

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 551.463

© 1990 г.

*В. С. Авербах, Л. Ф. Бондарь, В. Н. Голубев,  
В. Ю. Гольдблат, Л. С. Долин, А. Г. Нечаев, К. Е. Пигалов,  
Г. Е. Смирнов, Е. И. Тумаева*

## ДАЛЬНЯЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ РЕВЕРБЕРАЦИЯ ЗВУКА В ОКЕАНЕ

Согласно существующим теоретическим представлениям [1-3], спектры дальней поверхностной реверберации (ПР) звука<sup>1</sup> при тонально-импульсном зондировании океана и малых значениях параметра Рэля должны иметь вид достаточно узких линий с частотами  $f_i \pm \Delta F$ , где  $f_i$  — частота зондирующего сигнала,  $2\pi\Delta F \approx \sqrt{4\pi g/\lambda} = \sqrt{4\pi g f_i/c}$ ,  $c$  — скорость звука,  $g=9,8$  м/с<sup>2</sup>,  $\lambda$  — длина звуковой волны. Реверберационные линии порождаются гармониками волнения с частотами порядка  $\Delta F$  и пространственными периодами порядка  $\lambda/2$ , одна из которых бежит навстречу зондирующему импульсу (формирует частоту  $f_i + \Delta F$ ), а другая — попутно с ним (формирует частоту  $f_i - \Delta F$ ). Поэтому для анизотропного волнения и приемной системы, обладающей достаточно узкой диаграммой направленности, амплитуды этих линий могут существенно различаться. В частности, при рассеянии звука на развите ветровом волнении и параллельных направлениях ветра и диаграммы направленности в спектре дальней ПР должна присутствовать только одна линия. Ниже приводятся некоторые результаты эксперимента по проверке этой простой модели спектра ПР.

Эксперимент был проведен в феврале-марте 1989 г. в приповерхностном звуковом канале. НИС «Академик Александр Виноградов», находясь в дрейфе (скорость дрейфа была 0,5–1,2 м/с) в зоне берегового шельфа, излучал тонально-импульсные послылки длительностью  $\tau=128$  с и периодом повторения  $T=1024$  с на частоте 228 Гц. Излучатель звука опускался на глубину порядка 40 м. Прием осуществлялся на группу гидрофонов, расположенную горизонтально. За счет фазировки совместно обрабатываемых сигналов на выходе гидрофонов имелась возможность формировать диаграмму направленности в горизонтальной плоскости. По данным синоптических наблюдений, во время проведения измерений приводный ветер на акватории, прилегающей к точке излучения (приема), был направлен к берегу, а его скорость равнялась  $V \approx 10-15$  м/с.

Обработка зарегистрированных сигналов заключалась в получении спектров мощности реализаций длительностью  $\tau$  с последующим их накоплением. При накоплении энергетические спектры подстраивались к одной несущей частоте по гармонике в максимуме спектра донной реверберации (данная методика обработки аналогична использованной в работе [4]). Это позволило компенсировать медленные (от послылки к послылке) доплеровские блуждания частоты излучения, вызванные неравномерностью дрейфа НИС.

Примеры накопленных спектров  $S(\tilde{f})$ , где  $\tilde{f}=f-f_i+2$  Гц,  $f$  — частота, показаны на рис. 1 (ось ординат — в дБ относительно некоторого условного уровня). Спектры  $a$ ,  $b$  и  $c$  были получены при одной фазировке  $\delta_2$  совместно обрабатываемых сигналов группы горизонтально расположенных гидрофонов, а спектр  $g$  при другой фазировке  $\delta_1$  ( $\delta_1 \neq \delta_2$ ). Спектры на рис. 1,  $a$  и  $g$  получены для сигналов, сформированных рассеивателями, удаленными на расстояния порядка 100 км, спектр на рис. 1,  $b$  — рассеивателями, удаленными на 400 км, и спектр на рис. 1,  $c$  — рассеивателями, удаленными на 600 км. Глубина моря на участках акватории, соответствующих спектрам  $a$  и  $g$ , менялась в диапазоне от 1 до 4 км, для спектра  $c$  — в диапазоне 0–5 км, а для спектра  $b$  была равна 5–6 км. Ветровые волны для направлений приема  $\delta_1$  и  $\delta_2$  двигались навстречу зондирующему импульсу. Накопление спектров  $a-g$  осуществлялось по одним и тем же послылкам.

В представленных спектрах  $a$ ,  $c$  и  $g$  помимо линий на частоте зондирующего сигнала (донная реверберация) наблюдаются линии ПР (отмечены стрелками), сме-

<sup>1</sup> Говоря о дальней реверберации, мы имеем в виду условия, когда существенным является волноводный характер распространения звука и когда рассеянный сигнал формируется участками поверхности, удаленными от излучателя на расстояния, существенно превышающие расстояние между источником и приемником.

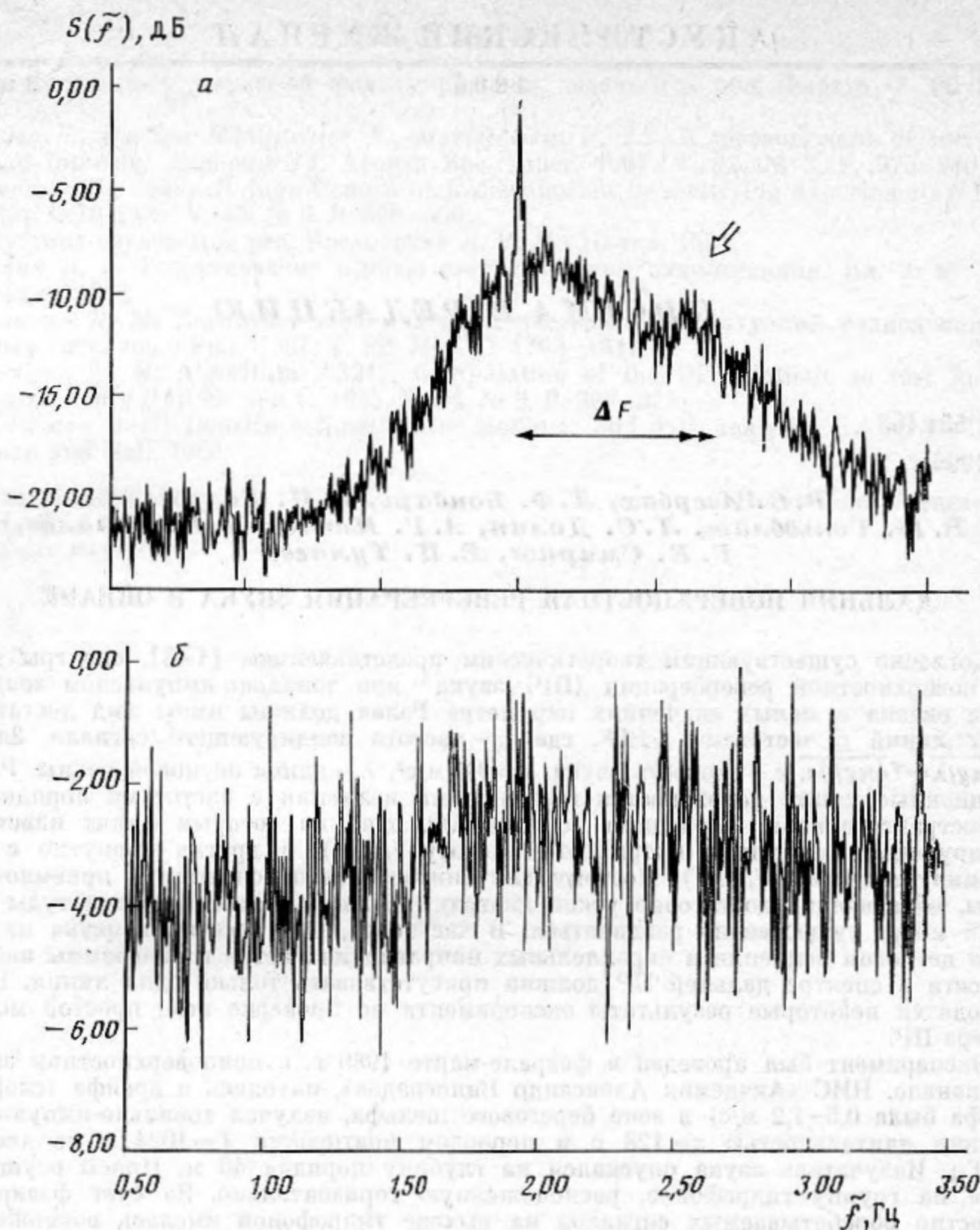


Рис. 1. Энергетические спектры реверберации, накопленные по М-25 посылкам

щенные по частоте на величину  $\Delta F$ . В спектре *б* наблюдается только шум моря. Анализ результатов (спектры *а*, *б* и *в*) выявил эффект корреляции уровней поверхностной и донной ревербераций, облегчающий наблюдение ПР. Эффект заключается в том, что всплески ПР наблюдаются примерно в то время, когда на приемник поступают мощные отражения от крупномасштабных неровностей рельефа дна. Заметим, что для спектров *а* и *в* разница в уровнях донной и поверхностной ревербераций примерно одинакова и равна 9,5 дБ. Эффект объясняется, по-видимому, тем, что наклонный участок дна (рис. 2) одновременно с формированием сигнала донной

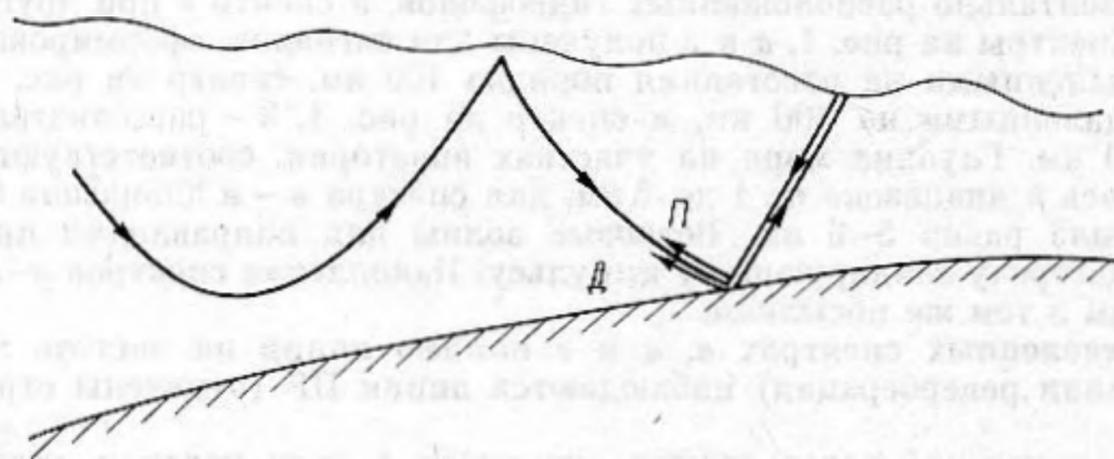
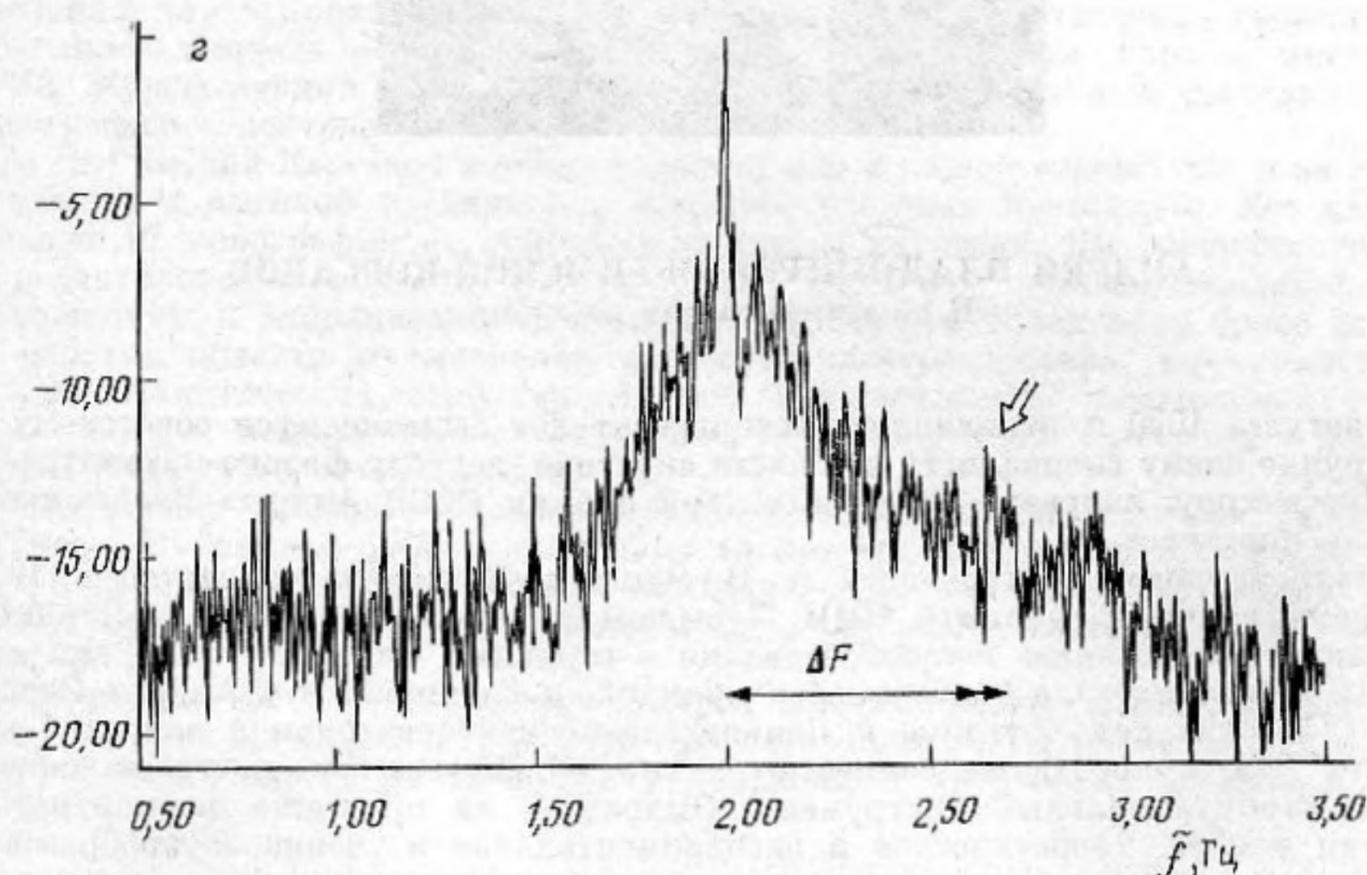
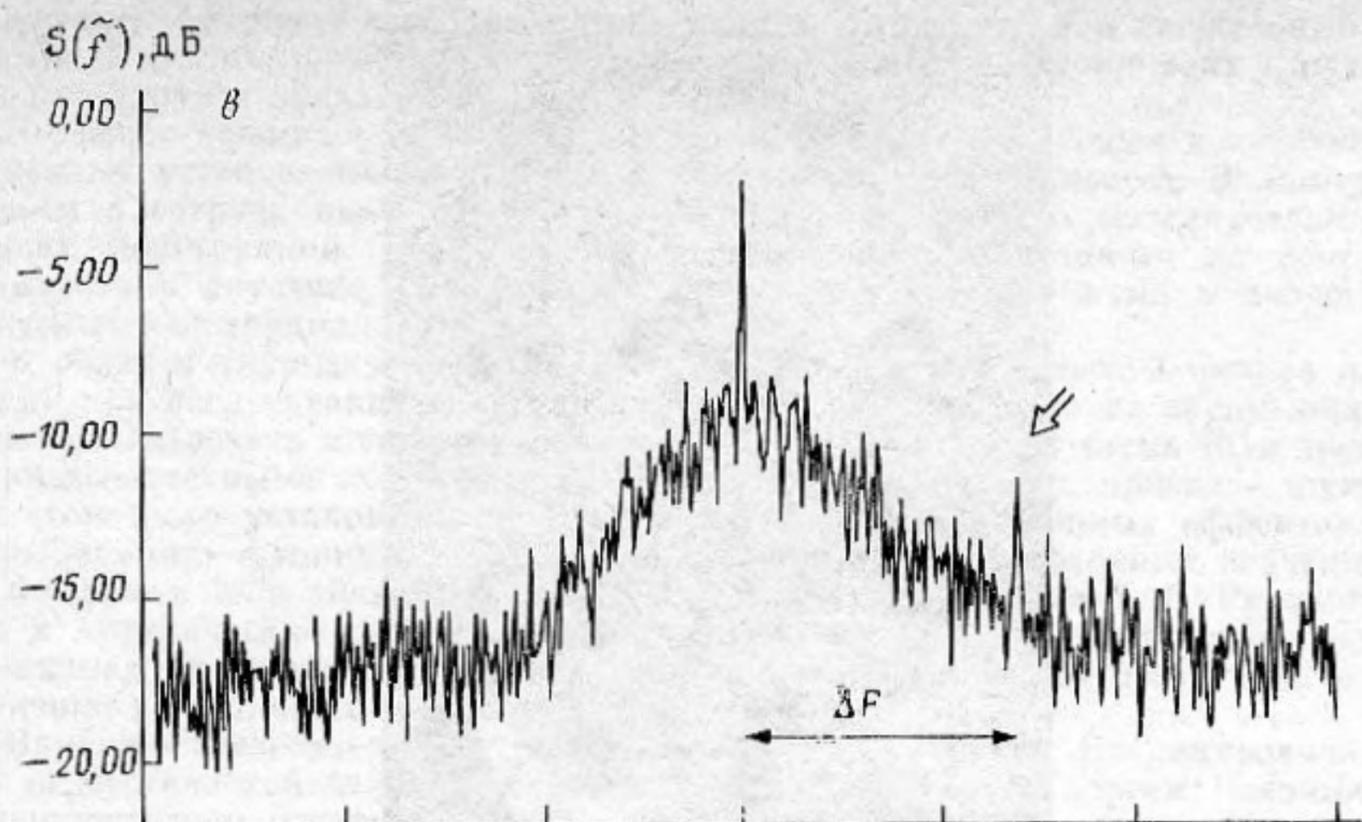


Рис. 2. Формирование донной (Д) и поверхностной (П) ревербераций на крупномасштабных неровностях рельефа дна



Окончание рис. 1

реверберации увеличивает угол скольжения луча, падающего на поверхность после отражения от дна, и повышает «озвученность» поверхности моря, что ведет к росту уровня ПР.

Зависимость уровня ПР от взаимной ориентации диаграммы направленности приемника и направления распространения ветровых волн иллюстрируется спектрами *a* и *z*. Спектр *z* соответствует случаю, когда угол между направлениями приема и распространения ветровых волн близок к  $60^\circ$  (уровень ПР незначителен), а спектр *a* — случаю, когда угол составляет  $30^\circ$  (уровень ПР заметно возрастает).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бреховских Л. М., Лысанов Ю. П. Теоретические основы акустики океана. М.: Гидрометеоиздат, 1982. 262 с.
2. Андреева И. Б. Рассеяние звука поверхностью и приповерхностным слоем океана // Акустика океана. Современное состояние/Под ред. Бреховских Л. М., Андреевой И. Б. М.: Наука, 1982. С. 118–132.
3. Абросимов Д. И., Долин Л. С. О поверхностной реверберации при волноводном распространении звука в океане // Акуст. журн. 1981. Т. 27. № 6. С. 808–816.
4. Бурлакова И. Б., Дубовой Ю. А. и др. О возможности акустической томографии взволнованной поверхности океана // Акуст. журн. 1988. Т. 34. № 3. С. 423–430.

Институт прикладной физики  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
19.01.90