АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1995, том 41, № 4, с. 636 - 637

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.21

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В МЕЛКОМ МОРЕ

© 1995 г. А. И. Белов, В. И. Шацких

Акустический институт им. Н.Н. Андреева
Северный филиал
184600 Североморск, ул. Почтовая, 3

Поступила в редакцию 16.11.94 г.

Экспериментальное исследование распространения сигналов с линейной частотной модуляцией проводилось в мелководном районе с глубиной места 225 ± 3 м. Целью эксперимента являлось определение характеристик отдельных нормальных волн и разработка на основе этих данных геоакустической модели верхней части донных отложений.

Измерения проводились с использованием двух судов, дистанция между которыми составляла 26.3 км. Зондирующие импульсы формировались с помощью высокостабильного цифрового генератора сложных сигналов. Длительность импульса равнялась 10 сек, в течение которых частота излучения менялась от 20 до 400 Гц. Глубина излучения составляла 75 м, а прием сигналов производился на два гидрофона, размещенных на глубинах 60 и 146 м. При проведении эксперимента на судах использовалась система единого времени (СЕВ), импульсы которой служили для синхронизации импульсов запуска задающего генератора на судне-излучателе и цифровой регистрации на судне-приемнике. Кроме того импульсы СЕВ записывались на служебный канал магнитографа при аналоговой регистрации принятых сигналов.

В процессе обработки вычислялись функции взаимной корреляции (ВКФ) принятых сигналов с излученным в различных частотных полосах [1]. Ширина полосы для каждой центральной частоты выбиралась минимально возможной для уверенного разрешения максимумов ВКФ, соответствующих приходам нормальных волн низких номеров. В итоге надежно выделить три первые нормальные волны удалось лишь в диапазоне 20 - 56 Гц, при этом ширина полосы была близка к октаве. Использование СЕВ позволило определить абсолютные времена распространения этих нормальных волн и их групповые скорости v_g в зависимости от частоты f.

Очевидно, что в мелком море характеристики нормальных волн зависят от акустических свойств морского дна. Вместе с тем различные параметры донных отложений по разному влияют на те или иные характеристики нормальных волн. В частности значения групповых скоростей в первую очередь зависят от вертикального распределения скорости продольных волн c_p и поэтому могут быть использованы для нахождения этого распределения. Параметры дна, отвечающие за поглощение акустических волн, целесообразнее определять по коэффициентам затухания нормальных волн. В связи с тем, что в нашем распоряжении имелась всего одна точка по дистан-

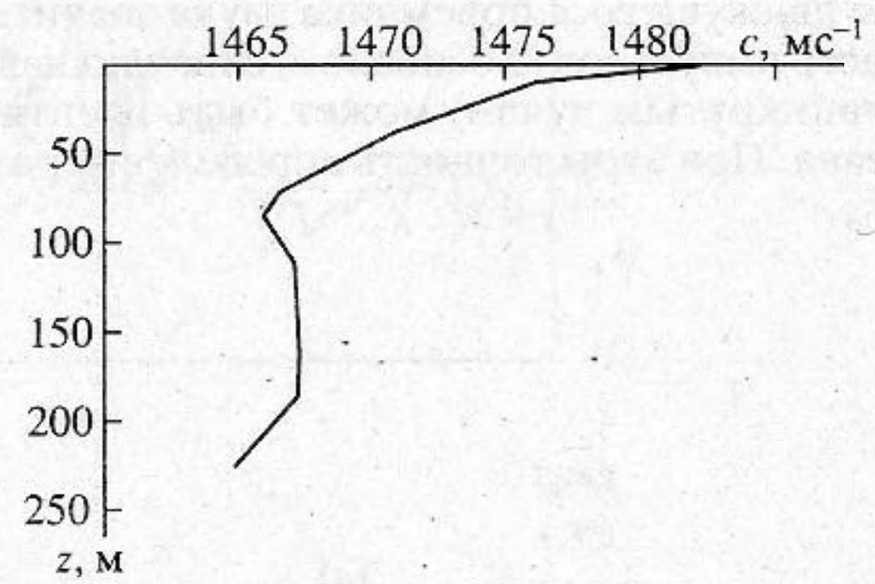

Рис. 1. Вертикальное распределение скорости звука в воде.

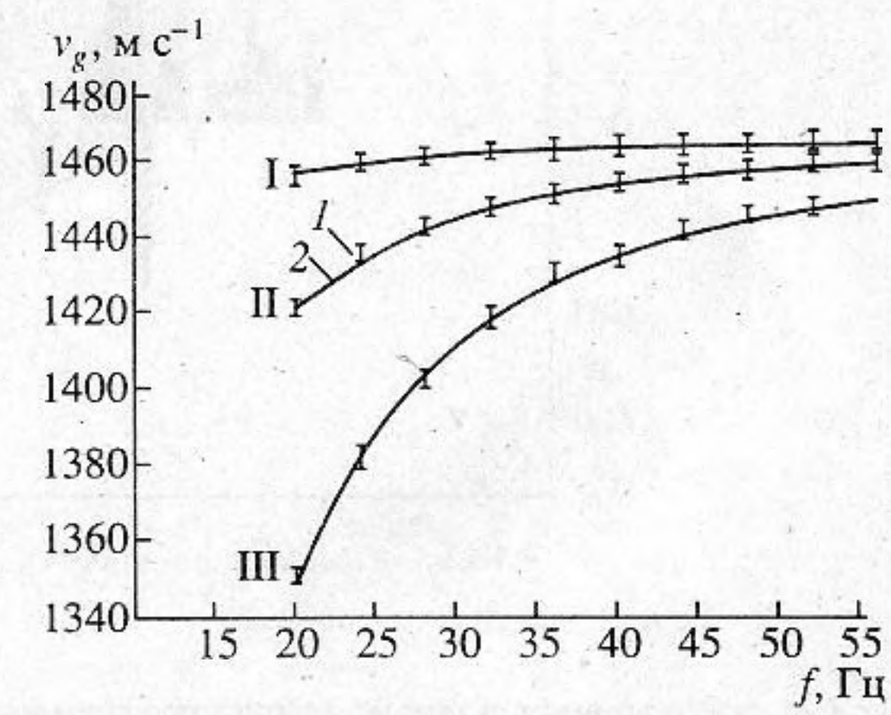

Рис. 2. Зависимости групповых скоростей первых трех нормальных волн от частоты: кривые I, II, III – соответствуют первой, второй и третьей нормальным волнам, *1* – экспериментальные данные, *2* – теоретический расчет.

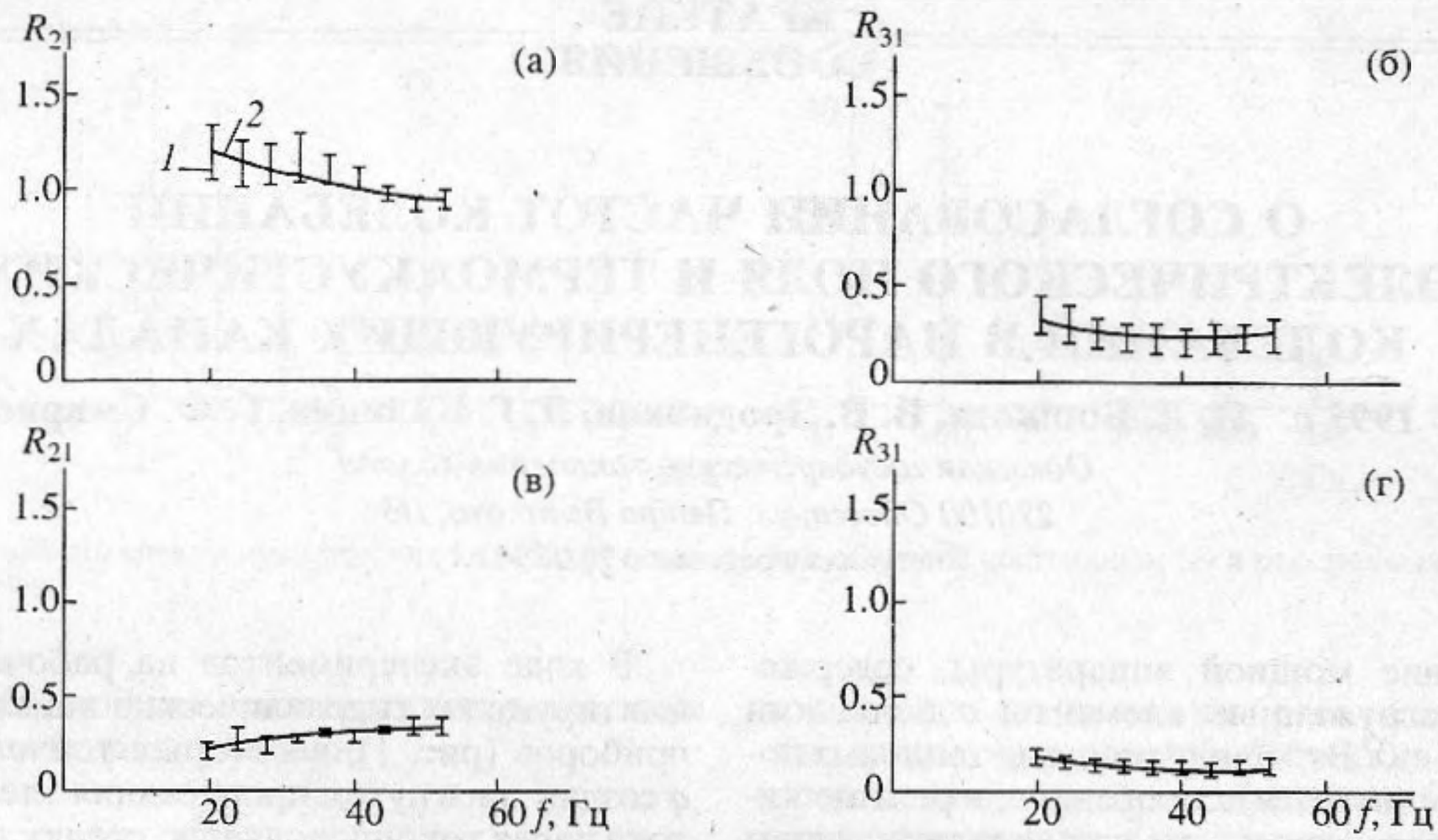

Рис. 3. Частотные зависимости относительных амплитуд второй и первой (R_{21}) и третьей и первой (R_{31}) нормальных волн: а, б – глубина приема 60 м; в, г – глубина приема 146 м; *1* – экспериментальные данные, *2* – теоретический расчет.

ции, где удалось разделить нормальные волны, определить коэффициенты затухания нормальных волн оказалось невозможно. Поэтому для оценки декрементов поглощения продольных волн δ_p было решено воспользоваться методом, предложенным в работе [2]. Метод основан на использовании для этих целей частотных зависимостей отношения амплитуд разных нормальных волн. Экспериментальные оценки отношения амплитуд второй и первой нормальных волн R_{21} и третьей и первой нормальных волн R_{31} были получены для двух глубин приема. Однако результаты численного моделирования показали, что на значения относительных амплитуд нормальных волн значительно большее влияние оказывают вариации плотности ρ морских осадков. Это влияние настолько значительно, что для оценки декрементов поглощения полученных экспериментальных данных оказалось явно недостаточно. В связи с этим при определении акустических параметров дна оценивались только величины скорости продольных волн и плотности.

Значения этих параметров были получены путем подгонки экспериментальных и рассчитанных характеристик нормальных волн. Все расчеты выполнялись с помощью программы, алгоритм которой изложен в работе [3], с учетом зарегистрированного в ходе эксперимента и представленного на рис. 1 вертикального распределения скорости звука в воде.

В результате была получена модель дна в виде слоя, лежащего на полупространстве. Толщина слоя равняется 35 м, плотность $\rho = 1.9$ г/см^3, скорость продольных волн $c_p = 1640$ м/с. Полупространство характеризуется следующими параметрами: $\rho = 2.2$ г/см^3, $c_p = 2400$ м/с.

На рис. 2 представлено сопоставление экспериментальных и теоретических зависимостей групповых скоростей первых трех нормальных волн от частоты. Вертикальные размеры отрезков, которыми показаны экспериментальные данные, равны удвоенной величине среднеквадратичного отклонения. Сравнение экспериментальных и теоретических частотных зависимостей относительных амплитуд нормальных волн показано на рис. 3. Как можно видеть теоретические кривые не выходят за пределы погрешностей измерений во всем частотном диапазоне.

В заключение можно отметить, что полученные значения c_p и ρ не противоречат известным регрессионным зависимостям, связывающим плотность и скорость продольных волн [4]. Это говорит о перспективности использования низкочастотных частотно-модулированных сигналов для акустической томографии морского дна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белов А.И., Мазаников А.А., Шацких В.И.* Исследование дисперсионных характеристик гидроакустического волновода с помощью низкочастотных частотно-модулированных сигналов // Тез. докл. науч.-тех. конф. "Проблемы метрологии гидрофизических измерений". М.: НПО "ВНИИФТРИ", 1992. С. 50 - 51.
2. *Tindle C.T.* Attenuation parameters from normal mode measurements // J. Acoust. Soc. Amer. 1982. V. 71. № 5. P. 1145 - 1148.
3. *Белов А.И.* Способ численной оценки звукового поля в волноводе с поглощающим дном // Судостроит. пром-ть. Сер. Акустика. 1989. Вып. 4. С. 30 - 36.
4. *Hamilton E.L.* Geoacoustic modeling of the sea floor // J. Acoust. Soc. Amer. 1980. V. 68. № 5. P. 1313 - 1340.