

УДК 621.39.96

АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ ПРОФІЛОГРАМ

© А.І. Гончар, С.Г. Федосєнков, Л.І. Шличек, О.І. Шундель, 2010

Науково-технічний центр панорамних акустичних систем НАН України, м. Запоріжжя

У статті розглянута загальна схема обробки інформації гідроакустичного профілографа за допомогою розроблених алгоритмів. Показані результати обробки математичної моделі профілограми з пошаровою класифікацією донних відкладів за літологічними класами.

В статье рассмотрена общая схема обработки информации гидроакустического профилографа с помощью разработанных алгоритмов. Показаны результаты обработки математической модели профилограммы с полойной классификацией донных отложений по литологическим классам.

Common diagram for data processing of hydroacoustic profilograph using designed algorithms are examined in the paper. The results of processing of mathematical model of profilograms with layer wise classification of bottom sediments to lithological classes are shown.

ПРОФІЛОГРАФ, КОЕФІЦІЄНТ ЗАГАСАННЯ, АЛГОРИТМ, ЗОНДУВАЛЬНИЙ ІМПУЛЬС, ІМПЕДАНС, ДЕВІАЦІЯ ЧАСТОТИ

Природні відклади відрізняються великою різноманітністю та неоднорідністю. Найважливішою задачею є одержання інформації про склад донних відкладів, для цього потрібні дані про густину, швидкість і коефіцієнт загасання звуку в відкладах. По цим параметрам можна класифікувати донний ґрунт, що відноситься до одного з основних літологічних класів (мул, глина, пісок, скельний ґрунт).

Через складну структуру та неоднорідність морського дна, задача стратифікації та однозначного визначення складу ґрунту в будь-якій точці профілограми не має точного розв'язку. Для пошуку наближеного рішення з мінімальною похибкою необхідно скористатися кореляційним аналізом результатів роботи декількох незалежних алгоритмів обробки інформації профілограми. Цифрова реєстрація повного сигналу дає можливість використовувати, додатково до потужності, інші характеристики відбитих сигналів.

Акустична траса $y_j(t)$ може бути отримана як результат згортки зондувального імпульсу $s(t)$ з імпульсом відгуку середовища:

$$y_j(t) = r_{nj} \cdot s_j(t), \quad (1)$$

де $s_j(t)$ - значення цифрових вибірок зондувального імпульсу, приведенного до межі розділу вода-донні відклади;

r_{nj} - відносні значення амплітудних коефіцієнтів відбиття для n -го шару.

Для визначення акустичних властивостей донних відкладів можна скористатися деконволюцією акустичної траси з зондувальним імпульсом. Тобто розв'язати рівняння (1), за умови невідомого r_{nj} .

Імпульсний відгук середовища r_{nj} в нормованій акустичній трасі являє собою послідовність відносних коефіцієнтів відбиття в шаруватому середовищі.

Одержання значень r_{nj} є основою для обчислення значень відносної густини ρ_{nj} по

розрізу донного ґрунту. При обчисленні значень p_{nj} використовується геоакустична модель середовища [1]:

$$p_{nj} = p_{n-1j}(1 + r_{nj})(1 - r_{nj}), \quad (2)$$

де p_{n-1j} - значення відносної густини для шару з номером $n - 1$;

r_{nj} - значення відносного коефіцієнта відбиття.

Введемо поняття абсолютного коефіцієнту відбиття шару, визначеного по формулах Релея як [2, 3]:

$$R_{nj} = (p_{nj}c_{nj} - p_{n-1j}c_{n-1j}) / (p_{nj}c_{nj} + p_{n-1j}c_{n-1j}), \quad (3)$$

де c_n - швидкість звуку в n -му шарі;

p_n - густина в n -му шарі.

Імпеданс шару можна отримати із співвідношення [1]:

$$Z_n = \rho_{nj}c_{nj} = Z_{n+1j} \frac{1 + R_{n+1j}}{1 - R_{n+1j}}, \quad (4)$$

де Z_n - імпеданс n -го шару.

Враховуючи те, що ми знаємо Z_0 (імпеданс води) і обчислені p_{nj} із (2), можна ітераційно вирахувати c_{nj} .

Значення (3) на етапі аналізу та ухвалення рішення про тип донного ґрунту служать для формування межі розділу в товщі ґрунту між різнорідними літологічними класами. При цьому використовуються дані з таблиці літологічних класів донних ґрунтів [1].

Для уточнення типу донного ґрунту в шарах, виділених за результатами аналізу розподілів по розрізу значень R_{nj} , використовують значення коефіцієнтів загасання β_{nj} .

Акустичний сигнал швидко загасає і розсіюється на межах розділів. Тому з кожним наступним шаром усе складніше визначити його товщину й акустичні параметри [2].

Пропонується метод, який дозволить збільшити ймовірність класифікації матеріалів донного ґрунту. Відомо, що коефіцієнт загасання акустичних коливань у ґрунті залежить від частоти. Це означає, що при випромінюванні в ґрунт широкосмугового сигналу ослаблення сигналу в ґрунті буде нерівномірним на різних частотних складових випроміненого сигналу. Таким чином, шляхом відновлення закону загасання акустичного сигналу в ґрунті можна визначити коефіцієнти загасання звуку в ґрунті. Знаючи коефіцієнт загасання і швидкість звуку в ґрунті можна оцінити його акустичний імпеданс, що дозволить провести класифікацію досліджуваного шару донних відкладів.

Вирішення задачі відновлення закону загасання досягається тим, що для обчислення кореляційної функції використовується сигнал із заздалегідь відомим законом загасання. Шляхом добору закону загасання для різних матеріалів відкладних порід досягається

максимум автокореляційної функції. Отриманий максимум дозволяє визначити склад ґрунту в даному шарі відкладів.

Модель сигналу (ЛЧМ) із законом загасання в досліджуваному шарі донних відкладів можна представити у вигляді [1] :

$$A(t) = A_0 e^{-\beta(\omega)x(t)} \cos(\omega(t) \cdot t), \quad (5)$$

де A_0 - максимальна амплітуда сигналу;

$$x(t) = c \cdot t; \quad \cos \omega(e) = \omega t + \frac{\omega(\tau)}{\tau} t^2 - \text{закон зміни частоти сигналу};$$

$\Delta\omega$ - девіація частоти;

τ - тривалість імпульсу;

$\beta(\omega)$ - коефіцієнт загасання.

Для відновлення закону загасання доцільно використовувати методи поліноміальної інтерполяції залежності коефіцієнта загасання від частоти. Існує кілька способів – інтерполяція поліномами Лагранжа, Ньютона і метод найменших квадратів [4].

Розглянемо емпіричну формулу залежності коефіцієнта загасання від частоти [1]:

$$\beta = k \cdot f^n, \quad (6)$$

де n і k – постійні, що залежать від типу ґрунту.

На частотах від одиниці до сотень кГц коефіцієнт загасання лінійно залежить від частоти. Для інтерполяції такої функції введемо інтерполяцію поліномом другого ступеня. Тоді одержимо вираз, що описує сигнал з відновленим законом загасання:

$$S(t) = A e^{-(a_0 + a_1\omega + a_2\omega^2)x(t)} \cos(\omega(t) \cdot t). \quad (7)$$

Нормований кореляційний інтеграл сигналів (5) і (7) обчислимо по формулі:

$$K = \frac{\int_0^\tau A(t) \cdot S(t) dt}{D_A \cdot D_S}, \quad (8)$$

де D_A й D_S - дисперсії сигналів $A(t)$ і $S(t)$.

Постає задача - визначення максимуму значення кореляційного інтегралу методом добору коефіцієнтів інтерполяційного полінома $a_0 + a_1\omega + a_2\omega^2$. Наявність максимуму дозволить стверджувати про збіг закону загасання сигналу $\beta(\omega)$ та апроксимуючої функції $a_0 + a_1\omega + a_2\omega^2$ в розглянутому шарі. Шляхом порівняння отриманої функції з відомими значеннями коефіцієнтів загасання для різних матеріалів можна класифікувати донні відклади.

Однією з характеристик донних шарів є товщина (потужність) шарів. Зміна товщини шару заснована на визначенні інтервалу часу Δt між сигналами, відбитими від його границь [3]:

$$h = \frac{c_r \Delta t}{2}. \quad (9)$$

Після застосування даних алгоритмів до профілограми (рис. 1), виділення меж шарів [5] і проведення кореляційної обробки результатів, одержимо профілограму (рис. 2).

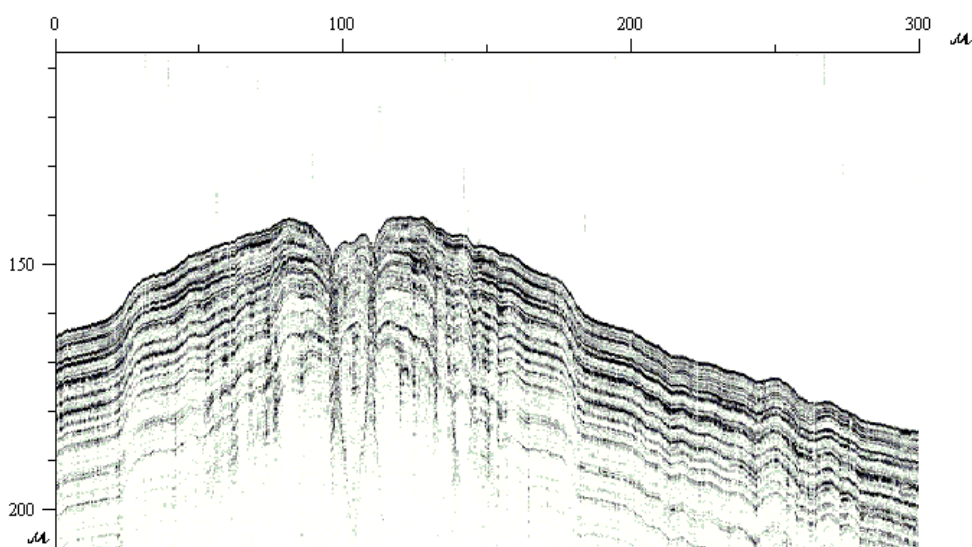


Рис. 1 - Реальна профілограма

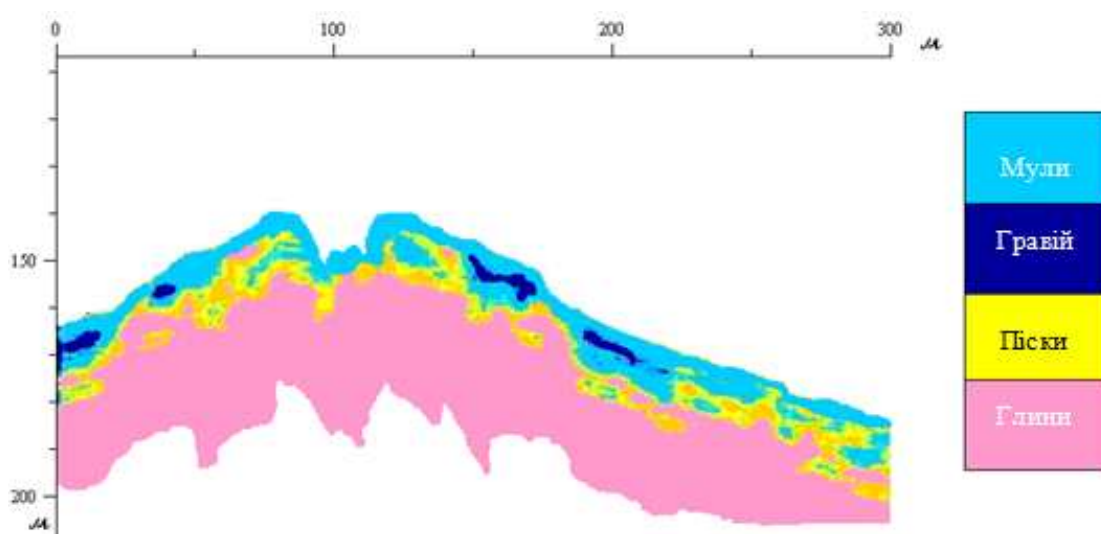


Рис. 2 - Класифікація донних відкладів по літологічних класах

Таким чином, розроблено основи алгоритмів обробки інформації, отриманої під час дослідження дна акваторій профілографом. Запропоновані методики, за допомогою яких можна визначити швидкість звуку, пористість, коефіцієнт загасання, густину донних відкладів по відбитому сигналу. Використання кореляційного аналізу результатів цих алгоритмів дає змогу стратифікувати і визначити акустичні властивості донних відкладів з більшою ймовірністю. Простота математичного апарата методів дає можливість легко програмувати алгоритми в автоматизовані системи обробки інформації.

Література

1. Хемптон Л. Акустика морських осадков. – М.: Мир, 1977.-532с.
2. Гидроакустические методы и средства исследования дна мирового океана/Под ред. А.И. Гончара. Запорожье, 2002.
3. Акустика океана. Под. ред. акад. Л.М. Бреховских. М., Наука, 1974.–696с.
4. Р.Гансалес, Р.Вудс Цифровая обработка изображений. М., Техносфера, 2006.–1086с.
5. Шилов Р.Д. Особенности выделения слоев донного грунта по результатам профильной грунтовой съемки \ \ Гидроакустический журнал. Запорожье НТЦ ПАС НАН Украины – 2007. - № 4 –С. 78-84