Рис. 5. Сечение кубов на времени 2180
а) атрибут кривизны куба когерентности после миграции PSTM, полученного по первому азимутальному направлению 0°;
в) атрибут кривизны куба когерентности после миграции PSTM, полученного по второму азимутальному направлению 90°

Определение зон повышенной трещиноватости пород с использованием сейсмических данных 3D представляется достаточно перспективной задачей, поскольку системы трещин должны находить свое отражение в динамических и кинематических особенностях волнового поля. Выделяющиеся участки повышенных оценок плотности трещиноватости могут представлять определенный интерес в процессе принятия решения о размещении скважин.

Можно ожидать, что надежность получаемых оценок плотности трещиноватости будет повышаться при уплотнении съемки и обеспечении более равномерного распределения азимутов. То есть спектр азимутов должен быть равномерным и это может быть достигнуто в ходе проведения специальных съемок.

Литература

1. Ata E., Michelena R. J., 1995, Mapping distribution of fractures in a reservoir with PPS converted waves: The Leading Edge, 12, 664 676.
2. Thomsen L., 1988, Reflection seismology over azimuthally anisotropic media: Geophysics, 53, 3, 304 313.
3. Bakulin A., Grechka V. and Tsavkin I., 2000, Estimation of fracture parameters from reflection seismic data Part I: HTI model due to a single fracture set: Geophysics, 65, 1788 1802.
4. Perez M. A., Gibson R. L., Toksoz M. N., 1999, Detection of fracture orientation using azimuthal variation of PPwave AVO responses: Geophysics, 64, 4, 1253 1265.
5. Ruger A., 1998, Variation of P-wave reflectivity with offset and azimuth in anisotropic media: Geophysics, 63, 935 947.

Подробнее об авторах



Кириллов
Сергей Александрович
Заместитель генерального
директора ОАО «ЦГЭ»
по геофизике. Д. т. н., доцент,
член-корреспондент РАЕН.
Почетный нефтяник РФ.



Самойлов
Алексей Владимирович

Главный геофизик
вычислительного центра
ОАО «ЦГЭ» обработки
сейсмических материалов.



Лаврик
Александр Сергеевич

Заместитель генерального
директора ОАО «ЦГЭ»
по геологии.
Почетный нефтяник РФ.