

УДК 550.834

## ЧАСОВІ РОЗРІЗИ ЛОГАРІФМІЧНИХ ДЕКРЕМЕНТІВ ЗГАСАННЯ ТОНКОШАРОВОГО СЕРЕДОВИЩА

Гринь Д. М.

(Інститут геофізики НАН України, м. Київ, Україна)

*Использование результатов обработки данных ОГТ методом логарифмических декрементов затухания для поиска возможных нарушений, разломных зон, трещин в тонкослоистой среде.*

*We propose an algorithm of the estimation of the logarithmic decrements of attenuations and search of cracks in the geological formations.*

Вивчення геологічної будови тонкошаруватого середовища в околі шахтних полів за допомогою сейсміки має цілий ряд особливостей, порівняно з пошуковою або регіональною сейсморозвідкою. Особливо, коли проводять дослідження з метою пошуку місця можливого проникнення в шахти або штольні вибухонебезпечних газових сумішей. Провідником газу, найчастіше є тріщини, порушення (із зміщенням, та без), а також зони розуцільнення порід як місця тимчасового скупчення транзитних газів. Під час незначних мікросейсмічних коливань ґрунтів відбувається парозподіл внутрішніх тисків, що призводить до посилення міграції вуглеводнів в інші природні пастки через розгалужену систему тріщин.

За сейсмічними даними СГТ достатньо важко впевнено виділяти такі зони і визначати їх просторову дислокацію, проводити кількісний та якісний аналіз геологічної будови без подальшої комплексної обробки даних. Основна причина – недостатня просторова дискретність проведення сейсмічних робіт, використання

в алгоритмах СГТ та міграції сумування по часу і простору, наявність великої кількості хвиль – завад, зокрема від поверхневих хвиль, що мають малу швидкість розповсюдження та присутні на всьому часовому відрізьку, та інші. Дані ВСП є точковими і не дають просторової картини розгалуження порушень та монолітно – блокової структури геологічного середовища.

Один із способів, який може допомогти у вирішенні завдань описаних вище – це рішення оберненої задачі сейсміки, зокрема вивчення динамічних особливостей хвильових полів [4]. Використовуючи інформацію про поглинання сейсмічних хвиль у середовищі, ми отримуємо більш детальні данні про геологічні об'єкти, їх фізичні характеристики.

Вивченню механізмів згасання сейсмічних хвиль присвячена значна кількість наукових праць, доволі повний огляд яких наведено у роботах Ампилов Ю. П., Коган С. Я., Уайт Дж. Э. [1, 7, 8 та ін]. Але результати вивчення дисипативних функцій не знаходять широкого застосування для обробки та інтерпретації сейсмічних даних. Залишаються надалі актуальними проблеми підвищення точності і роздільності, методики визначення, нових функціональних залежностей дисипативних функцій середовища.

При традиційному визначенні спектра коефіцієнта поглинання  $\alpha(\omega)$  (СКП) [2, 5, 8 та інші] для забезпечення достатньої точності, як показано в роботі [6], необхідна значна відстань  $\Delta x = Vt$  між точками спостереження або часу пробігу хвилі, якщо відома швидкість.

Поглинання – це основна характеристика середовища, на базі якої формалізуються інші функції згасання. Не вникаючи в фізичну природу втрат енергії хвиль (оскільки ці питання добре висвітлені в науковій літературі), у статті пропонуються результати обробки нетрадиційним алгоритмом і методикою оцінки дисипативних функцій, що характеризують середовище – логарифмічними декрементами згасання (ЛДЗ). Нетрадиційність полягає у тому, що розглядається некоректна задача про оцінку поглинання за рішенням інтегрального рівняння I-го роду і алгоритм його регуляризації.

Розглянемо алгоритм для визначення логарифмічних декрементів згасання і проаналізуємо деякі його особливості. Від кіль-

кості складових апроксимації сейсмічної траси базисними функціями та їх ортогоналізації, залежить точність та роздільність визначення ЛДЗ. Враховуючи особливості реєстрації хвильових полів у реальних умовах і їх некаліброваність, інтерференційну структуру і різноманітність типів хвиль та завад, можна ставити питання лише про наближену оцінку ЛДЗ. А для цього достатньо підібрати перехідні і передаточні функції для визначення вузько-смугових трас так, щоб задовольнялась умова з роботи [3], а саме: сума спектрів гаусових фільтрів, за якими визначаються базисні функції, з достатнім наближенням рівна  $1(\omega)$ . Кількість складових може бути різною, але не меншою двох. Збільшення кількості базисних функцій призводить до звуження смуги частот кожної з них і зменшення роздільної здатності метода. За кожною з базисних функцій за перетворенням Гільберта визначаються уявні компоненти і обвідні. Із множини обвідних  $i=1, 2, \dots, I$  вибираємо одну  $i=k$ , тобто  $\chi_{i=k}(t)$ , наприклад з ділянки максимуму (або мінімуму) спектра сейсмічної траси  $F(t)$ , за якою визначаються ЛДЗ. Оскільки обвідні позитивно визначені і однакові з точністю до множників, якими описується поглинання на частоті  $\omega_i$ , то за ними в кожний дискретний момент можна організувати  $I-1$  логарифмів відношень.

Ця процедура необхідна, щоб вилучити вплив обвідних і виділити лінійну складову коефіцієнта поглинання  $\alpha(\omega_i) = a\omega_i$  на шляху  $x = Vt$ . В ідеальному випадку за логарифмом відношень обвідних знаходимо:

$$P(\omega_i, \omega_k) = \ln \frac{\chi(\omega_i, t)}{\chi(\omega_k, t)} = \ln \frac{e^{-a\omega_i Vt}}{e^{-a\omega_k Vt}} = -a(\omega_i - \omega_k)Vt. \quad (1)$$

В іншому випадку, якщо обвідні  $z(i, t)$  ускладнені деякими неоднаковими постійними множниками, маємо

$$P(\omega_i, \omega_k) = \ln \frac{\chi(\omega_i, t)}{\chi(\omega_k, t)} = \ln \frac{Z_i e^{-a\omega_i Vt}}{Z_k e^{-a\omega_k Vt}} = -a(\omega_i - \omega_k)Vt + \ln \frac{Z_i}{Z_k}. \quad (2)$$

Отже, якщо ЛДЗ оцінюється за даними деконволюції з оберненим оператором, визначеним на малому часі, або обвідні нор-

мовані і ортогоналізовані, то для  $\ln Z_i / Z_k = \ln M_i$  виконується умова:  $M_i = 1$ ,  $\ln M_i = 0$ . У цьому випадку ЛДЗ описується виразом (1). Більш загальним є вираз (2). У ньому різницю частот  $\omega_i - \omega_k = \Delta\omega_i$  вважатимемо змінною з дискретністю  $\Delta\omega_i = i\Delta\omega$ , де  $\Delta\omega$  – крок по частоті між спектрами суміжних вузькосмугових складових. Далі, знехтувавши знаком “-”, вираз (2) запишемо як рівняння прямої з координатами  $(P(\Delta\omega_i), \Delta\omega_i)$  і кутом нахилу  $aVt$  та відрізком на ординаті  $\ln M_i$ :

$$P(\Delta\omega_i) = a\Delta\omega_i Vt + \ln M_i. \quad (3)$$

Необхідно враховувати можливий вплив завад при спостереженні, некоректність задачі та деякі відхилення ЛДЗ  $\theta = aV$  від шуканих значень. Тому була передбачена оцінка декількох вузькосмугових трас за однією сейсмічною трасою  $F(t)$  і тим самим забезпечена можливість лінійної апроксимації прямої (3) за методом найменших квадратів (МНК) для визначення  $\theta$  у кожний дискретний момент  $t$ . Перепозначимо елементи виразу (3) до загальноприйнятої форми [9]:

$$\ln M_i = A_i, \quad \Delta\omega_i = x_i, \quad aVt = B, \quad P(\Delta\omega_i) = Y_i, \quad i = n = 1, 2, \dots, I-1, \quad N = I-1.$$

Тоді замість (3) маємо формулу

$$Y = A + Bx. \quad (4)$$

Згідно з МНК будується система рівнянь для  $N = I - 1$  точок:

$$AN + B \sum_{n=1}^N x_n = \sum_{n=1}^N y_n, \quad A \sum_{n=1}^N x_n + B \sum_{n=1}^N x_n^2 = \sum_{n=1}^N x_n y_n \quad (5)$$

і визначаються коефіцієнти  $A$  і  $B$ :

$$A = \frac{\sum_{n=1}^N y_n \sum_{n=1}^N x_n^2 - \sum_{n=1}^N x_n y_n \sum_{n=1}^N x_n}{N \sum_{n=1}^N x_n^2 - \sum_{n=1}^N x_n \sum_{n=1}^N x_n}, \quad B = \frac{N \sum_{n=1}^N x_n y_n - \sum_{n=1}^N y_n \sum_{n=1}^N x_n}{N \sum_{n=1}^N x_n^2 - \sum_{n=1}^N x_n \sum_{n=1}^N x_n}. \quad (6)$$

Таким чином, знаходяться середньоквадратичні значення

коефіцієнтів прямої  $A = \ln M$  і  $B = aVt$  у координатній системі  $P(\Delta\omega_i)$ ,  $\Delta\omega_i$  в кожний дискретний момент часу  $t = m\Delta t$ .

За нахилом прямої (4), тобто за коефіцієнтом  $B$  у (6), визначається логарифмічний декремент згасання  $\theta$ :

$$\theta = \frac{aV\Delta\omega_i t}{\Delta\omega_i t} = aV. \quad (7)$$

Дуже важливою вимогою для однозначного та якісного визначення дисипативних характеристик середовища є якість сейсмічного вхідного матеріалу, позбавленого впливу верхньої частини сейсмічного розрізу та низки присутніх завад.

З метою вивчення тривимірної геологічної будови тонкошаруватого середовища масиву вуглевмісних порід було оброблено 3D куб даних СГТ. На рис. 1 зображено частини інлайн профілів №№ 30, 50, 70, 90 в однаковому часовому діапазоні (від 0,1 до 0,25 с). З них можна зробити деякі висновки про товщу порід у просторі, зокрема те, що нерозуцільнена її частина має приблизні розміри  $40 \times 300$  метрів, зліва і з права обмежені ділянками, які умовно можна вважати розломними зонами (особливо помітні на профілі № 90).

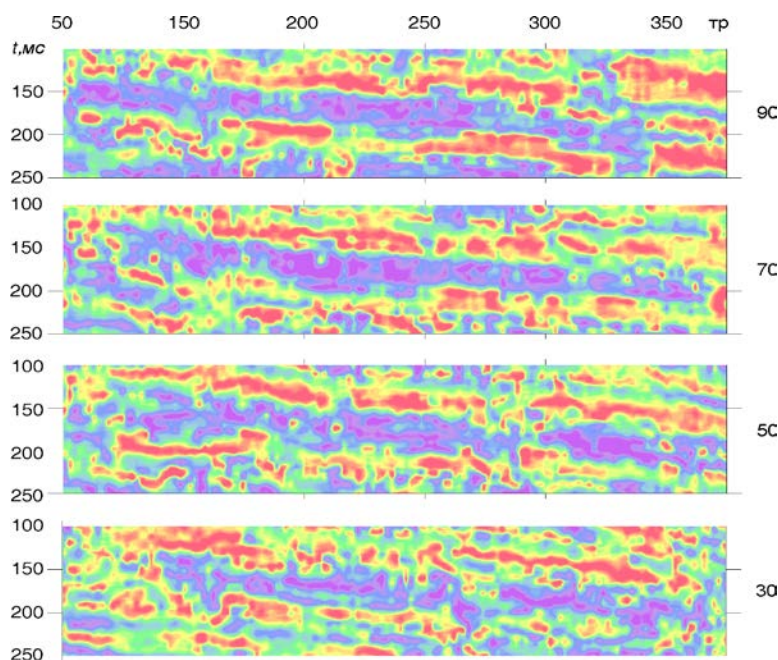
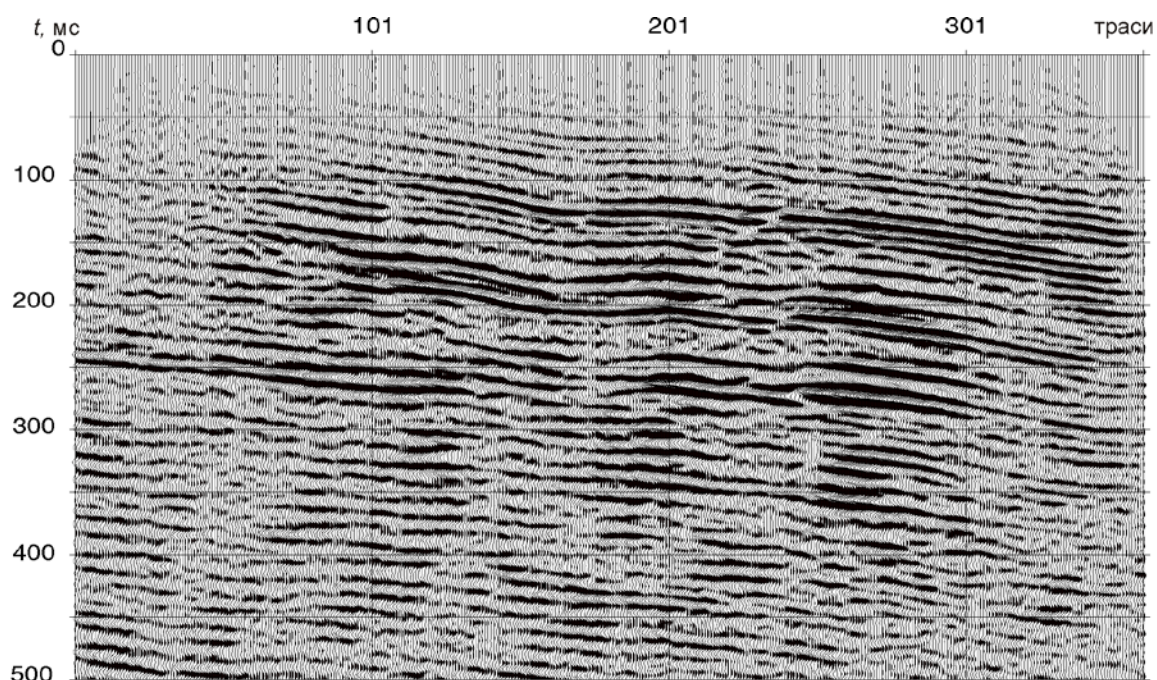
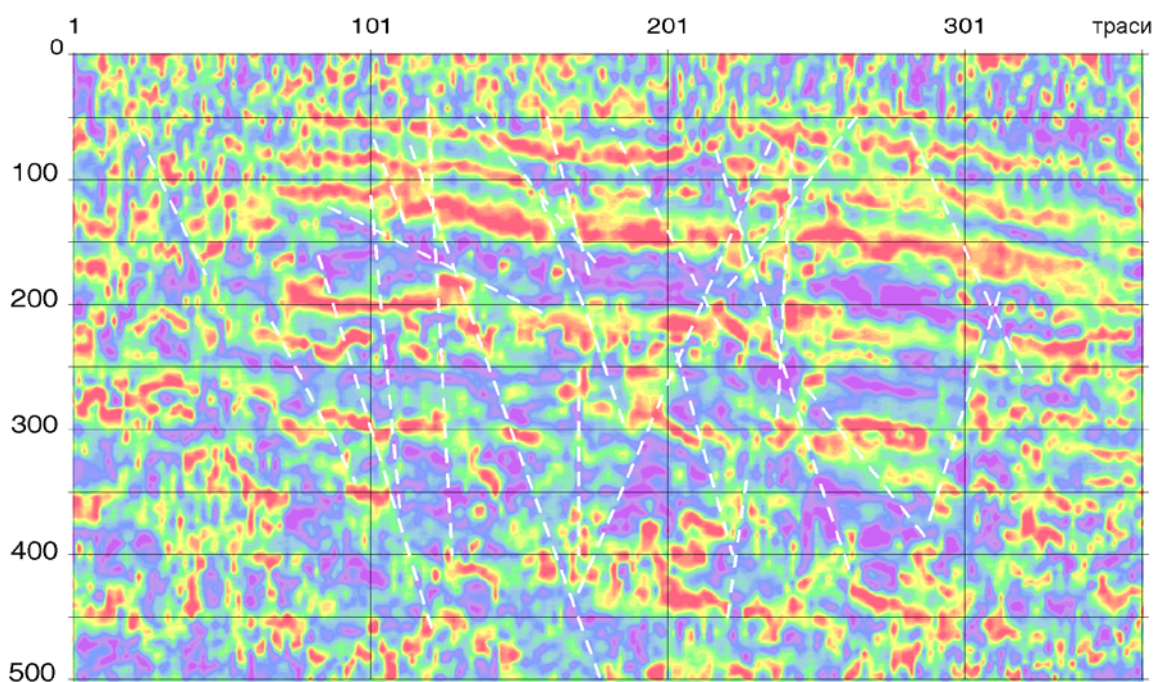


Рис. 1. Частина інлайн профілів СГТ (30 - 90) оброблених по методу ЛДЗ

На рис. 2 а зображено вхідні сейсмічні данні СГТ, які складається з 361 траси довжиною 0,5 сек.



а



б

Рис. 2. Приклад обробки профілю інлайн № 100 кубу 3D:  
1а – вхідні данні СГТ, 1б – результат обробки вхідних даних методом ЛДЗ

На рис. 1 б – результат обробки інлайн профілю 100 методом ЛДЗ, де можна побачити більш інформативну геологічну картину сейсмічного розрізу, оскільки сейсмічний розріз представлений не відбиттям хвиль від границь зміни фізичних властивостей середовища а контурами геологічних об’єктів, які мають різні поглинаючі властивості. Тому, на часовому розрізі ЛДЗ легко можна виділити горизонти, їх початок, кінець та степінь однорідності, тобто розділити середовище на монолітні зони, та зони розщільнені, з підвищеною флюїдо-проникливістю. Роздільна здатність отриманих даних є співрозмірною з вхідними даними, а це дає можливість проводити інтерпретацію з великою точністю. Зокрема, виділяються області, які можуть бути пов’язані з тріщинами. Вони відмічені білим пунктиром на рис. 2 б.

Враховуючи складну геологічну будову регіону, виділенні порушення є до деякої міри суб’єктивними. Прямолінійність їхньої форми зумовлена певною очевидністю і легкістю інтерполяції для інтерпретатора, а також, можливо, не великою глибиною досліджень. На даному етапі ведеться розробка автоматичного пошуку та виділення можливих тріщинуватих зон в тривимірному просторі. Корельованість розломів в просторі, тобто їх підтверджене розташування на сусідніх інлайнах та крослайнах, може бути достатнім аргументом про правильність визначення їхнього місцезнаходження.

На рис. 3 зображена частина (з траси 100 по 245, з  $t = 50$  по 225 мс.) профілю СГТ та часового розрізу ЛДЗ. В нижній частині рисунка (результат обробки по методу ЛДЗ) зображено три горизонти з підвищеним поглинанням (жовто-червоного кольору), які розірвані павутиною тріщин. На рисунку присутні критерії за якими можна виділяти порушення, а саме: зміна положення частини геологічного горизонту по відношенню до більшої – “материнської” частини; розрив і наявність відстані між двома частинами колись суцільного геологічного горизонту (при збереженні у них однакових дисипативних властивостей); різка зміна поглинаючих властивостей у суміжних горизонтах.

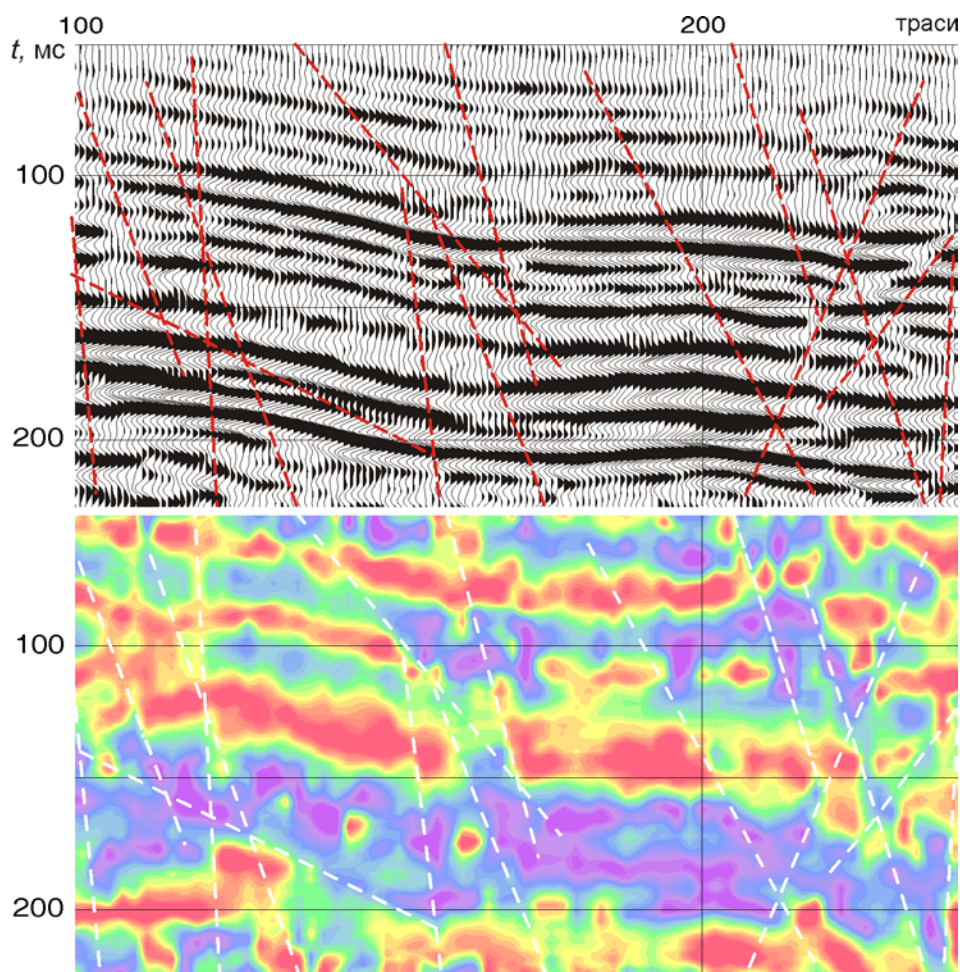


Рис. 3. Співставлення частини (з траси 100 по 245, з  $t = 50$  по 225 мс.) вхідних даних СГТ та результату обробки методом ЛДЗ

Описана методика виділення зон із порушеннями може бути використана для обробки даних по регіональним чи морським дослідженням. На морських сейсмічних даних, наприклад, відсутні рад хвиль завад, осадові породи накопичуються рівномірно на протязі мільйонів років і мають велику протяжність, тому наявність порушень легко ідентифікується.

Робота над цим напрямком ведеться в рамках цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України “Використання 3D – сейсмозвідки з метою промислового видування газу та дегазації вугільних пластів”.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ампилов Ю.П. Поглощение и рассеяние сейсмических волн в неоднородных средах. – М.: Наука, 1992. – 156 с.
2. Берзон И.С., Епинатьева А.М., Парийская Г.Н., Стародубравская С.П. Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 512 с.
3. Гринь Д.М. Базисні функції, спектральна корекція та обвідні сейсмічних трас. // Геофізичний журнал. – 2001. – 23, № 3. – С. 95 – 105.
4. Гринь Н.Е. Исследование структуры и свойств среды по динамике сейсмических волн. – К.: Наукова думка, 1979. – 214 с.
5. Гринь Н.Е., Гордиенко Л.Я. Исследование и оценка параметров, влияющих на затухание волн. // Применение численных методов в исследовании литосферы. Изд-во АН СССР, СО ВЦ. – 1982. – С. 75 – 86.
6. Гринь Н.Е., Чернявская Е.И. Оценки и некоторые свойства переходных функций, обусловленных поглощением. // Геофизический сборник АН УССР. – 1979. – 78. – С. 32 – 40.
7. Коган С.Я. Краткий обзор теорий поглощения сейсмических волн. // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. – 1966. – № 11. – С. 3 – 38.
8. Уайт Дж. Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн. – М.: Недра, 1986. – 262 с.
9. Шлюфер Е. Обробка сигналів. – К.: Либідь, 1992. – 296 с.