

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОСЛЕЖИВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРАНИЦ

К.Ю. Санников, Е.Л. Лыскова, Г.В. Голикова
(СПбГУ, физический факультет, Санкт-Петербург)

MARKING OF SEISMIC BOUNDARIES ON THE BASIS OF A WAVELET ANALYSIS

K.Yu. Sannikov, E.L. Lyskova, G.V. Golikova
(*St.Petersburg State University, Physics Faculty, St.Petersburg*)

Аннотация. На основе явления интерференции волн в тонких слоях разработан метод построения временного разреза и определения основных сейсмических границ в кажущихся мощностях, основанный на нахождении локальных максимумов энергии или интенсивности волн в спектрах волнового поля. Особенностью данного метода является частотно-временная декомпозиция сигнала с применением математического аппарата вейвлет-преобразования на основе комплексного анализирующего вейвлета Морле. На экспериментальном материале показано, что метод определения локальных максимумов интерференционных волн позволяет повысить эффективность определения границ различных литологических разностей, геометрию и энергетические характеристики слагающих разрез слоев.

Abstract. On the basis of thin-layers interference the method of time profile determination was developed. Application of this method based on location of local maxima of energy was allowed to reveal the basic seismic boundaries in apparent thicknesses. The main specificity of the given method is the using of time-frequency decomposition of a signal as result of wavelet analysis on the basis of complex Morlet wavelet. As a result the processing of experimental data demonstrated the efficiency of this method to location of basic seismic boundaries with different geometry and to determination of energy characteristics of layers forming seismic profile.

Введение

К ряду наиболее актуальных сегодня задач сейсморазведки следует отнести восстановление истории формирования осадочной толщи в районе исследований, определение цикличности осадконакопления, изучение латеральной изменчивости сейсмических границ, слабо дифференцированных «немых» толщ. Не менее сложной задачей является разделение тонких пачек слоев и точное картирование их границ.

Относительно малый промежуток времени, разделяющий следующие друг за другом волны, приводит к тому, что сигналы от слоев накладываются друг на друга, образуя единую интерференционную волну.

Но интерференция волн является не только препятствием, но и действенным средством повышения эффективности сейсмических методов разведки. Так в данной работе предложен метод построения временного разреза и определения положения основных сейсмических границ, основанный на нахождении локальных максимумов энергии по скалограммам интерференционных волн.

Характер интерференционной картины будет зависеть от частоты падающей волны (f) и от мощности слоя (h). В этом случае слой между двумя границами будет действовать на отраженные и проходящие волны как линейный фильтр.

Максимум амплитуды интерференционной волны возможен в том случае, если фаза результирующего колебания кратна 2π .

$$2\pi = \frac{2h\omega}{a_2} \left(\frac{1}{\cos \theta_2} - \frac{a_2 \cdot \operatorname{tg} \theta_2 \sin \theta_1}{a_1} \right) = \frac{2h\omega}{a_2 \cos \theta_2} (1 - \sin^2 \theta_2) = \frac{2h\omega \cos \theta_2}{a_2},$$

откуда

$$f_{\max} = \frac{a_2}{2h \cos \theta_2}.$$

Построение сейсмического разреза

Район исследования вдоль профиля характеризовался длительным осадконакоплением в условиях как морских трансгрессий, так и континентальных регрессий. Геологические слои имели горизонтально-слоистое строение с малыми углами падения.

Для построения сейсмического разреза использовались сейсмические трассы, полученные методом общей глубинной точки.

Для выделения максимумов интерференционных волн применялся математический аппарат непрерывного вейвлет-преобразования на основе анализирующего комплексного вейвлета Морле. Удобство применения комплексного вейвлета Морле состоит в том, что он имеет явное аналитическое выражение

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{a\pi}} \exp\left(2i\pi \cdot f_c \cdot \frac{(t-b)}{a}\right) \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{t-b}{a}\right)^2\right),$$

где a — масштаб анализирующего вейвлета, b — временной сдвиг, f_c — центральная частота вейвлета, связанная с масштабом a , шагом дискретизации d и псевдочастотой Фурье f выражением

$$f = \frac{f_c}{a \cdot d}.$$

Нахождение локальных максимумов $W_{\max}(a_i, b_j)$ производилось по восьми ближайшим точкам по следующей формуле

$$W_{MAX}(a_i, b_j) \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} W_m(a_{i\pm 1}, b_{j\pm 1}) < W_m(a_i, b_j) > W_m(a_{i\mp 1}, b_{j\pm 1}) \\ W_m(a_{i\mp 1}, b_j) < W_m(a_i, b_j) > W_m(a_i, b_{j\pm 1}) \end{array} \right. \\ 0, \text{ в противном случае} \end{array} \right.$$

Каждый локальный максимум характеризуется тремя параметрами или координатами на частотно-временной плоскости: **временем** вступления максимума, которое нам дает координату верхней границы слоя; **амплитудой** локального максимума, которая характеризует интенсивность отраженной от слоя волны; **частотой** локального максимума, являющейся функцией мощности слоя h и скорости волны в слое.

Таким образом, мы можем определить мощность слоя с точностью до некоторого множителя Ω

$$h = \frac{a_2}{2 f_{max} \cos \theta_2} = \frac{\Omega}{2 f_{max}}.$$

При обработке осуществлялось вейвлет-преобразование каждой трассы и поиск координат локальных максимумов. Из рисунка 1 видно, что вейвлеты позволяют эффективно разделить практически два одновременных сигнала со временами прихода около 1 секунды с разными частотами и установить очередность их прихода. Более того, они позволяют уточнить границы залегания геологических пластов в верхней части разреза, характеризующегося тонкой слоистостью, и расчленить на слои нижнюю часть разреза, для которой характерны слабоотражающие геологические площадки.

По координатам локальных максимумов были рассчитаны величины кажущихся мощностей слоев на всех пикетах. По полученным значениям был построен сейсмический профиль (рис. 2).

Заключение

На основе явления интерференции волн в тонких слоях разработан метод построения временного разреза вдоль профиля и определения основных сейсмических границ в кажущихся мощностях, основанный на нахождении локальных максимумов энергии в спектрах волнового поля (времен вступления локальных максимумов, их частот и амплитуд локальной энергии).

Для определения координат локальных максимумов осуществлялась частотно-временная декомпозиция сигнала с применением математического аппарата вейвлет-преобразования на основе комплексного анализирующего вейвлета Морле.

На экспериментальном материале показано, что метод определения локальных максимумов интерференционных волн позволяет повысить эффективность определения границ различных литологических разностей, геометрию и энергетические характеристики слагающих разрез слоев.