

УДК 550.83:553.98

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОЙ МЕТОД КАРТИРОВАНИЯ ТИПОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

© 2002 г. Е. А. Давыдова, Е. А. Копилевич, И. А. Мушин

Представлено академиком В.Н. Страховым 05.02.2002 г.

Поступило 19.02.2002 г.

В настоящее время в связи с массовым изучением природных нефтегазовых резервуаров с контрастной латеральной литолого-фациальной изменчивостью пород-коллекторов и их фильтрационно-емкостных свойств весьма актуальной научной и практической проблемой является определение и картирование типов геологического разреза продуктивных отложений.

Авторами разработан новый метод картирования типов геологического разреза в межскважинном пространстве на основе спектрально-временного анализа (СВАН) сейсмической записи и определения спектрально-временных параметров. Метод обладает патентной чистотой и не имеет аналогов.

Под типом разреза понимается специфическая совокупность литолого-фациальных разностей в определенном стратиграфическом диапазоне, характеризующая эксклюзивной историей и условиями формирования. Макроописание (интегральная характеристика) типов геологического разреза включает помимо указанных выше качественных и количественных параметров: скорость распространения упругих колебаний, плотность, жесткость, пористость, толщину, эффективную толщину, емкость, проницаемость, гидропроводность, продуктивность (коэффициент продуктивности). Знание закономерностей распределения различных типов продуктивных толщ на исследуемой территории имеет огромное значение для обеспечения высокого уровня эффективности геологоразведочных работ на нефть и газ.

Методика составления типовых геологических разрезов нефтегазоносных территорий любого уровня по данным бурения и ГИС хорошо известна. Проблема заключается в заполнении меж- и заскважинного пространства, которая, ес-

тественно, должна решаться геофизическими методами и прежде всего сейсморазведкой. Интегральной характеристике исследуемого геологического разреза необходима интегральная сейсмическая параметризация, с помощью которой можно определить физические образы типов геологического разреза с заметным различием характеризующих их параметров. Отдельные сейсмические параметры (дифференциальная характеристика отложений), алгоритмы определения которых также хорошо известны: амплитуды сейсмической записи (“яркие” и “темные” пятна, AVO); псевдоакустические скорости и жесткости; эффективные коэффициенты отражения; поглощение отраженных волн и дисперсия скоростей; спектрально-энергетические характеристики – могут определяться недостаточно устойчиво или вообще не реагировать на такие важные свойства пород, как проницаемость, гидропроводность, продуктивность. В то же время значения этих показателей являются индивидуальными признаками для каждого отдельного типа разреза. Наиболее полное представление об интегральной и устойчивой характеристике отложений из современных разработок дает СВАН временных разрезов МОГТ [2].

Выбор СВАН для картирования типов геологического разреза в межскважинном пространстве объясняется его принципиальными отличительными особенностями, основанными прежде всего на постулате частотной зависимости коэффициентов отражения, а это означает, что фиксированному частотному диапазону соответствует своя импульсная сейсмограмма. Сейсмическая запись рассматривается как последовательность седиментационных объектов, которые характеризуются собственными индивидуальными спектрально-временными особенностями или спектрально-временными образами (СВО), т.е. изменение СВО соответствующих интервалов сейсмической записи увязывается со сменой типов геологического разреза.

Качественное описание дискретно полученных СВО (СВАН-колонки, рис. 1) заключается в выделении и корреляции осей синфазности отра-

ЗАО “Моделирование и мониторинг геологических объектов” им. В.А. Двуреченского, Москва

Всероссийский научно-исследовательский институт “Геофизика”, Москва

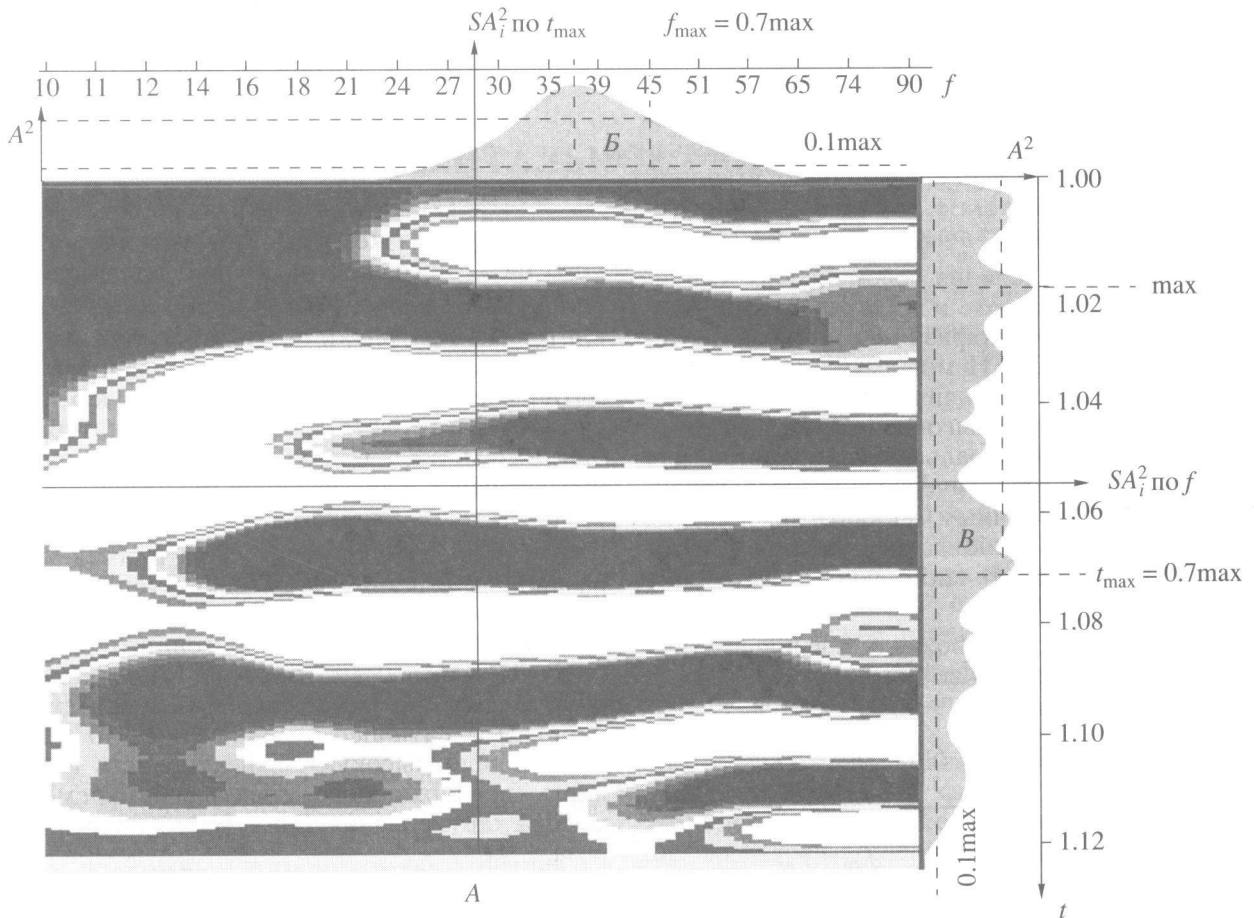


Рис.1. СВАН-колонка и энергетические спектры. А – СВАН-колонка; В – энергетический спектр по оси частот; В – энергетический спектр по оси времен.

женных волн, определении их количества, наклона и криволнейности, времени регистрации и временных интервалов между ними, частотного диапазона, в пределах которого выделена каждая ось синфазности, изменении частоты во времени, т.е. в описании распределения амплитуд в координатах частота–время. На качественном уровне рассматриваемая проблема уже исследовалась авторами [1], но есть настоятельная необходимость рассмотреть ее более систематически и, что самое главное, на уровне количественной непрерывной параметризации.

Количественная спектрально-энергетическая параметризация СВО проводится по двум осям – частоте f и времени t (рис. 1). По этим осям определяются спектральные плотности энергетического частотного и такого же временного спектров (по оси времен) [3], затем их удельные значения соответственно по частоте и времени, умноженные либо на максимальные значения частоты и времени таких спектральных плотностей, которые составляют не менее 0,7 от макси-

мальных, либо на средневзвешенные величины частоты и времени.

Таким образом, СВО параметризуется по критериям $F(f)$ и $G(t)$:

$$F(f) = \frac{\sum_{i=1}^n A_i^2}{\Delta f} f^{\max} \quad \text{либо} \quad F(f) = \frac{\sum_{i=1}^n A_i^2 f_i}{\Delta f}, \quad (1)$$

где A_i^2 – квадрат суммарной амплитуды сейсмической записи в пределах временного интервала Δt на частоте f_i ; Δf – ширина энергетического спектра по оси частот на уровне 10% от максимума; f^{\max} – максимальная частота спектральной плотности на уровне 70% от максимума энергетического спектра.

$$G(t) = \frac{\sum_{j=1}^l A_j^2}{\Delta t_0} t_0^{\max} \quad \text{либо} \quad G(t) = \frac{\sum_{j=1}^l A_j^2 t_j}{\Delta t_0}, \quad (2)$$

где A_j^2 , Δt_0 , t_0^{\max} , t_j то же, что и для энергетического частотного спектра, только по оси времен t_0 .

Как показывают модельные и экспериментальные оценки, выбранные критерии в компактной форме содержат всю информацию, имеющуюся на СВАН-колонке, т.е. параметризуют качественный (визуальный) анализ.

Помимо распределения сейсмических амплитуд (энергии) по частоте и времени, важное значение при геолого-геофизической интерпретации результатов СВАН могут иметь изменение частоты во времени (цикличность), соотношение энергии относительно высоких и низких частот и, соответственно, спектральных плотностей для различных типов геологического разреза, характеризующихся различным набором физических свойств и наличием флюида, поскольку в последнем случае происходит аномальное поглощение энергии низких частот.

Этот критерий при изложенном выше подходе может быть определен как

$$M(f) = \frac{\sum_{i=1}^m A_i^2(\text{при } \Delta f = f_2 - f_{\text{cp}})}{\sum_{i=1}^m A_i^2(\text{при } \Delta f = f_{\text{cp}} - f_1)}, \quad (3)$$

где f_1 и f_2 – начальная и конечная частоты спектра на уровне 10% от его максимума; f_{cp} – среднее значение частоты энергетического спектра, $f_{\text{cp}} = \frac{f_1 + f_2}{2}$.

Аналогично можно определить соотношение энергетических спектров по оси времен:

$$M(t) = \frac{\sum_{j=1}^p A_j^2(\text{при } \Delta t = t_2 - t_{\text{cp}})}{\sum_{j=1}^p A_j^2(\text{при } \Delta t = t_{\text{cp}} - t_1)}, \quad (4)$$

где t_1 , t_2 , t_{cp} – то же, что f_1 , f_2 , f_{cp} для энергетического частотного спектра, но по оси времен.

Параметризация СВАН-колонок по четырем критериям $F(f)$, $M(f)$ и $G(t)$, $M(t)$ послужила основой для разработки специализированного математического обеспечения и методики коллечественной геолого-геофизической интерпретации результатов СВАН с целью картирования продуктивных и других типов геологического разреза.

Его эффективность доказана применением в различных сейсмогеологических условиях: карбонатного разреза Юрубчен-Тохомской зоны (Восточная Сибирь) и терригенного разреза в пределах Каймысовского свода, Широкого Приобья, Надым-Тазовской синеклизы (Западная Сибирь). Последующее бурение более 40 скважин подтвердило высокую эффективность и полезность предложенного спектрально-временного метода картирования типов геологического разреза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Славкин В.С., Копилевич Е.А., Давыдова Е.А., Мушин И.А. // Геофизика. 1999. № 4. С. 21–24.
2. Мушин И.А., Бродов Л.Ю., Козлов Е.А., Хатянов Ф.И. Структурно-формационная интерпретация сейсмических данных. М.: Недра, 1990. 299 с.
3. Харкевич А.А. Спектры и анализ. М.: Физматгиз, 1962. 235 с.