

УДК 621.39.96

© **А.И. Гончар**, чл.- корр. НАН Украины, д.т.н., с.н.с., директор;  
**С.Г. Федосенков**, ведущий инженер;  
**А.И. Шундель**, научный сотрудник

Научно-технический центр панорамных акустических систем НАН Украины, г. Запорожье (Украина)

## **АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ПРОФИЛЬНОЙ ГРУНТОВОЙ СЪЕМКИ МОРСКОГО ДНА**

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

**ГИДРОАКУСТИКА, МОРСКОЕ ДНО, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,  
ПРОФИЛИРОВАНИЕ, ИМПЕДАНС, ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ**

Сокращение запасов полезных ископаемых на суше, в особенности нефти и газа, ведет к расширению их разведки и добычи в акваториях морей и океанов. Для этого сооружаются крупные, в то же время аварийно-опасные объекты: буровые платформы, подводные газопроводы, портовые сооружения. Эти проекты требуют серьезного инженерно-геологического обоснования, и не последнюю роль в этом играет метод гидроакустического профилирования, который позволяет изучать геологический разрез на требуемую для этих целей глубину с достаточно высокой детальностью.

Для решения подобных задач наиболее перспективными в настоящее время считаются параметрические профилографы, которые за счет большой мощности излучения, низкой частоты зондирующего сигнала и узкой характеристики направленности позволяют проникнуть достаточно глубоко в толщу донного грунта [1].

Однако, проблема обработки профилограмм, получения достоверной информации о параметрах грунтов, слагающих дно, и отнесении их к литологическим классам, до сих пор не решена.

В виду этого, разработаны эффективные алгоритмы обработки информации, полученной при исследовании дна акваторий с помощью профилографов, для водонасыщенных грунтов. Разработанные алгоритмы реализованы в среде Borland C++ Builder 6.0 и применены для обработки реальных профилограмм.

Одна из первых проблем обработки профилограмм - устранение кратных волн. Кратными называются волны, которые на своем пути распространения испытали более одного отражения [2]. В настоящее время кратные волны рассматриваются как когерентные помехи, поскольку они взаимодействуют с первичными волнами или могут быть по ошибке интерпретированы как первичные. Они отрицательно влияют на процессы отображения, которые предполагают отсутствие кратных волн в данных профилограммы. Классификация и природа возникновения помогают распознать кратные волны в процессе обработки профилограммы. В литературе [2] вводятся такие характеристики этих волн как периодичность, геометрия (особенности), положение на разрезе, скорость. На геометрию влияют углы наклона слоя и характеристики слоев (ширина, импеданс).

Имеются две обширные категории методик ослабления кратных волн: методики, основанные на некотором различии свойств кратных волн и первичных волн (методики

фльтрации [3]), и методики, которые прогнозируют положение кратных волн и вычитают их из данных.

Классическое преобразование Радона как фильтрация для двухмерного случая отображает функцию, определенную на плоскости  $R^2$  во множестве её линейных интегралов и записывается в следующем виде [4]:

$$F(x, y, \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x + t \cos \theta, y + t \sin \theta) dt,$$

где  $f$  - функции по прямой, проходящей через пиксель  $x, y$  в направлении  $\theta$ .

Результат работы разработанного алгоритма выделения первичных волн с помощью преобразования Радона показан на рис. 1.

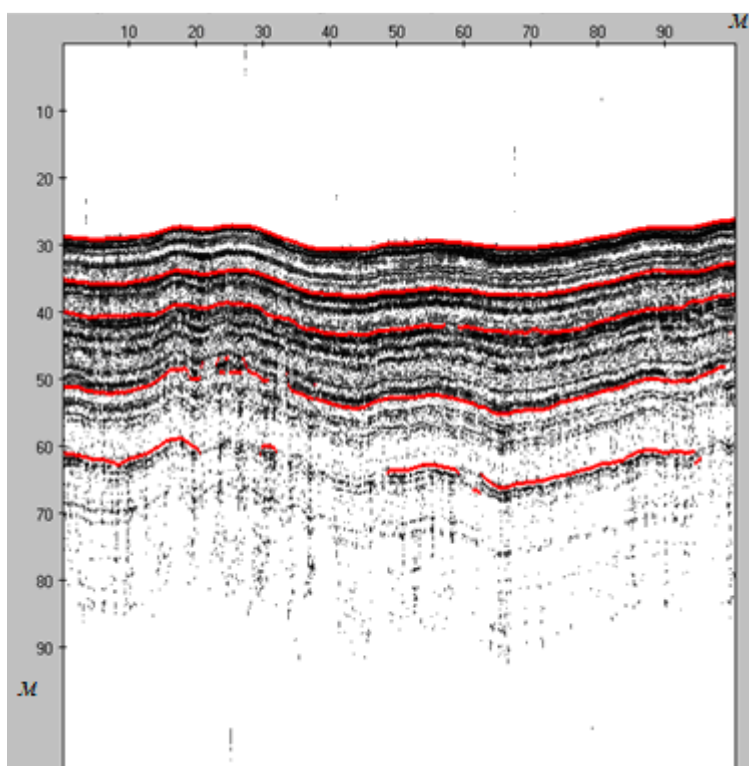


Рис. 1 – Выделение первичных волн в профилограмме

Акустическая трасса  $y_j(t)$  может быть получена как результат свертки зондирующего импульса  $s(t)$  с импульсом отклика среды:

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

где  $s_j(t)$  - значение цифровых выборок зондирующего импульса, приведенного к границе раздела вода - донные осадки;

$r_{nj}$  - относительные значения амплитудных коэффициентов отражения для  $n$ -го слоя.

Импульсный отклик среды  $r_{nj}$  в нормированной акустической трассе представляет

собой последовательность относительных коэффициентов отражения в слоистой среде.

Получение значений  $r_{nj}$  является основой для вычисления значений кажущейся плотности  $p_{nj}$  по разрезу донного грунта. При вычислении значений  $p_{nj}$  используется геоакустическая модель среды, разработанная применительно к рыхлым водонасыщенным грунтам [5, 6]:

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

где  $p_{n-1,j}$  - значения кажущейся плотности для слоя с номером  $(n-1)$ .

В работе [7] введено понятие абсолютного коэффициента отражения слоя, определяемого по формуле:

$$R_{nj} = (\rho_{nj}c_{nj} - \rho_0c_0)/(\rho_{nj}c_{nj} + \rho_0c_0),$$

где  $c_{nj}$  - скорость звука в  $n$ -м слое;

$\rho_0, c_0$  - плотность и скорость звука в воде соответственно.

Значения  $R_{nj}$  на этапе анализа и принятия решения о типе донного грунта служат для формирования границ раздела в толще грунта между разнородными литологическими классами. При этом используются сведения, полученные в результате экспериментальных исследований.

Для уточнения типа донного грунта в слоях, выделенных по результатам анализа распределений по разрезу значений  $R_{nj}$ , используются значения коэффициентов затухания  $\beta_{nj}$ . Предложен метод классификации материалов донного грунта по коэффициенту затухания акустических сигналов, который позволяет повысить точность определения слоистой структуры дна и классифицировать донные осадки [8].

Задача восстановления закона затухания достигается тем, что для вычисления взаимной корреляционной функции используется сигнал с заранее известным законом затухания. Путем подбора закона затухания для различных материалов осадочных пород достигается максимум автокорреляционной функции. Полученный максимум позволяет определить состав грунта в данном слое осадочных пород.

Интервальные значения акустической восприимчивости и шероховатости, получаются из следующих соотношений:

$$b_{ij} = N_{ij},$$

$$W_{ij} = |N_{ij} - \bar{N}_{ij}|/N_{ij},$$

где  $b_{ij}$  и  $W_{ij}$  соответственно интервальные значения коэффициентов акустической восприимчивости и шероховатости;

$N_{ij}$  - количество акустических границ в  $i$ -м интервале.

$\bar{N}_{ij}$  - среднее значение количества акустических границ.

Оценку предельной относительной погрешности формулы (1) можно вывести, исходя из оценки предложенной геоакустической модели донного грунта в предположении, что скорость звука в слое равна 1500 м/с. Если действительные скорости принимают значения в интервале 1400-1550 м/с, то предельная погрешность:

$$\varepsilon = \frac{|c_0 - c_n|}{c_0} \cdot 100\% = [3 \dots 6]\%,$$

где  $c_n \in [1400 - 1550]$  м/с.

Разработана и описана методика определения коэффициентов отражения и энергетических потерь на основе анализа интенсивности акустического поля, возникающего при отражении. С помощью набора этих признаков в каждый фиксированный момент времени создаются определенные предпосылки для определения взаимного положения акустического луча и донной поверхности, что может быть использовано при учете влияния качки судна на выполняемые измерения.

Входной импеданс системы слоев может быть найден по формуле:

$$Z_{ex}^n = \frac{Z_{ex}^{n-1} - jZ_n \operatorname{tg}(k_n d_n)}{Z_n - jZ_{ex}^{n-1} \operatorname{tg}(k_n d_n)} Z_n,$$

где  $Z_j = \rho_j c_j$  – импеданс  $j$ -го слоя;

$Z_{ex}^n$  – входной импеданс  $n$ -слойного дна на границе  $n$ -го и  $(n-1)$ -го слоя;

$k_n = \frac{2\pi}{\lambda_n}$  – волновое число.

Импеданс слоя может быть определен из соотношения:

$$Z_n = \rho_n c_n = Z_{n+1} \frac{1 + R_{n+1,n}}{1 - R_{n+1,n}},$$

где  $Z_n$  – импеданс  $n$ -го слоя;

$R_{n+1,n}$  – коэффициент отражения на границе  $(n+1)$ -го и  $n$ -го слоев.

При использовании корреляционного анализа результатов этих алгоритмов и основываясь на статистических методах анализа информации, можно стратифицировать и определять акустические свойства донных осадков с большой вероятностью. В работе [9] были выведены формулы для оценки точности вычисления толщины слоя. Результат обработки профилограммы с помощью разработанных алгоритмов представлен на рис. 2.

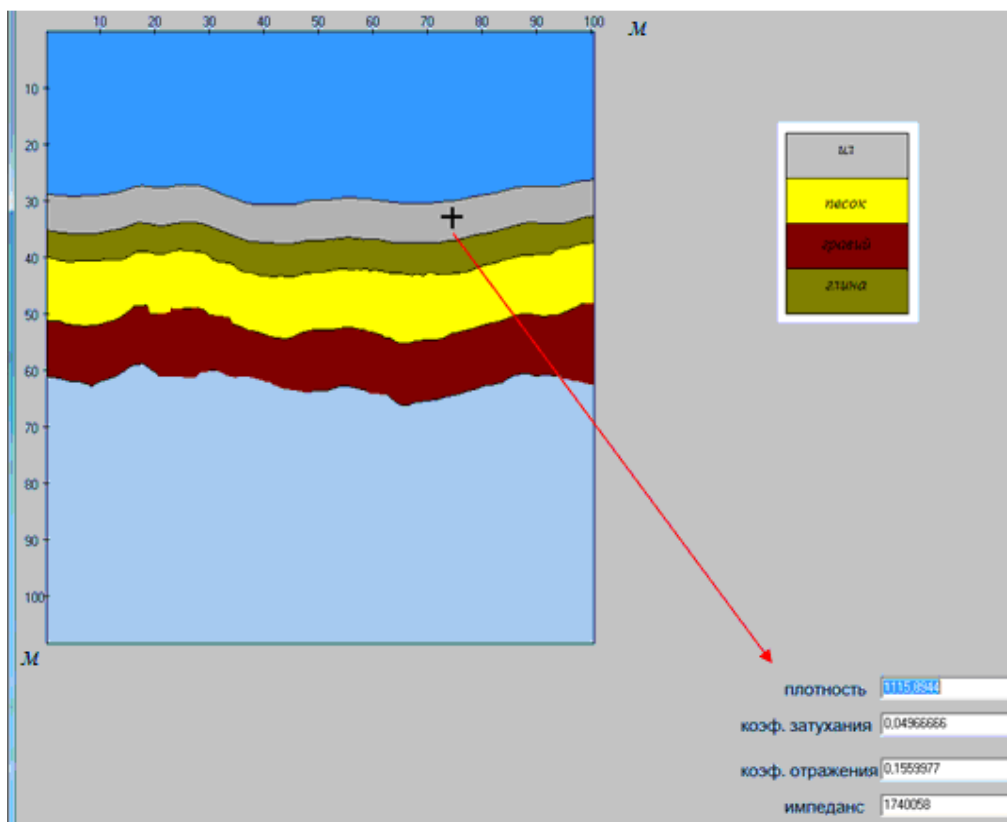


Рис. 2 – Стратификация донных отложений

Таким образом, разработанные алгоритмы обработки информации, полученной при исследовании дна акваторий с помощью профилографа, для водонасыщенных грунтов позволяют по отраженному сигналу:

- устранять кратные волны в реальных профилограммах;
- определять:
  - коэффициент затухания акустической энергии в слое;
  - плотность донных отложений;
  - коэффициент восприимчивости и шероховатости;
  - акустический импеданс;
  - интегральный коэффициент отражения.

Разработанные на основе статистических методов и корреляционного анализа полученной информации и представленные в статье алгоритмы позволяют стратифицировать и определять акустические свойства донных осадков с большой вероятностью. Это дает возможность достаточно быстро и производительно исследовать дно акваторий на всех этапах геолого-разведочных работ: при поиске и разведке морских месторождений полезных ископаемых, анализе грунтов под строительство инженерных сооружений и коммуникаций.

Дальнейшим направлением исследований является разработка алгоритмов определения скорости звука в произвольном слое донных отложений, что позволит повысить достоверность стратификации.

## Литература

1. Гидроакустические методы и средства исследования дна Мирового океана : [монография] / А.И.Гончар, О.С.Голод, А.К.Должиков, Л.И.Шлычек. – Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины, 2002. – 222 с.

2. Уильямсон Д. Кратные волны и их подавления / D. Williamson. – Тюмень: GEFOGA, 2001. - 369 с.
3. Шилов Р.Д. Особенности выделения слоев донного грунта по результатам профильной грунтовой съемки / Шилов Р.Д. // Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану). – 2007. - № 4. – С. 78-84
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р.Гонсалес, Р.Вудс. - М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
5. Свечников А.И. Обобщенная модель донного грунта при гидрографических задачах / Свечников А.И. // Навигация и гидрография. – 1998. - №6. – С. 65-68
6. Смит Д.Т. Акустические и механические свойства осадков : (книга Акустика морских осадков) под ред. Л. Хэмптона; пер. с англ. Под ред. Житковского Ю.Ю. - М.: Мир, 1977. - С. 47-65
7. Акустика океана / под ред. Л.М. Бреховских. – М.: Наука, 1974. – 696 с.
8. Гончар А.И. Алгоритмы обработки профілограм / А.И. Гончар, С.Г. Федосеєнков, Л.І. Шундель, О.І. Шундель // Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану). – 2010. - № 7. - С. 118-122
9. Шилов Р.Д. Потенциальная точность измерения толщины слоистых сред / Шилов Р.Д. // Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану). – 2005. - № 2. – С. 110-114

*Стаття надійшла до редакції 10 листопада 2011 р. російською мовою*

**© А.И. Гончар, С.Г. Федосеєнков, О.І. Шундель**  
**АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДИСТАНЦІЙНОЇ**  
**ПРОФІЛЬНОЇ ГРУНТОВОЇ ЗЙОМКИ МОРСЬКОГО ДНА**

У статті розглянуто загальну схему обробки інформації гідроакустичного профілографа за допомогою розроблених алгоритмів. Показані результати обробки реальної профілограми з пошаровою класифікацією донних відкладів до літологічних класів.

**© Anatoly I. Gonchar, Sergey G. Fedoseenkov, Alexey I. Shundel**  
**ASPECTS OF THE TECHNOLOGY OF THE AUTOMATED**  
**REMOTE PROFILE DIRT SHOOTING SEABED**

The article considers the General scheme of processing of the information hydroacoustic profilograph with the help of the developed algorithms. Shows the results of processing of the real profilograph program with layer-by-layer classification of bottom sediments on lithological classes.