

4. Фок В. А. Теория дифракции от параболоида вращения.— В кн.: Дифракция электромагнитных волн на некоторых телах вращения. М.: Сов. радио, 1957.
5. Клещев А. А. Рассеяние звука упругой сжатой сферической оболочкой.— Акуст. журн., 1975, т. 21, № 6, с. 938—940.

Ленинградский кораблестроительный институт

Поступило в редакцию
5.V.1985

УДК 534

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ЗВУКА В СЛОИСТОМ ДНЕ

Кравцов Ю. А., Петников В. Г., Сабиров О. И.,
Шмелев А. Ю.

Частотная зависимость коэффициента поглощения звука измерялась при зондировании океана с помощью широкополосных взрывных источников. Во время экспериментов корабль начинал движение в сторону стационарно установленного на дне приемного гидрофона с расстояния порядка 300 км. По ходу движения производились подрывы зарядов с эквивалентной массой $\approx 0,4$ кг через каждые 8 км на двух глубинах $z=50$ и $z=100$ м. Длительность принимаемых сигналов составляла ≈ 2 с. Опыты были проведены для двух различных трасс, каждая длиной ≈ 150 км.

Параллельно с зондированием осуществлялись гидрологические измерения, нацеленные на получение глубинных профилей скорости звука. Типичные профили скорости звука приведены на фиг. 1. Для такой зависимости скорости звука c от глубины z характерно придонное распространение акустических сигналов, сопровождающееся сильным поглощением звука в дне. Кроме измерения профилей $c(z)$, проводились эхолотные промеры рельефа дна вдоль пройденных трасс. Эти рельефы изображены на фиг. 1.

Обработка принимаемых сигналов сводилась к их спектральному анализу с частотным разрешением 0,5 Гц. Анализ показал, что основные энергонесущие составляющие в спектре сигнала сосредоточены в диапазоне частот 40÷200 Гц. На основе полученных данных были построены кривые зависимости величин $B_f = 20 \lg(A_f/A_{of}) + 10 \lg(r/r_0)$ от расстояния r до точки приема для отдельных спектральных составляющих A_f . Здесь A_{of} — спектральные составляющие сигнала, принятого с минимального расстояния $r_0 \approx 150$ км. Спектральные составляющие выбирались с интервалом 10 Гц в указанном диапазоне частот. Для сглаживания пространственных интерференционных биений у получаемых кривых амплитуда каждой спектральной составляющей усреднялась по пяти соседним частотным точкам, т. е. вычислялась средняя амплитуда в полосе 2,5 Гц.

Кривые зависимости $B_f(r)$, отражающие только поглощение звука в гидроакустическом волноводе и не зависящие от расхождения фронта звуковых волн, были подвергнуты линейной аппроксимации по методу наименьших квадратов [7]. По тангенсам углов наклона полученных прямых были определены коэффициенты поглощения звука β на различных частотах для двух трасс.

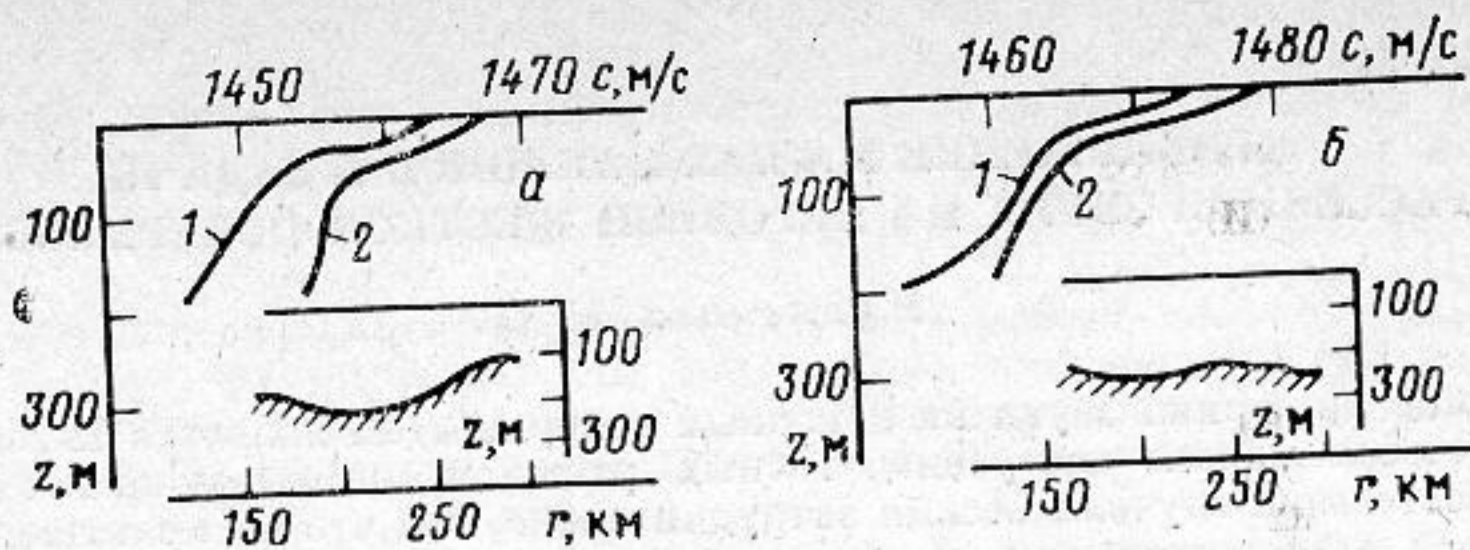
Результаты вычислений представлены на фиг. 2 в виде кружочков. Заштрихованные области дают представление о точности определения коэффициентов β с достоверностью 90%.

Анализ кривых позволил выделить частоты, отличающиеся аномально высоким значением коэффициента поглощения. По трассе 1 — это частоты 150 Гц (глубина подрыва 50 м) и 130 Гц (глубина подрыва 100 м). По трассе 2 повышенное поглощение наблюдается на частоте 140 Гц при $z=50$ м и на частоте 120 Гц при $z=100$ м.

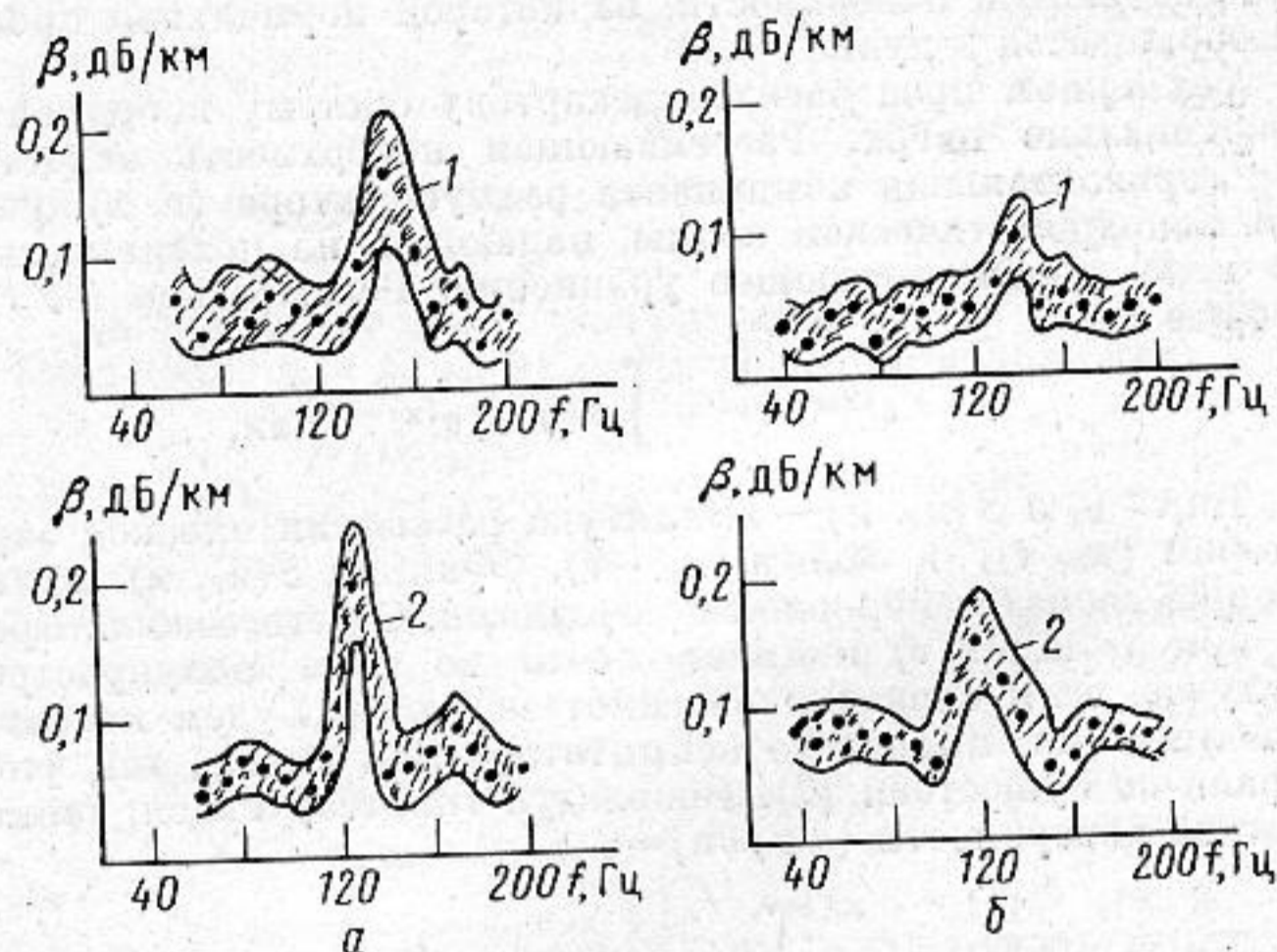
Следует отметить согласие между значениями коэффициента поглощения в описываемых экспериментах и значениями β в экспериментах с тональными сигналами, которые одновременно проводились на тех же трассах. Результаты этих экспериментов опубликованы в работе [1]. На фиг. 2 крестиками обозначены результаты, полученные при буксировке тонального излучателя звука на глубине 50 м.

Возможной причиной аномалий в частном ходе поглощения могут быть интерференционные эффекты в слоистом дне. Для условий отрицательной рефракции (см. профили $c(z)$ на фиг. 1) характерно придонное распространение волн, характеризующее малыми углами скольжения. При наличии слоя мягких неконсолидированных осадков, в котором скорость продольной волны меньше, чем в воде, могут наблюдаться интерференционные эффекты, приводящие к акустическому просветлению дна. При таком просветлении увеличивается коэффициент прохождения волны через границу вода — осадки и сильно возрастают общие потери при распространении. Такой резонансно-интерференционный эффект неоднократно обсуждался в литературе [2—6], однако убедительных экспериментальных свидетельств существования эффекта, насколько нам известно, получено не было.

Трудным для объяснения является вопрос о положении максимума поглощения на оси частот. Зафиксированное на фиг. 2 различие в положении этого максимума при подрывах на глубинах $z=50$ и 100 м вряд ли можно отнести за счет погрешностей измерения. Можно высказать предположение, что различие связано с не-



Фиг. 1. *a* — профили скорости звука и рельеф дна для трассы 1. 1, 2 — профили скорости звука на расстояниях 267 и 204 км от приемного гидрофона соответственно; *b* — профиль скорости звука и рельеф дна для трассы 2. 1, 2 — профиль скорости звука на расстояниях 305 и 270 км от приемного гидрофона соответственно



Фиг. 2. Зависимость коэффициента поглощения звука β от частоты трассы 1 — *a* и для трассы 2 — *b*. Кривые 1, 2 относятся к глубинам подрыва 50 и 100 м соответственно

одинаковым характером возбуждения нормальных волн в волноводе при подрывах на разных глубинах и с неодинаковым резонансным поглощением этих волн в слоистом дне.

Что же касается различий между кривыми $\beta(f)$ на двух трассах, то они могут быть связаны с неодинаковым строением дна.

Полученные данные о поглощении лишней раз указывают на сложный характер взаимодействия звука с дном в условиях придонного распространения. Локализация резонансных участков позволила бы получить дополнительные данные о слоистой структуре дна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бункин Ф. В., Быстров В. П., Вавилин А. В. и др. Энергетические и спектральные характеристики инфразвуковых сигналов в мелком море. — Тез. докл. X Всесоюз. акуст. конф. М.: АКИН, 1983, секция Д, с. 48–51.
2. Агеева Н. С., Крупин В. Д. Модальные коэффициенты затухания в мелком море при различных скоростях продольных волн в осадочном слое. — Тез. докл. X Всесоюз. акуст. конф. М.: АКИН, 1983, секция Д, с. 9–12.
3. Агеева Н. С., Крупин В. Д. Влияние дна на формирование звукового поля в мелком море. — Акуст. журн., 1980, т. 26, № 2, с. 161–166.
4. 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. М.: Мир, 1984, с. 101.
5. Аллен Дж. Изменчивость потерь при распространении в мелкой воде. — В кн.: Акустика дна океана/Под ред. Купермана У. и Енсена Ф. М.: Мир, 1984, с. 300.
6. Эйкал Т. Влияние морского дна на распространение звука в мелком море. — В кн.: Акустика дна океана/Под ред. Купермана У. и Енсена Ф. М.: Мир, 1984, с. 367.
7. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента М.: Наука, 1971, с. 192.

Институт общей физики
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
29.V.1985