

## О ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В МЕЛКОМ МОРЕ

*Журавлев В. А., Зарубин В. Н., Соцнев О. Я.*

При исследовании распространения взрывных сигналов в одном из мелководных районов Мирового океана было обнаружено наличие максимума коэффициента затухания звукового поля на низкой частоте. Эксперименты проводились в условиях придонного звукового канала, что позволило предположить определяющую роль морского дна в формировании частотной зависимости затухания. Исходя из этого предположения, была предпринята попытка получить аналогичную теоретическую зависимость, основываясь на результатах специальных комплексных геологических исследований дна, проводившихся в районе эксперимента. Эти геологические исследования выявили сложный слоистый характер донных отложений, дали информацию об акустических свойствах осадков и позволили построить геоакустическую модель дна, близкую к одной из обобщенных моделей мелководного района [1], в которой скорость звука в верхнем слое осадочных отложений меньше, чем в лежащей выше водной толще. В работе [2] было показано, что в таких условиях возможно появление аномалии потерь при отражении.

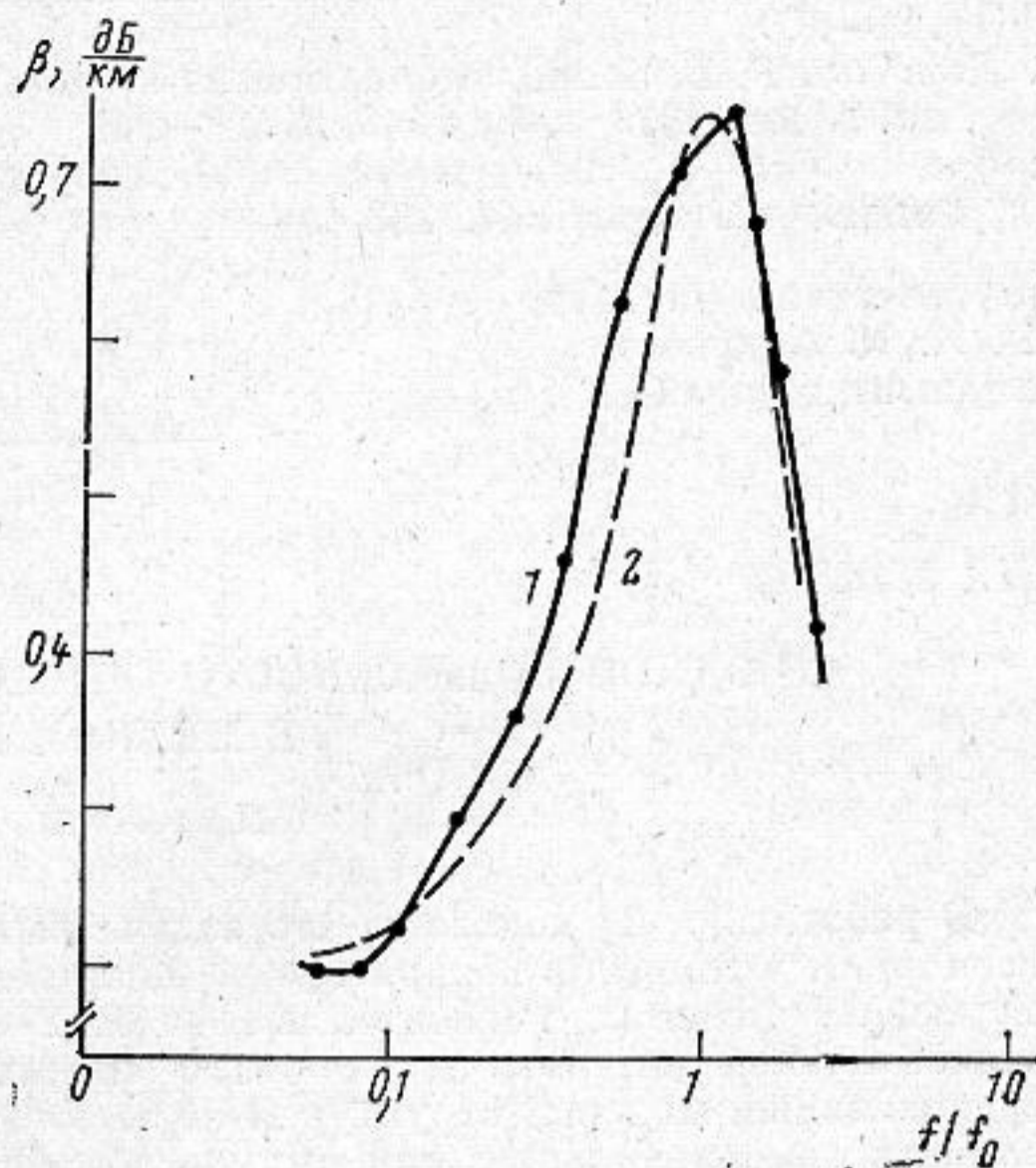
На фигуре представлены экспериментальная и теоретическая зависимости коэффициента затухания звука в районе исследований. Расчеты проводились с использованием геоакустической модели, параметры которой приведены в таблице.

В числителе дробей — размах значений параметров, а в знаменателе — средние значения, при которых была получена теоретическая кривая. Грунт интерпретировался как система жидких поглощающих слоев, лежащих на жидком поглощающем полупространстве. Источником исходных данных о коэффициенте поглощения служили работы [3, 4].

На основе модели были выполнены расчеты частотных зависимостей коэффициента отражения от дна. Величины коэффициентов отражения затем пересчитывались в значения коэффициентов затухания звукового поля на основе лучевых представлений [5].

Подбором параметров модели дна в пределах имевшейся неопределенности их значений было получено удовлетворительное соответствие экспериментальной и теоретической частотных зависимостей коэффициента затухания звукового поля. Полученные при подборе величины поглощения в слоях могут рассматриваться как оценки реально существующих параметров. В ходе геологических исследований такой информации получено не было.

Результаты расчета показали, что наличие максимума в частотной зависимости затухания звука может быть объяснено существованием тонкого приповерхностного водонасыщенного слоя осадков, в котором продольная скорость звука меньше, чем



Частотная зависимость коэффициента затухания звука  $\beta$  дБ/км: 1 — экспериментальные значения, 2 — теоретическая кривая,  $f_0$  — резонансная частота верхнего слоя осадков

Источником исходных данных о коэффициенте поглощения служили работы [3, 4].

### Физико-механические параметры осадочных слоев модели

Тип осадка	Размер преобладающих частиц, мм	Песок, %	Алеврит, %	Глина, %	Мелкий гравий, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пористость, кг/м <sup>3</sup>	Скорость продольных волн, м/с	Коэффициент поглощения продольных волн 3,4
Глинистый ил	Мельче 0,01 (более 70%)	1	20	79	—	1350—1620 1450	62,7—80,7 71,7	1370—1431 1400	0,0006—0,01 0,001
Алевритово-глинистый ил	Мельче 0,01 (менее 70%)	15	40	40	5	1640—1970 1900	41,4—64,7 50,1	1450—1642 1550	0,001—0,02 0,01
Суглинки	Мельче 0,01 (менее 70%)	15	40	40	5	1770—2140 1950	33,7—52,5 42,0	1550—1800 1700	0,001—0,025 0,025

скорость звука в лежащей выше водной толще. Тем самым резонансное поведение коэффициента затухания в условиях существования придонного звукового канала позволяет судить о скоростной характеристике верхнего осадочного слоя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гамильтон Э. Л. Геоакустические модели морского дна.— В кн.: Акустика морских осадков/Под ред. Хэмптона Л. Пер. с англ. Бунчука А. В. и Копыла Е. А. М.: Мир, 1977, с. 176—210.
2. Хаструп О. Ф. Аномалии потерь при отражении вблизи малых углов скольжения и их влияние на распространение в мелком море.— В кн.: Акустика дна океана/Под ред. Купермана У. и Енсена Ф. Пер. с англ. Житковской Э. В. и Захлестина А. Ю. М.: Мир, 1984, с. 101—114.
3. Абакумова Н. К., Галкин О. П. Угловая зависимость коэффициента отражения от дна для различных типов морских осадков.— Вопр. судостроения, 1980, вып. 14, с. 90—100.
4. Hamilton E. L. Sound attenuation as a function of depth in the sea floor.— J. Acoust. Soc. Amer., 1976, v. 59, № 3, p. 528—535.
5. Бреховских Л. М., Лысанов Ю. П. Теоретические основы акустики океана. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 263 с.

Акустический институт  
им. Н. Н. Андреева  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
18.XII.1984

УДК 534.231.2

## ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСИИ МОД В МЕЛКОМ МОРЕ

Иванова Г. К.

В работах [1, 2] показано, что задача выделения мод, возбужденных тональным источником в слоистой водной среде, может быть решена с помощью линейной горизонтальной антенны. Рассчитанные в [1, 2] диаграммы направленности линейной горизонтальной антенны в слоистых средах имеют многолепестковый характер, обусловленный модовой структурой звукового поля. Появление в диаграмме направленности дополнительных максимумов объясняется тем, что каждой моде звукового поля соответствует свой фазовый сдвиг сигналов между элементами антенны. Это приводит к тому, что каждая мода ведет себя как отдельный источник, расположенный по отношению к антенне под углом, отличным от истинного. Разрешение отдельных мод возможно в том случае, если угловая ширина диаграммы направленности антенны меньше разности волновых чисел соседних мод, выраженной в угловых единицах [2]. Положение максимумов в диаграмме направленности антенны, вызванных разрешаемыми модами, зависит от величины волновых чисел мод, которые в свою очередь зависят от частоты излучения. Отсюда следует возможность определения дисперсии мод путем измерения положения максимумов диаграммы направленности на разных частотах излучения. Одновременное измерение частоты излучения и положения максимума (волнового числа моды) может быть осуществлено с помощью метода пространственно-временного спектрального анализа сигналов с элементов линейной антенны, хорошо известного в радиолокации [3] и применяемого также в акустике [4]. Метод заключается в одновременном рассмотрении сигналов со всех элементов антенны в течение конечного временного интервала. Такая совокупность данных может быть представлена как двумерная функция, одной из координат которой является время, другой — пространственная координата, номер элемента антенны. Двумерный фурье-анализ такой пространственно-временной функции позволит определить волновые числа мод и частоту излучения источника. С помощью изменения частоты или используя шумовой источник можно измерить частотную зависимость (дисперсию) мод. Анализу потенциальных возможностей такого метода определения дисперсии мод и посвящена настоящая работа.

Рассмотрим линейную горизонтальную антенну, помещенную в слоистую водную среду. Примем, что антенна ориентирована вдоль оси  $y$  и является непрерывной с постоянной чувствительностью по длине  $L$ . Предположим, что источник монохроматического излучения находится в дальней зоне антенны. Тогда звуковое давление на участке антенны, расположенном на расстоянии  $y$  от ее центра, с учетом модовой структуры поля запишется следующим образом [5]:

$$s(y, t) = \sum_{m=1}^M P_m \exp[i(\omega t + \kappa_m y \sin \theta - \kappa_m r_0)]. \quad (1)$$

Здесь  $P_m$  — амплитуда моды  $m$ , зависящая от глубины погружения излучателя и антенны,  $\kappa_m$  — горизонтальная компонента волнового числа,  $\theta$  — угол между направле-