

Модельні підходи до класифікації донних відкладів

О.І. Шундель, С.Г. Федосеєнков, Л.В. Нестеренко, С.І. Неверова

Шундель Олексій Іванович – науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: lixyta666@gmail.com

Федосеєнков Сергій Геннадійович – к.геол.н., завідувач відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: 22lex22s@ukr.net

Нестеренко Любов Володимирівна – молодший науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: nest.lubov.v@gmail.com

Неверова Світлана Іванівна – науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: sidzp2019@gmail.com

Анотація

У статті розглянуто два модельних підходи до класифікації донних відкладів за допомогою однопроменевого ехолота. Описано особливості їх застосування для аналізу океанографічних даних.

Ключові слова: геологічне моделювання, класифікація донних відкладів, аналіз даних, акустичний сигнал, дистанційне підводне зондування

Вступ. Світовий океан (близько 70% поверхні нашої планети) притягує все більшу увагу з боку людства. Його мінеральні ресурси та біоресурси набагато перевищують освоєні людством ресурси суші. Саме тому в програмах подальшого індустріального розвитку багатьох країн світу закладено довгострокову програму освоєння ресурсів Світового океану. Особливу увагу приділяють створенню нових технологій, техніки й комплексів, модернізації технологій обстеження та вивчення морського дна, класифікації типів донних відкладів для подальшої розвідки й розробки підводних родовищ мінеральних ресурсів на материкових шельфах, континентальних схилах і в глибоководній частині океанів. Першочерговим і найбільш актуальним на сьогоднішній момент є завдання картографування морського дна. На основі детальних карт проводять оцінку наявності покладів підводних корисних копалин і процедуру правового закріплення цього місця за стороною, що розвідала поклади. Таке картографування на теперішній час проводять, як правило, комбінованими методами, а саме, за допомогою комплексного дослідження морського дна: контактного та безконтактного. У разі контактного дослідження проводять відбір ґрунту та його хімічний і фізичний аналіз, що робить цю методику занадто трудомісткою й фінансово затратною. Дослідження ж безконтактними методами дозволяють значно скоротити час аналізу, зменшити кількість відборів проб ґрунту і т.д. В основі таких методів лежить використання акустичних хвиль, які добре поширюються у водному середовищі і мають ряд переваг у порівнянні з іншими видами

хвиль. На основі використання акустичних хвиль побудований цілий ряд гідроакустичної апаратури, призначеної для дослідження морського та річкового дна.

У гідроакустичних приладах вихідний акустичний сигнал змінює свою структуру після відбиття, а за аналізом цих змін у сигналі роблять висновки про фізичні властивості досліджуваних донних відкладів. Тому одним із пріоритетних завдань при створенні гідроакустичної апаратури такого класу є задача дослідження взаємодії акустичних хвиль з межами їх розділу. На особливу увагу заслуговує аналіз частотної залежності коефіцієнта відбиття [2].

Актуалізована інформація про стан дна моря або річки дуже важлива для аналізу та практичних робіт. Вона включає морську геологію й біологію, прибережні будівельні об'єкти, такі як схема трасування кабелю та трубопроводу. У сучасних традиційних дослідженнях, зазвичай, беруть зразки відкладів для одержання необхідної інформації, потім їх аналізують у лабораторії, що потребує багато часу й фінансових витрат. Тому для класифікації відкладів перспективним є підхід, що базується на використанні акустичних методів і засобів дистанційного зондування, наприклад, використання однопроменевого ехолота й багатопроменевого ехолота (БПЕ), які широко застосовують для вимірювань глибин. Однопроменевий ехолот дає один вимір за одну послідовність, а БПЕ може знімати до 500 вимірів за одну послідовність в широкій смузі огляду, перпендикулярній напрямку курсу судна. В [4, 7, 10, 11, 14, 15] можна знайти ряд підходів до класифікації відкладів за допомогою БПЕ.

Незважаючи на переваги застосування БПЕ, однопроменевий ехолот залишається найбільш використовуваним. У літературі можна знайти різні підходи, спрямовані на класифікацію відкладів за допомогою систем однопроменевих ехолотів [6, 8, 9]. Загалом, ці підходи можна розділити на дві групи: феноменологічні (або емпіричні) і засновані на моделі (або фізичні). У феноменологічних підходах такі функції як енергія або час поширення акустичної хвилі визначаються для прийнятих ехо-сигналів. Ці особливості, як відомо, вказують на тип підводного відкладу. Проте незалежні виміри зразків донних відкладів і керну також необхідні, щоб ідентифікувати класи відкладів і співставити з їх дійсними особливостями або типами [21, 22]. А засновані на фізичних моделях підходи використовують навпаки: для визначення типів відкладу зведенням до максимального значення збігу змодельованого й отриманого сигналу, де тип дна або параметри, які характеризують тип дна, служать вхідними даними при моделюванні. Перевага цього підходу полягає у тому, що додаткові незалежні виміри, в принципі, не потрібні, а сам підхід, заснований на моделі, безпосередньо співставляє параметри відкладу.

Кілька підходів класифікації донних відкладів, засновані на моделі, описано в [12, 18, 20]. Вони головним чином різняться складністю поширення акустичних хвиль та їх проникнення у донні відклади.

У [18] описано підхід, де використано ускладнену модель для прогнозу обвідної отриманого ехо-сигналу однопроменевого ехолота, як і в [1, 19]. Отримане ехо змодельовано як результат розсіювання на нерівній поверхні розділу вода – ґрунт і в межах відкладу через неоднорідності. Складність середовища визначається оцінкою ряду невідомих, що вимагають

ефективних методів оптимізації. Для максимального досягнення відповідності показників змодельованого та отриманого ехо-сигналів в [18] використовують комбінацію різних методів оптимізації. Зокрема досліджують три параметри донного відкладу: середній розмір зерна відкладу, шорсткість поверхні, виражена у вигляді спектральної потужності, та величину об'ємного розсіювання. Інверсія виміру однопроменевого ехолоту в місцях відбору зразків відкладу показує високий рівень відповідності між оптимізованими й обмірюваними середніми розмірами зерен.

У [20] класифікація заснована на припущенні, що енергія ехо-сигналу однопроменевого ехолоту пропорційна квадрату коефіцієнта відбиття. При використанні емпіричного відношення між середнім розміром часток відкладу й коефіцієнтом відбиття, енергія ехо-сигналу використовується, щоб встановити середню зернистість відкладу для кожного звукового імпульсу ехолота. Цей спосіб порівняння ймовірного середнього розміру зерен з показниками, визначеними на основі аналізу зразка, є перспективним і результативним методом. Зближення значень параметрів до їх збігу досягається за рахунок введення додаткової складової при моделюванні шляхом використання перехідного шару з безперервною зміною швидкості звуку й густини.

Той факт, що підходи, засновані на згаданій моделі, дозволяють одержати інформацію про достовірні параметри відкладу без опрацювання великої кількості зразків, відкривають нові можливості для перспектив їх практичного застосування.

Метою роботи є дослідження основних принципів двох підходів до класифікації типів донних відкладів за дистанційним зондуванням однопроменевим ехолотом.

Матеріали і методи. Проведено теоретичний порівняльний аналіз підходу до класифікації донних відкладів на основі узгодження повної обвідної ехо-сигналу із змодельованою обвідною та підходу, що враховує енергію прийнятого акустичного сигналу для оцінки розміру зерна.

Порівняльний аналіз підходів до класифікації донних відкладів

1. Класифікація, заснована на моделі з використанням обвідної ехо-сигналу.

На рис. 1 показано схему використання цього підходу при класифікації донних відкладів однопроменевим ехолотом. Для прогнозу відбитого сигналу однопроменевого ехолоту використовують фізичну модель. При цьому застосовують алгоритм оптимізації, щоб вивести вхідні параметри, які максимізують відповідність між прогнозованим і фактичним відбитим сигналом. Для одержання набору властивостей донного відкладу на великій площі, необхідна множина звукових імпульсів, а для інвертування – ефективні методи оптимізації.

Основними компонентами цього підходу до класифікації донних відкладів є:

- модель для прогнозування отриманої обвідної ехо-сигналу;
- функція витрат;
- метод оптимізації.

Обвідну отриманого ехо-сигналу однопроменевого ехолота можна записати у вигляді:

$$y(t) = \int_{A(t)} \sigma_b(\theta) B(\theta) \frac{e^{-4\alpha r}}{r^4} S(r) dA, \quad (1)$$

де $A(t)$ – моментально заповнена звуком зона, яка забезпечує одержання звуку у момент часу t ;

$\sigma_b(\theta)$ – поперечний переріз зворотного розсіювання під кутом падіння θ ;

$B(\theta)$ – діаграми направленості передачі/приймання датчика;

$S(r)$ – форма випромінюваного сигналу, спроектована на зону покриття діаграми направленості для пояснення зміни амплітуди сигналу в межах діаграми направленості.

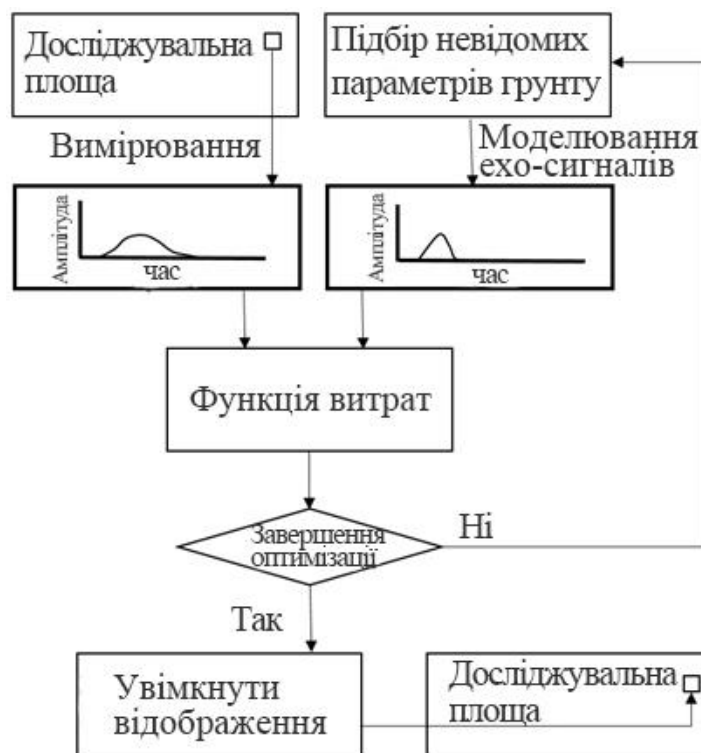


Рис. 1. Схема підходу до класифікації відкладів за допомогою однопроменевого ехолоту

Форма випромінюваного сигналу $S(r)$ залежить від похилої дальності $r = \sqrt{x^2 + H^2}$, де x – горизонтальна відстань, а H – глибина під антеною. Схема площі, яку прозвучує (охоплює звуком) однопроменевий ехолот, показано на рис. 2. Сигнал додатково коригують виправленням на поглинання α у товщі води.

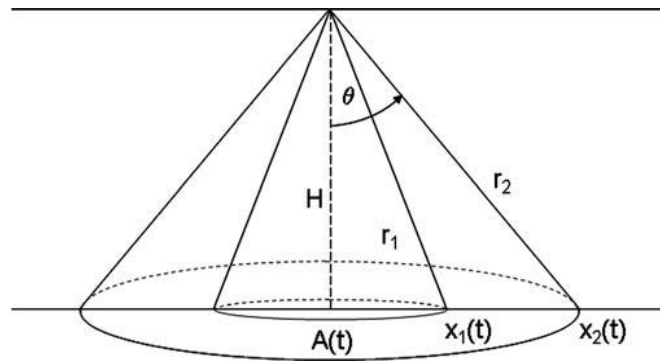


Рис. 2. Схема площі, яку прозвучує однопроменевий ехолот [16]

Рівняння (1) може бути записано в такий спосіб:

$$y(t) = \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \sigma_b \left(\tan^{-1} \left(\frac{x}{H} \right) \right) B \left(\tan^{-1} \left(\frac{x}{H} \right) \right) \frac{e^{-4ar}}{r^4} S \left(\frac{2}{c} (r_2 - r_1) \right) 2\pi x dx, \quad (2)$$

де x_1 і x_2 – дві x -величини, які обмежують $A = \pi(x_2^2 - x_1^2)$;

$r_2 = \sqrt{x_2^2 + H^2}$ – похила дальність при x_2 .

Верхня границя дорівнює:

$$x_2(t) = \sqrt{\frac{c^2 t^2}{4} - H^2}. \quad (3)$$

При швидкості звуку у воді c , яку вважають постійною, нижня границя x_1 залежить від t відповідно до математичного виразу:

$$x_1(t) = \begin{cases} 0, & t \leq t_0 + T, \\ \sqrt{\left(\frac{ct}{2} - \frac{cT}{2} \right)^2 - H^2}, & t > t_0 + T, \end{cases} \quad (4)$$

де $t_0 = \frac{2H}{c}$;

T – тривалість імпульсу.

Загалом, характеристики датчика, такі як діаграма направленості, тривалість сигналу та його форма, відомі. Глибину району дослідження можна визначити шляхом визначення часу проходження сигналу в прямому й зворотному напрямках і швидкості звуку в товщі води. Тому єдина невідома величина в рівнянні (2) – це поперечний переріз зворотного розсіювання $\sigma_b(\theta)$. У літературі описано кілька виразів $\sigma_b(\theta)$ [3, 5, 19]. Ці вирази відрізняються ступенем деталізації при описі взаємодії звуку й відкладу. В [5] розглянуто набагато більш докладний і

добре обґрунтований поперечний переріз зворотного розсіювання, з його поясненням при розсіюванні на нерівній поверхні розділу σ_r і при об'ємному розсіюванні σ_v як

$$\sigma_b(\theta) = \sigma_r(\theta) + \sigma_v(\theta). \quad (5)$$

Тут σ_r отримане за допомогою відповідної інтерполяції між трьома такими апроксимаціями:

наближення Кірхгофа, дійсне для гладких або помірно шорсткуватих відкладів і кутів, близьких до 90° ;

наближення композитної шорсткості, яке підходить для гладких або помірно шорсткуватих відкладів і кутів відмінних від 90° ;

поперечний переріз розсіювання на великих нерівностях, виведений з емпіричного виразу, який отримано для нерівних відкладів, таких як гравій і каміння.

Параметри ґрунту, які впливають на поперечний переріз зворотного розсіювання, наведено в табл. 1. В [5] значення 3.25 для показника спектра γ донного рельєфу підходить для різних видів ґрунту. Крім того, емпіричні вирази, наведені в [5], які стосуються щільності, швидкості звуку, коефіцієнта поглинання звуку (у вигляді ρ , ν і δ), і параметрів, що впливають на розсіювання внаслідок шорсткості поверхні й об'ємної неоднорідності (w_2 і σ_2), записують формулою з одним параметром – середнім розміром зерна, часто в ϕ одиницях:

$$M_z = -\log_2 d, \quad (6)$$

де d – середній розмір часток (зерна) у міліметрах.

Для середніх розмірів зерен від -1ϕ до 9ϕ емпіричні значення параметрів, згаданих вище, наведено в табл. 2.

Таблиця 1 – Показники морського дна та їх символи

Показники дна	Символи
Середній розмір частки (зерна)	M_z
Відношення масової щільності відкладу до масової щільності води	ρ
Відношення швидкості звуку у відкладі до швидкості звуку у воді	ν
Відношення уявної частини хвильового числа до дійсної	δ
Відношення поперечного перерізу зворотного об'ємного розсіювання у відкладі до коефіцієнта згасання (параметр об'ємного розсіювання)	σ_2
Показник спектра донного рельєфу	γ
Сила спектра рельєфу дна (см^4) (спектральна потужність)	w_2

Використовуючи емпіричні значення з табл. 2, пошук можна звести до пошуку тільки за середнім розміром часток. Однак спектральна потужність w_2 і параметр об'ємного розсіювання σ_2 , як відомо, можуть суттєво відрізнятися від значень за замовчуванням, отриманих з виразів для M_z . Для оцінки необхідно знати всі три невідомі (середній розмір зерна, спектральну потужність і параметр об'ємного розсіювання) у нинішній інверсії, де тільки середній розмір часток оптимізований, а емпіричні вирази використовуються для присвоєння значень спектральної сили й об'ємного параметра розсіювання, заснованих на середній зернистості.

У цьому підході, заснованому на моделі, параметри дна виводять за допомогою зведення до максимуму відповідності між дійсним і змодельованим сигналами. В якості міри для відповідності між модельованим (1) і дійсним ехо-сигналом, функція витрат E визначається як:

$$E = \frac{1}{\sum_k (y_{meas}^2(t_k) + y_{mod}^2(t_k))} \sum_k [y_{meas}(t_k) - y_{mod}(t_k)]^2, \quad (7)$$

де y_{meas} – дійсна обвідна ехо-сигналу;

y_{mod} – змодельована обвідна ехо-сигналу;

k – кількість часових вибірок.

Таблиця 2 – Емпіричні величини параметрів моделі

Тип донного відкладу	$M_z (\phi)$	ρ	ν	δ	σ	$w_2 (\text{см}^4)$
Піщана галька	-1.0	2.492	1.337	0.0171	0.002	0.0129
Мулиста піщана галька	0.0	2.314	1.278	0.0163	0.002	0.0086
Крупний пісок	1.0	2.151	1.224	0.0165	0.002	0.0056
Дрібний пісок	2.0	1.615	1.140	0.0161	0.002	0.0035
Дуже дрібний пісок	3.0	1.339	1.080	0.0173	0.002	0.0021
Мулистий пісок	4.0	1.223	1.036	0.0202	0.002	0.0011
Піщаний мул	5.0	1.169	1.000	0.0126	0.002	0.0005
Піщано-мулиста глина	6.0	1.149	0.987	0.0039	0.001	0.0005
Глинистий мул	7.0	1.147	0.985	0.0024	0.001	0.0005
Мулиста глина	8.0	1.146	0.982	0.0016	0.001	0.0005
Глина	9.0	1.145	0.980	0.0015	0.001	0.0005

Щоб отримати загальну картину поширення відкладів на площі, необхідно інвертувати велику кількість вимірів однопроменевого ехолота. Для цього потрібні ефективні методи оптимізації для мінімізації E . У [17] метод диференціальної еволюції (швидка версія генетичного алгоритму) подано як ефективний глобальний метод оптимізації.

Використовуючи його, зводимо його до мінімуму E . У [13] представлено докладний опис методу диференціальної еволюції.

2. Класифікація за допомогою енергії ехо-сигналу.

Внаслідок того, що інформація про повну огинаючу ехо-сигналу не завжди доступна, а застосування її для інверсії M_z виявилось громіздкою чи затратною обчислювальною процедурою, тому для класифікації відкладу в якості альтернативи переважно використовують визначення енергії ехо-сигналу.

З існуючих феноменологічних підходів до класифікації донних відкладів відомо, що енергія отриманого сигналу дозволяє визначити тип ґрунту [18, 21]. Ці відомості повністю використовують в [20], де отримана енергія ехо-сигналу прямо пропорційна квадрату коефіцієнта відбиття амплітуди при нормальному падінні. Емпіричні співвідношення пов'язують коефіцієнт відбиття із середнім розміром зерна.

Допускаючи те, що вся отримана енергія – це результат відбиття на поверхні розділу вода – ґрунт, коефіцієнт відбиття можна вивести з енергії ехо-сигналу однопроменевого ехолота формулою:

$$R = \frac{1}{\sqrt{E_{TX}}} \frac{2H\sqrt{E_{RX}}}{e^{-2\alpha H}}, \quad (8)$$

де R – коефіцієнт відбиття;

H – глибина води;

E_{TX} – енергія випромінюваного імпульсного сигналу;

E_{RX} – енергія прийнятого імпульсного сигналу;

α – коефіцієнт поглинання енергії у воді.

Ґрунтуючись на емпіричних співвідношеннях у [5] коефіцієнт відбиття R обчислюють з урахуванням: відношення густини відкладу до густини води ρ , відношення швидкості звуку у відкладі до швидкості звуку у воді v , при припущенні про нормальне падіння за такою формулою:

$$R(M_z) = \frac{\rho(M_z)v(M_z) - 1}{\rho(M_z)v(M_z) + 1}. \quad (9)$$

Розраховані за (9) коефіцієнти відбиття зображено на графіку на рис. 3 у вигляді залежності від середньої зернистості відкладу.

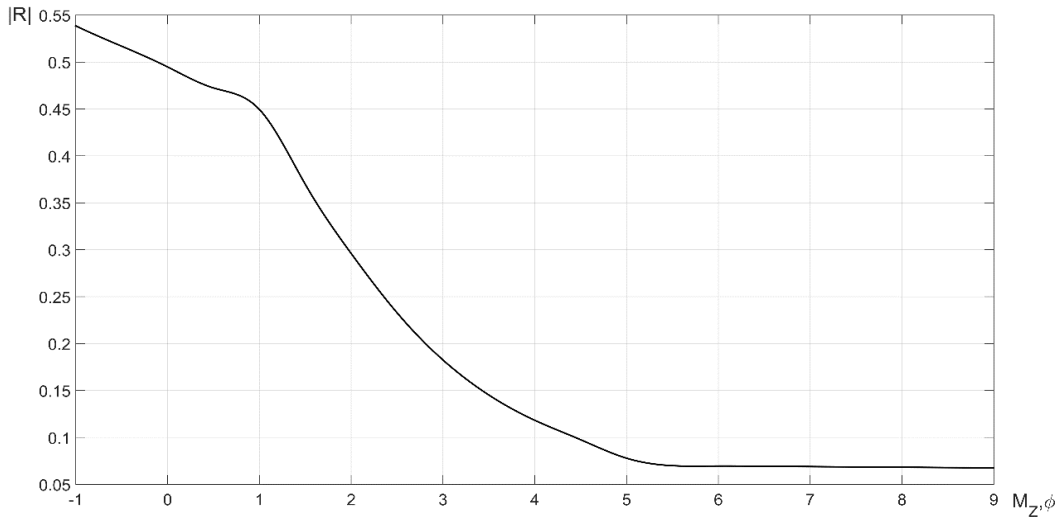


Рис. 3. Залежність коефіцієнта відбиття від середньої зернистості відкладу

Висновки. Основні принципи розглянутих підходів до класифікації типів донних відкладів схожі на ті, що описані в [18] і [20]. Дані методи відрізняються складністю взаємодії звуку з ґрунтом. У статті розглянуто два різні підходи та їх застосування до даних при використанні однопроменевого ехолоту.

Повністю обвідну ехо-сигналу враховує перший підхід, схожий на описаний у [18]. Модель обвідної ехо-сигналу базується на даних його розсіювання на поверхні розділу вода – ґрунт у результаті нерівностей відкладів і розсіювання в межах відкладу через неоднорідності. Показано важливість спектральної сили й параметра об'ємного розсіювання для одержання достовірної оцінки середнього розміру зерна. Більш того, інформація про спектральну потужність і об'ємний параметр має значення, наприклад, при розробці гідролокаторів. Щоб компенсувати додаткові обчислення при інвертуванні двох додаткових параметрів, необхідні ефективні методи оптимізації, а саме використання методу диференціальної еволюції, прискореної версії генетичного алгоритму.

Незважаючи на той факт, що на даний час доступні ефективні методи оптимізації, інвертування цілої обвідної ехо-сигналу дотепер вимагає значних обчислювальних затрат. Фактично потребу обліку всієї складності механізму зворотного розсіювання досліджують шляхом аналізу, який враховує тільки енергію ехо-сигналу. У цій роботі показано чутливість другого підходу до обмеження ширини променя однопроменевого ехолота й того, що фактично спектральна сила й параметр об'ємного розсіювання часто не відомі, що може призвести до неоднозначної інтерпретації зв'язку між середнім розміром зерна й енергією ехо-сигналу для систем однопроменевих ехолотів з малою шириною променя. Рівняння (9) потенційно дозволяє оцінити середній розмір зерна із енергії прийнятого ехо-сигналу. На рис. 3 показано, що коефіцієнт відбиття R не чутливий до середніх часток більше, чим 5.5ϕ , це свідчить, що імпеданс відкладів з розміром зерна від 5.5ϕ до 9.0ϕ практично однаковий.

Перелік використаних джерел

1. Гончар А.І., Федосєнков С.Г., Шундель О.І., Нєстерєнко Л.В. Розрахунок форми обвідної відбитого сигналу на основі складної математичної моделі відбиття й розсіювання сигналу. *Океанографічний журнал. Проблеми, методи та засоби досліджень світового океану*. 1(12), 2019, С. 49-62.
2. Куценко А.Н. О возможности дистанционного определения импеданса донных отложений. / *Известия ТРТУ "Экология 2004-море и человек"*, 2004, №5 (40), С.85-88.
3. Урик Р.Дж. Основы гидроакустики. Л.: Судостроение, 1978. 448 с.
4. Amiri-Simkooei A.R., Snellen M., Simons D.G. Riverbed sediment classification using MBES backscatter data. *J. Acoust. Soc. Am.* 2009. V. 126, № 4, P. 1724–1738.
5. APL-UW. High-frequency ocean environmental acoustic models handbook. Defense Technical Information Center 1997. 210 p.
6. Bates C.R. Whitehead E.J. ECHOpus measurements in Hopavagen bay, Norway. *Sea Technol.* 2001. V. 42, № 6, P. 34-43.
7. Canepa G., Pouliquen E. Inversion of geo-acoustic properties from high frequency multibeam data. *Boundary Influences in High Frequency, Shallow Water Acoustics*. 2005. P. 233–240.
8. Collins W., Gregory R., Anderson J. A digital approach to seabed classification. *Sea Technol.* 1996. V. 37, № 8. P. 83–87.
9. Hamilton L.J., Mulhearn P.J., Poeckert R. Comparison of RoxAnn and QTC View acoustic bottom classification system performance for the Cairns area, Great Barrier Reef, Australia. *Cont. Shelf Res.* 1999. V. 19. P. 1577-1597.
10. Hellequin L. Boucher J., Lurton X. Processing of high-frequency multibeam echo sounder data for seafloor characterization. *IEEE J. Ocean. Eng.* 2003. V. 28, № 1. P. 78–89.
11. Hughes J. E. Toward remote seafloor classification using the angular response of acoustic backscattering: A case study from multiple overlapping GLORIA data. *IEEE J. Ocean. Eng.* 1994. V. 19, № 1. P. 112–126.
12. Lurton X., Pouliquen E. Automated sea-bed classification system for echo-sounders. *Proceedings of the IEEE Oceans 1992 Conference*. 26-29 Oct. 1992. Newport, RI, USA. P. 317–321
13. Price K.V., Storn R.M., Lampinen J.A. Differential evolution. A practical approach to global optimization. Chap. 2. Berlin: Springer, 2005. 538 p.
14. Simons D.G., Snellen M. A Bayesian approach to seafloor classification using multi-beam backscatter data. *Appl. Acoust.* 2009. V. 70. P. 1258–1268.
15. Simons D.G., Snellen M. A comparison between modeled and measured high frequency bottom backscattering. *Proceedings of the European Conference on Underwater Acoustics*. Paris, France. 2008. P. 639–644.
16. Snellen M. Siemes Kerstin, Simons Gick G. Model-based sediment classification using single-beam echosounder signal. *J. Acoust. Soc. Am.* 2011. V. 129, № 5. P. 2878-2888.
17. Snellen M., Simons D.G. An assessment of the performance of global optimisation methods for geo-acoustic inversion. *J. Comput. Acoust.* 2008. V. 16, № 2. P. 199–223.
18. Sternlicht D.D., Moustier C.P. Remote sensing of sediment characteristics by optimized echo-envelope matching. *J. Acoust. Soc. Am.* 2003. V. 114, № 5. P. 2727–2743.
19. Sternlicht D.D., Moustier C.P. Time-dependent seafloor acoustic backscatter (10–100 kHz). *J. Acoust. Soc. Am.* 2003. V. 114, № 5. P. 2709–2725.
20. Walree P.A., Ainslie M.A., Simons D.G. Mean grain size mapping with single-beam echosounders. *J. Acoust. Soc. Am.* 2006. V. 120, № 5. P. 2555–2566.
21. Walree P.A., Tegowski J., Laban C., Simons D.G. Acoustic seafloor discrimination with echo shape parameters: A comparison with the ground truth. *Cont. Shelf Res.* 2005. V. 25. P. 2273–2293.
22. Wienberg C., Bartholomä A. Acoustic seabed classification in a coastal environment (outer Weser Estuary, German Bight)-A new approach to monitor dredging and dredge spoil disposal. *Cont. Shelf Res.* 2005. V. 25. P. 1143–1156.

Модельные подходы к классификации донных отложений

А.И. Шундель, С.Г. Федосеенков, Л.В. Нестеренко, С.И. Неверова

Шундель Алексей Иванович – научный сотрудник отдела панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: lixyta666@gmail.com

Федосеенков Сергей Геннадьевич – к.геол.н., заведующий отделом панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: 22lex22s@ukr.net

Нестеренко Любовь Владимировна – младший научный сотрудник отдела панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: nest.lubov.v@gmail.com

Неверова Светлана Ивановна – научный сотрудник отдела панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: sidzp2019@gmail.com

Аннотация

В статье исследуются два модельных подхода к классификации отложений с помощью однолучевого эхолота. Показаны особенности их применения для анализа океанографических данных.

Ключевые слова: геологическое моделирование, классификация донных отложений, анализ данных, акустический сигнал, дистанционное подводное зондирование

Model approaches for the classification of sediment

A.I. Shundel, S.H. Fedoseienkov, L.V. Nesterenko, S.I. Nevierova

Shundel, Oleksiy Ivanovych – Researcher, the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: lixyta666@gmail.com

Fedoseienkov, Serhiy Hennadiyovych – Cand. Sci. (Geol.), Head of the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: 22lex22s@ukr.net

Nesterenko, Lyubov Volodymyrivna – Junior Researcher, the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: nest.lubov.v@gmail.com

Nevierova, Svitlana Ivanivna – Researcher, the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: sidzp2019@gmail.com

Abstract

The paper explores two model approaches to the single-beam echosounder classification of sediments. Their applications for the analysis of oceanographic data are shown.

Key words: geological modelling, sediment classification, data analysis, acoustic signal, remote underwater sensing

References

1. Ghonchar AI, Fedosejenkov SGh, Shundelj OI, Nesterenko LV. Rozrakhunok formy obvidnoji vidbytogho syghnalu na osnovi skladnoji matematychnoji modeli vidbytija j rozsijuvannja syghnalu [Calculation of the shape of the envelope of the reflected signal on the basis of a complex mathematical model of reflection and scattering of the signal]. Okeanohrafichnyj zhurnal. Problemy, metody ta zasoby doslidzhenj svitovogho okeanu. 2019; 1(12):49-62. [In Ukrainian].

2. Kutsenko AN. O vozmozhnosti distantsionnogo opredeleniya impedansa donnykh otlozheniy [On the possibility of remote determination of the impedance of bottom sediments.]. Izvestiya TRTU "E`kologiya 2004-more i chelovek". 2004, 5 (40):85-88 [In Russian].

3. Urik RDzh. Osnovy` gidroakustiki [Basics of hydroacoustics]. L.: Sudostroenie; 1978. 448 p. [in Russian].
4. Amiri-Simkooei AR, Snellen M, Simons DG. Riverbed sediment classification using MBES backscatter data. J. Acoust. Soc. Am. 2009. 126(4):1724–1738.
5. APL-UW. High-frequency ocean environmental acoustic models handbook. Defense Technical Information Center; 1997. 210 p.
6. Bates CR, Whitehead EJ. ECHOpus measurements in Hopavagen bay, Norway. Sea Technol. 2001. 42(6):34-43.
7. Canepa G, Pouliquen E. Inversion of geo-acoustic properties from high frequency multibeam data. Boundary Influences in High Frequency Shallow Water Acoustics. 2005; p. 233–240.
8. Collins W, Gregory R, Anderson J. A digital approach to seabed classification. Sea Technol. 1996. 37(8):83–87.
9. Hamilton LJ, Mulhearn PJ, Poeckert R. Comparison of RoxAnn and QTC View acoustic bottom classification system performance for the Cairns area, Great Barrier Reef, Australia. Cont. Shelf Res. 1999. 19:1577-1597.
10. Hellequin L, Boucher J., Lurton X. Processing of high-frequency multibeam echo sounder data for seafloor characterization. IEEE J. Ocean. Eng. 2003. 28(1):78–89.
11. Hughes JE. Toward remote seafloor classification using the angular response of acoustic backscattering: A case study from multiple overlapping GLORIA data. IEEE J. Ocean. Eng. 1994. 19 (1): 112–126.
12. Lurton X, Pouliquen E. Automated sea-bed classification system for echo-sounders. Proceedings of the IEEE Oceans 1992 Conference; 1992 Oct. 26-29. Newport, RI, USA; 1992; p. 317–321.
13. Price KV, Storn RM, Lampinen JA. Differential evolution. A practical approach to global optimization. Ch. 2. Berlin: Springer, 2005. 538 p.
14. Simons DG, Snellen MA Bayesian approach to seafloor classification using multi-beam backscatter data. Appl. Acoust. 2009; 70:1258–1268.
15. Simons DG, Snellen MA. Comparison between modeled and measured high frequency bottom backscattering. Proceedings of the European Conference on Underwater Acoustics. Paris: France. 2008. p. 639–644.
16. Snellen M, Siemes Kerstin, Simons Gick G. Model-based sediment classification using single-beam echosounder signal. J. Acoust. Soc. Am. 2011;129(5): 2878-2888.
17. Snellen M, Simons DG. An assessment of the performance of global optimisation methods for geo-acoustic inversion. J. Comput. Acoust. 2008; 16(2):199–223.
18. Sternlicht DD, Moustier CP. Remote sensing of sediment characteristics by optimized echo-envelope matching. J. Acoust. Soc. Am. 2003;114(5): 2727–2743.
19. Sternlicht DD, Moustier CP. Time-dependent seafloor acoustic backscatter (10–100 kHz). J. Acoust. Soc. Am. 2003; 114(5):2709–2725.
20. Walree PA, Ainslie MA, Simons DG. Mean grain size mapping with single-beam echosounders. J. Acoust. Soc. Am. 2006;120(5):2555–2566.
21. Walree PA, Tegowski J, Laban C, Simons DG. Acoustic seafloor discrimination with echo shape parameters: A comparison with the ground truth. Cont. Shelf Res. 2005; 25:2273–2293.
22. Wienberg C, Bartholomä A. Acoustic seabed classification in a coastal environment (outer Weser Estuary, German Bight). A new approach to monitor dredging and dredge spoil disposal. Cont. Shelf Res. 2005; 25:1143–1156.

Стаття надійшла 25.07.2020 р.