

УДК 534.883

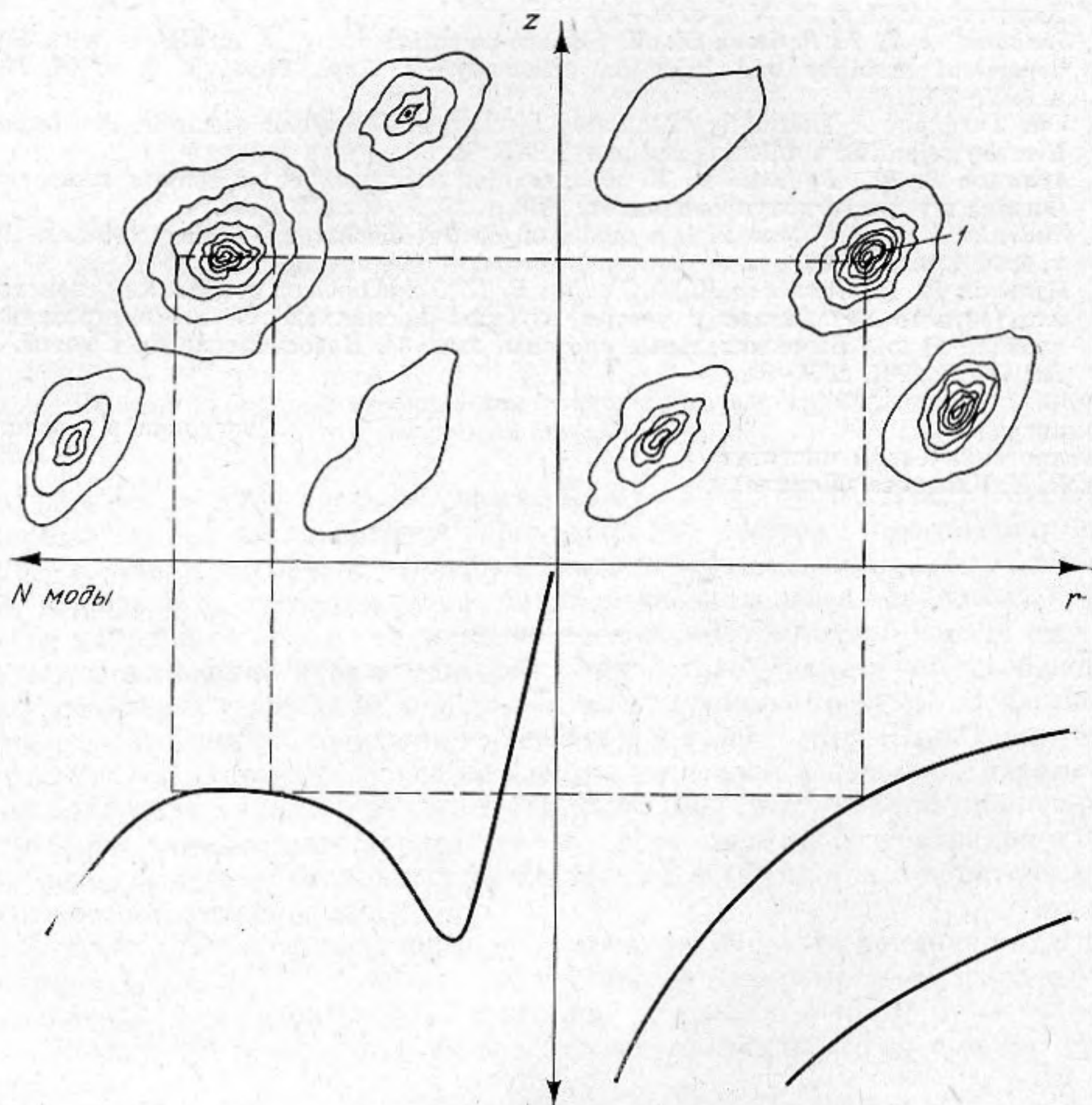
О МОДОВОЙ СТРУКТУРЕ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ
ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА В СЛОИСТОМ ОКЕАНЕ

Кулаков В. Н., Мальцев Н. Е.

В работе содержится развитие интерпретации горизонтального разреза звукового поля, позволяющей идентифицировать максимумы интенсивности поля как результат синфазного сложения мод соответствующих номеров.

Понятие о конструктивной интерференции нормальных волн использовалось в работе [1] для объяснения соответствия между лучевым и волновым описанием звукового поля, создаваемого точечным источником в слоистом океане. Так было получено соотношение

$$\xi_{n-1} - \xi_n = 2\pi m / D_n \quad m, n = 1, 2, 3, \dots, \quad (1)$$

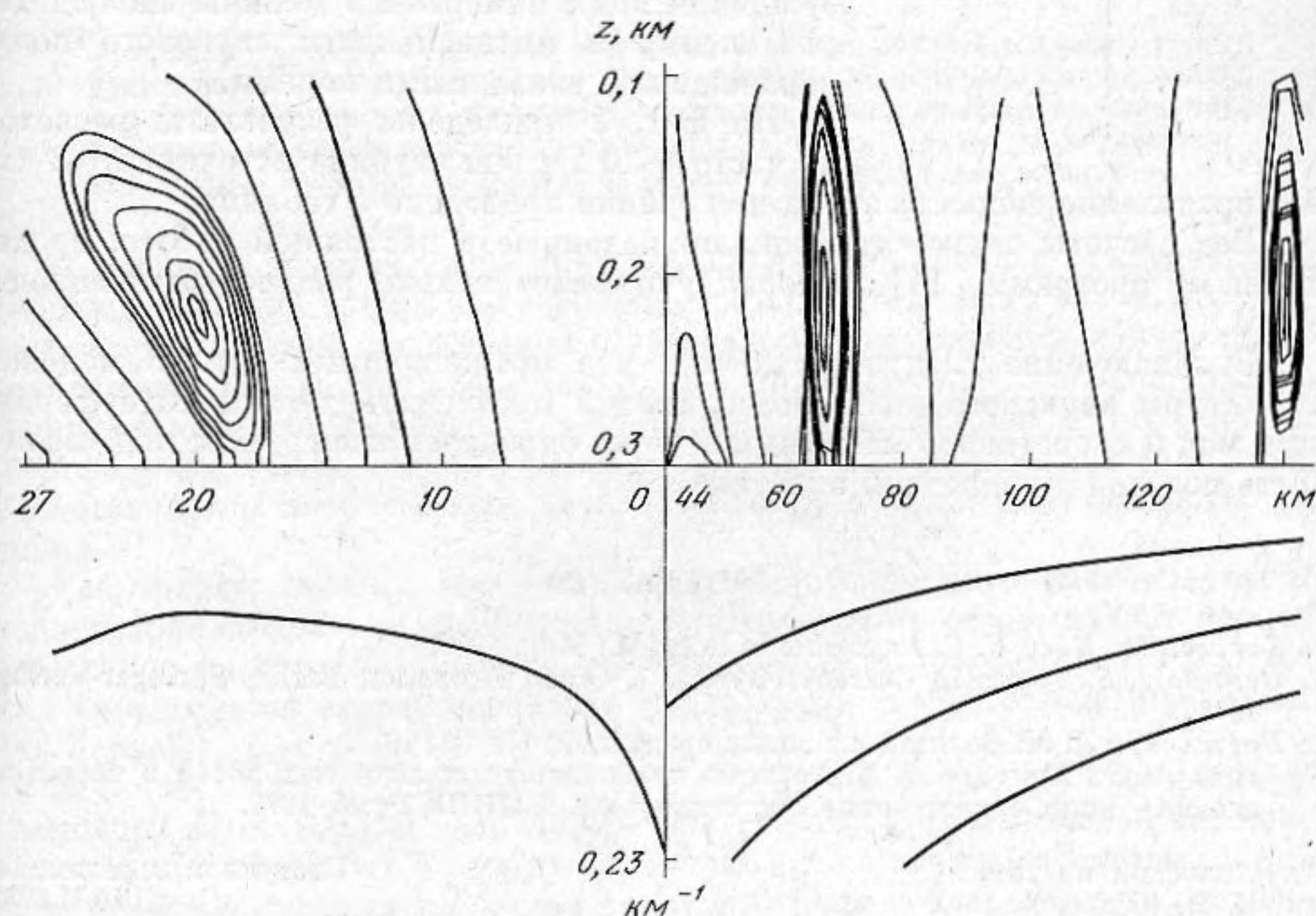


Фиг. 1. Элементы структуры звукового поля в слоистом океане

связывающее горизонтальные компоненты волновых чисел нормальных волн ξ_n с длиной цикла D_n луча, соответствующего моде с номером n . Позднее в работе [2] это соотношение легло в основу интерпретации го-

горизонтального разреза звукового поля, позволяющей идентифицировать максимумы интенсивности поля как результат синфазного сложения мод соответствующих номеров. В настоящей работе упомянутая интерпретация развивается для объяснения полной структуры звукового поля в слоистом океане.

Представленная на фиг. 1 схема иллюстрирует существо предложенного метода. В первом квадранте по горизонтальной оси отложено горизонтальное расстояние от источника r , а по вертикальной — глубина моря. Внутри квадранта изображены изолинии звукового поля. В четвертом квадранте по горизонтальной оси также отложено расстояние от источника, а вниз по вертикали отложена координата с размерностью обратной



Фиг. 2. Элементы структуры звукового поля в слоистом океане. Частота излучения 20 Гц

длины. Кривые на графике в четвертом квадранте представляют функции $2\pi/r$, $4\pi/r$ и т. д., т. е. правые части уравнения (1). В третьем квадранте изображены левые части уравнения (1) как функции номера n . Наконец, во втором квадранте изображены изолинии модуля произведения собственных функций $\varphi_n(z) \cdot \varphi_n(z_0)$ как функции номера (горизонтальная ось) и глубины (вертикальная ось общая с первым квадрантом). Таким образом, на фиг. 1 изображены все элементы структуры звукового поля в слоистом океане, т. е. суммы мод для звукового давления p [3]:

$$p(r, z) \sim \sum \exp\{i\xi_n r\} \varphi_n(z) \cdot \varphi_n(z_0) / (\xi_n r)^{-1/2}, \quad (2)$$

причем функция Ханкеля в этой сумме заменена первым членом асимптотического разложения. Представленная схема иллюстрирует условия конструктивной интерференции [1]. Действительно, рассмотрим какой-либо максимум на изолиниях звукового поля, например, помеченный 1. Следуя за пунктирной прямой вниз в четвертый квадрант, находим точки пересечения этой прямой с кривыми $2\pi m/r$ ($m=1, 2, \dots$), и переходя от этих точек по горизонтальным пунктирным прямым в третий квадрант, находим соответствующие разности волновых чисел, откуда становятся известны номера мод, которые сложатся синфазно на исследуемом расстоянии.

Двигаясь из третьего квадранта во второй по пунктирным прямым, находим точки пересечения этих прямых с горизонтальной прямой, прове-

денной на глубине исследуемого максимума поля. Если на пересечении последних двух прямых имеется максимум $\varphi_n(z)\varphi_n(z_0)$, то можно утверждать, что именно эти моды создали максимум поля на данном расстоянии и данной глубине, так как они сильно возбуждаются и для них выполняется условие (1).

Подобные рассуждения можно привести и в обратном направлении. Величина ξ_n монотонно зависит от n в силу принятой их упорядоченности на вещественной оси, поэтому $\delta(n) = \xi_{n-1} - \xi_n$ есть однозначная функция

Глубина, км	Скорость звука, км/с
0,0	1,54
0,8	1,49
5,0	1,54

номера n . Из соотношения (1) имеем $D_n = D(n) = 2\pi m / \delta(n)$, $n, m = 1, 2, \dots$. На этих расстояниях (D_n) и на глубине максимального возбуждения мод с номерами n должны наблюдаться максимумы интенсивности звукового поля, порождаемые указанными модами.

На фиг. 2 приведены результаты расчетов на частоте 20 Гц при глубине источника 0,2 км.

Распределение скорости звука по глубине приведено в таблице.

Все расчеты звукового поля, приведенные в настоящей работе, проведены по программе [4], которая учитывает только распространяющиеся моды.

В заключение следует отметить, что предложенный анализ модовой структуры звукового поля, позволяющий проследить детали интерференции мод и сопоставить максимумам поля определенные группы мод, может быть полезен в подводной акустике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толстой И., Клей К. С. Акустика океана. М.: Мир, 1969.
2. Desanto J. S. Topics in Current Physics, 7, Ocean Acoustics, Berlin, Springer-Verlag, 1978.
3. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973.
4. Вагин А. В., Мальцев Н. Е. Расчеты низкочастотных звуковых полей в слоистом океане. — Вопр. судостроения. Акустика, вып. 9, ЦНИИ Румб, 1977.

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

Поступила в редакцию
16.II.1982