

УДК 550.834.05

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛОЙНОГО ПСЕВДОСКОРОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПЛОЩАДНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МОГТ В ДОНБАССЕ

Лысынчук Д. В., Коломиец Е. В.

(Институт геофизики НАНУ, г. Киев, Украина)

*Просторове згладжування швидкостей вздовж шару значно знижує рекурсивне накопичення помилок при сейсмічній інверсії траси і робить результативну модель більш точною та достовірною. Запропонована методика покращує надійність літологічної диференціації середовища.*

*The lateral smoothing of the layer velocities significantly reduces recursive accumulation of errors during the seismic trace inversion and makes productive model of the studied section more accurate. The proposed technique improves the reliability of lithological division of the medium.*

На сегодняшний день перед сейсморазведкой стоит задача повышения детальности геологического разреза, переход от выделения и построения карт горизонтов мощностью в сотни метров до разделения среды на геологические тела в десятки, и даже, в единицы метров. Изучение тонкой структуры слоистых пачек и их упругих характеристик позволит провести палеофациальный и палеогеографический анализ, что, в свою очередь, позволит восстановить геологическую историю развития региона и прогнозировать петрофизический состав вмещающих пород.

Целью сейсмической инверсии является восстановление глубинных упругих свойств среды (акустическое сопротивление, скорость прохождения волн и др.) по сейсмическим данным. Например, в работе [1] обсуждается детерминистский подход при

расчете сопротивления; в работе [2] предложили стохастическую инверсию; в работе [3] представили метод инверсии, направленный на параллельную оценку скорости и сопротивления. Авторы [4-6] сопоставили детерминистский и стохастический подходы в определении акустического сопротивления на примерах. Мы предложили сейсмическую инверсию, которая учитывает имеющиеся данные акустического каротажа в скважинах качестве априорных данных и сглаживает скорость вдоль пласта во время рекурсивного расчета акустического сопротивления.

Распространение сейсмических волн в реальной среде зависит от пространственного распределения ограниченного количества петрофизических параметров: скорости распространения продольных  $V_p$  и поперечных  $V_s$  волн, объемной плотности  $\rho$ , коэффициента поглощения продольных  $\alpha_p$  и поперечных  $\alpha_s$  волн.

Для упрощения будем использовать источник возбуждения преимущественно продольных волн. Также будем рассматривать поле отраженных волн при достаточно малых углах падения на отражающие границы, а регистрацию только вертикальных компонент смещения. В таком случае, распределение параметров поперечных волн не будет играть существенной роли, а волновое поле определяется только параметрами  $V_p$ ,  $\rho$  та  $\alpha_p$ . Учитывая, что диссипативные свойства среды, которые описываются коэффициентом поглощения, влияют на волновое поле интегрально и вызывают относительно малые постепенные изменения динамики волн, можно выделить два главных петрофизических параметра, распределение которых определяет основные свойства волнового поля, что зарегистрировано на продольных отраженных волнах. Это – скорость распространения продольных волн и объемная плотность. При определенных условиях в волновое уравнение они входят в виде произведения, которое называют волновым сопротивлением, или акустической жесткостью:

$$\chi = V_p \rho \quad (1)$$

В таком случае результатом решения обратной динамической задачи по сейсмическим данным будет возобновление распределения  $\chi(x, y, z)$  во всем исследуемом пространстве. На дан-

ном этапе разработанный нами подход построения эффективной модели среды ограничен определением латеральных и временных вариаций изменения скоростей продольных волн, или так называемых, псевдо скоростей. Хотя, в дальнейшем, при наличии данных гамма-гамма каротажа скважин, возможен пересчет поля относительных изменений скоростей в поле относительных изменений акустических жесткостей.

Предложенный нами способ послойной сейсмической инверсии реализован в пространственной модификации. Таким образом, полученная эффективная пространственная 3Д модель содержит однородные и неоднородные трехмерные тела со скачками акустической жесткости на границах. Алгоритм базируется на таких процедурах обработки сейсмической информации:

- автоматическая пространственная корреляция осей синфазности отраженных волн;
- определение формы элементарного сейсмического для пространственных участков куба сейсмических данных;
- расчет пространственной эффективной импульсной характеристики среды по кубу сейсмических данных;
- разделение временного разреза на трехмерные участки, однородные по рисунку записи (длине осей синфазности отраженных волн);
- послойная инверсия куба сейсмических данных.

Наличие скважин с данными АК вблизи обрабатываемого сейсмического профиля позволяет рассчитать элементарный сигнал, сжатие которого дает более достоверную картину распределения коэффициентов отражения и акустических жесткостей по кубу сейсмических данных.

Разработанная нами процедура послойной инверсии заключается в рекуррентном удалении элементарного сейсмического сигнала из временного разреза вдоль выделенных границ среды и расчета импульсной реакции  $k(x, y, t)$  на заданный сейсмический импульс. В пространственном варианте:

$$k(x, y, t) = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \ln V(x, y, t) \quad (2)$$

Восстановление функции скорости путем обращения данного уравнения в значительной степени зависит от наличия помех и ошибок при расчете коэффициентов отражения. Для преодоления этих препятствий нами предложен способ пространственного сглаживания функции для каждого выделенного горизонта:

$$k_e(x, y, t) = \frac{1}{n} \sum_n k(x, y, t). \quad (3)$$

В нашем случае, для каждого момента времени можно записать:

$$k_e(x, y, t) = \frac{V(x, y, t) - V(x, y, t + \Delta t)}{V(x, y, t) + V(x, y, t + \Delta t)}, \quad (4)$$

откуда:

$$V(x, y, t + \Delta t) = V(x, y, t) \frac{1 - k_e(x, y, t)}{1 + k_e(x, y, t + \Delta t)}, \quad (5)$$

или в общем случае, для дискретного времени  $t$ :

$$V_e(x, y, t) = V(x, y, 0) \prod_t \frac{1 - k_e(x, y, t - 1)}{1 + k_e(x, y, t + 1)}. \quad (6)$$

Для примера, рассмотрим результаты обработки сейсмических данных трехмерной сейморазведки, которые получены с помощью разработанного нами программного комплекса послойной инверсии. Исходный материал состоит из 52 параллельных сейсмических профилей длиной 2600 м вдоль координаты X и промежутком между профилями 20 м. То есть, покрывает площадь 2600 на 1040 м. Длина записи составляет 1000 отсчетов через 2 мсек, или 2 сек. Данные обработанные по стандартной методикой МОГТ, включая миграцию. На рис. 1 показано сечение куба сейсмических данных параллельно оси X на отметке  $Y = 1040$ .

На рис. 2 приведен результат трехмерной послойной инверсии соответствующего промежутка. Цветом показано распределение скоростей вдоль разреза. В нижней части рисунка распо-

ложена скоростная шкала. Также зависимость скорости от времени изображена графически в виде сейсмических трасс.

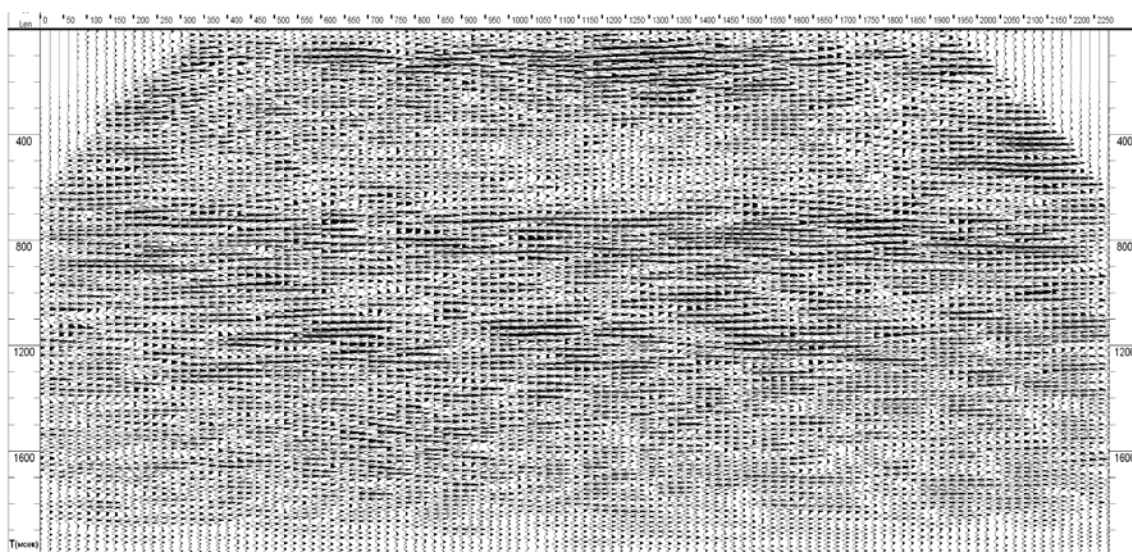


Рис. 1. Фрагмент куба сейсмических данных

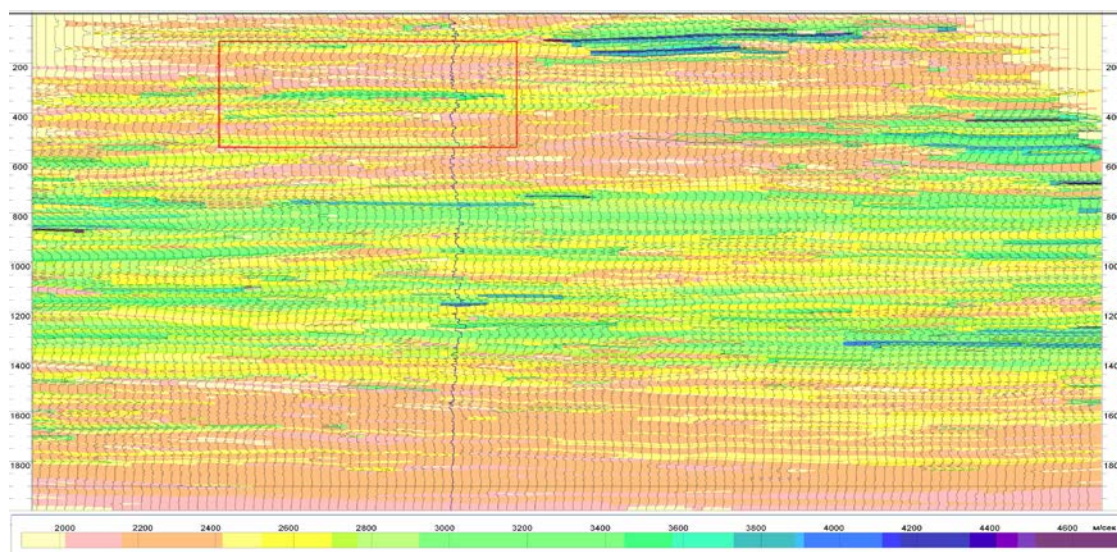


Рис. 2. Фрагмент куба результатов послойной инверсии сейсмических данных

Очевидно, что последний разрез намного более информативен, чем обычный временной разрез ОГТ. Во-первых, волновое поле пересчитано в слоистый разрез с переменными, как вдоль горизонтальной, так и вертикальной оси скоростными характеристиками. Во-вторых, переходные волновые процессы либо совсем

отсутствует, либо в значительной степени ослаблены. И главное, разрешающая способность по времени составляет  $1/4$  видимого периода исходных сейсмических колебаний, что минимум вдвое лучше, чем на волновом поле. При этом разрешающая способность по горизонтальным осям устанавливается программно и может регулироваться в зависимости от решаемых задач. Детальный скоростной разрез проиллюстрирован на рис. 3, где показан участок, который выделен красной рамкой на рис. 2.

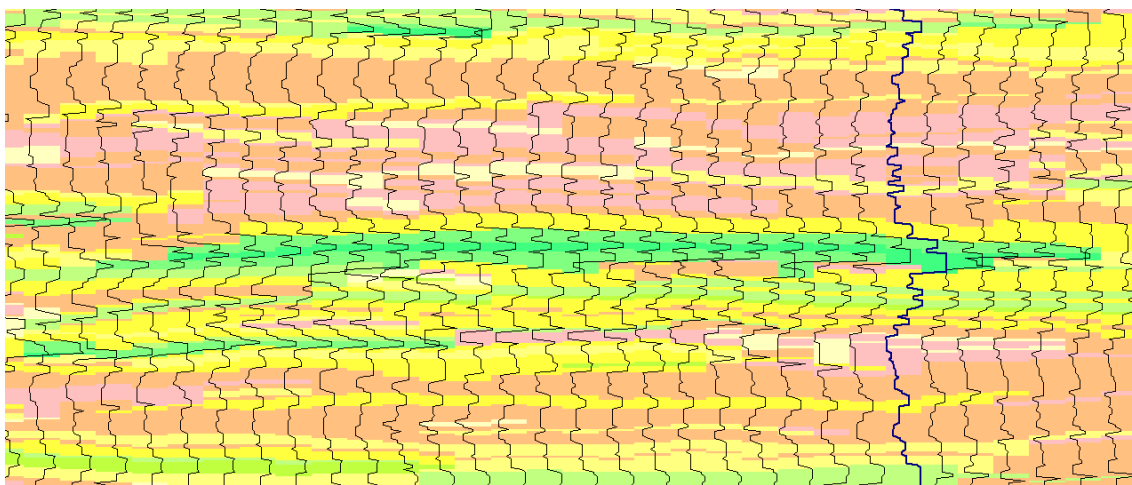


Рис. 3. Увеличенный участок разреза послойной сейсмической инверсии, который выделен красной рамкой на рис. 2

В центре фрагмента расположена высокоскоростная расслоенная линза, которая перекрыта пачкой слоев с меньшей скоростью. Между кровлей и подошвой верхней пачки размещаются несколько слоев, которые залегают несогласно как в кровле, так и в подошве, что может предоставить информацию об условиях накопления осадков и истории геологического развития региона.

Полученные результаты инверсии лишены периодичности сейсмического сигнала, существующей во временном сейсмическом разрезе. Этот недостаток сохраняется в большинстве известных подобных подходах расчета псевдоакустических кривых по сейсмическим данным. Разрез составляют слои, которые имеют постоянную скорость, но разную длину, глубину и мощность по пространственным координатам.

При латеральном изменении скорости вдоль слоя, этот слой аппроксимируется несколькими слоями с различной скоростью. Это дает возможность отслеживать изменения скорости вдоль реперных горизонтов. Наименьшая мощность расчетных слоев составляет  $1/4$  периода видимых колебаний на временном разрезе, то есть разрешение минимум вдвое выше, чем у исходного материала.

В межреперном пространстве результаты послойной инверсии имеют на порядок большее разрешение и соответствующую информативность по пространственным координатам по сравнению с исходным временным разрезом. При наличии данных ГИС или иной геологической информации дают возможность выделять на разрезе объекты поиска в межреперном пространстве и оценивать их петрофизические характеристики.

Наличие слоев позволяет определить характер их залегания относительно друг друга. Особенно это касается реперных горизонтов и вмещающих пород. Согласное - несогласное залегание непосредственно позволяет характеризовать условия осадконакопления и переноса, и, применяя методы сейсмостратиграфии, изучать историю развития региона.

Пространственное сглаживание скоростей вдоль слоя значительно снижает рекурсивное накопления ошибок при сейсмической инверсии трассы и делает результативную модель более точной и достоверной. Предложенная методика улучшает надежность литологической дифференциации среды. Она может быть использована для детального анализа волнового поля, выделения мелких сейсмостратиграфических подразделений и отдельных резервуаров, благоприятных для накопления углеводородов, а также для региональных исследований

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Cao, D., W.B. Bevdoun, S.C. Singn and A. Tarantola, 1989. A simultaneous inversion for background velocity and impedance maps: *Geophysics*, 55, Pp. 458 – 469.
2. Francis, A., 2005. Limitations of deterministic and advantages of stochastic inversion: *CSEG Recorder*, February 2005.

3. Haas, A., and O. Dubrule, 1994. Geostatistical inversion – A sequential method of stochastic reservoir modeling constrained by seismic data: *First Break*, 12, 561 – 569.
4. Oldenburg, D. W., T. Scheuer, and S. Levy, 1983. Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms: *Geophysics*, 48, 1318 – 1337.
5. Sancevero, S.S, A.Z. Remacre, R. S. Portugal, 2005. Comparing deterministic and stochastic seismic inversion for thin-bed reservoir characterization in a turbidite synthetic reference model of Campos Basin, Brazil: *The Leading Edge*, February 2005, 1168 – 1172.
6. Ампилов Ю.П., Барков А.Ю., Яковлев И.В., Филиппова К.Е., Приезжев И.И. Почти все о сейсмической инверсии. Часть 1. Технологии сейсморазведки. 2009. 4. С. 3 – 16.