АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXXIII 1987 Вып. 5

УДК 551.463.2

О СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ОБЪЕМНОГО РАССЕЯНИЯ ЗВУКА В ОКЕАНЕ

Мозговой В. А.

Приведены результаты измерений коэффициента вариации и плотности распределения огибающей акустических сигналов, рассеянных звукорассеивающими слоями в океане.

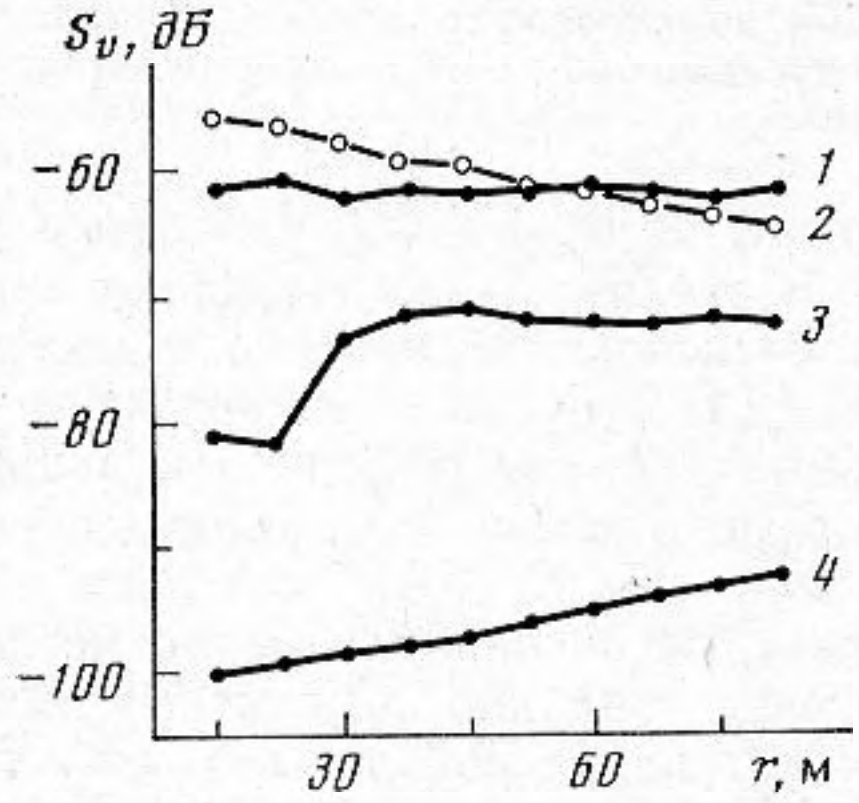
Флуктуационные характеристики акустических сигналов, рассеянных звукорассеивающими слоями (ЗРС) в океане, давно вызывают интерес. Основные результаты теоретических исследований на основе дискретной модели рассеяния обобщены в работах [1, 2]. Однако в настоящее время имеющиеся данные, особенно экспериментальные результаты, нельзя назвать исчерпывающими, что связано с трудностью получения однородных реализаций достаточно больших объемов.

Ниже приведены некоторые результаты экспериментов по исследованию объемного рассеяния звука в океане тонально-импульсным методом, проведенных в северо-восточной части тропической зоны Тихого океана в 6-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» летом 1983 г. с помощью глубоководного акустического комплекса (ГАК) [3–5]. Излучателем служило пьезокерамическое кольцо, приемником — пьезокерамическая сфера. Частоты заполнения тонально-импульсной посылки составляли 2,2; 4; 8 и 16 кГц, длительность импульса — 10 периодов частоты заполнения, период повторения импульсов — 1 с. При измерениях точка излучения-приема располагалась на различных горизонтах в ЗРС или вне их, на каждом горизонте последовательно на каждой частоте были получены записи 300–400 рассеянных сигналов (в дальнейшем будем называть запись на одном горизонте и на одной частоте серией). Рассеивающий объем представлял собой разбегающийся шаровой слой; в момент времени t от начала посылки в точку излучения-приема приходил акустический сигнал, рассеянный в обратном направлении шаровым слоем радиуса $ct/2$ и толщины $c\tau/2$, где c — скорость звука, τ — длительность импульса.

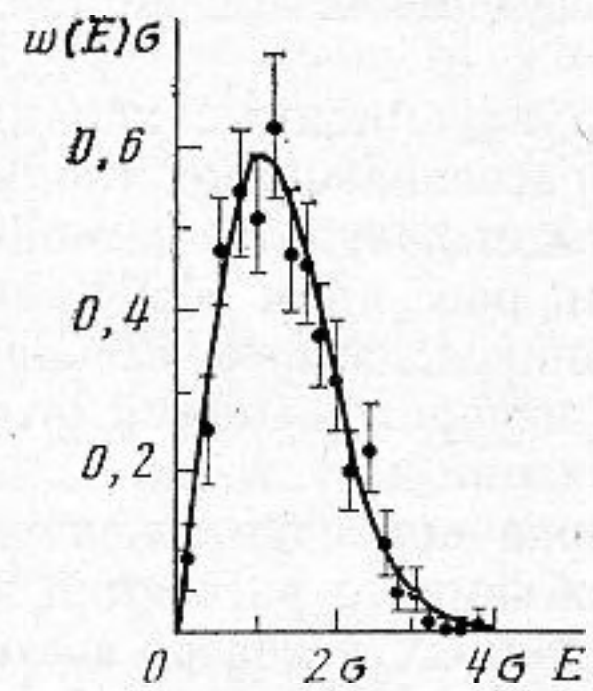
Обработка проводилась с помощью судовой ЭВМ. На первом этапе обработки выделялись огибающие для всех записей данной серии. Для дальнейших расчетов выбирались значения этих огибающих в фиксированные моменты времени t, равные 20; 30; . . . ; 110 мс (т. е. для радиусов рассеивающего шарового слоя 15; 22,5; . . . ; 82,5 м). Таким образом, для каждой серии было получено по 10 реализаций, состоявших из 300–400 значений огибающей рассеянного сигнала для указанных моментов времени (или радиусов рассеивающего шарового слоя). Далее для каждой реализации значений огибающей были получены плотности распределения и коэффициенты вариации; по среднему значению огибающей в пределах каждой реализации была определена сила объемного рассеяния звука $S_v=10\lg m_v$, где m_v — коэффициент объемного рассеяния.

На фиг. 1 приведены 4 типа зависимостей силы объемного рассеяния звука S_v от радиуса r рассеивающего объема для различного расположения точки излучения-приема относительно ЗРС: сила объемного рассеяния не меняется с ростом радиуса. Это соответствует случаю, когда точка излучения-приема находилась внутри «толстого» мощного ЗРС, рассеивающий объем за время измерений не выходил за пределы слоя, а средняя концентрация рассеивателей в рассеивающем объеме оставалась постоянной. Такие случаи наблюдались обычно ночью вблизи поверхности океана (при расположении точки излучения-приема на горизонтах 80–100 м).

Сила объемного рассеяния падает с ростом радиуса. В этом случае сферическая посылка при своем распространении выходила из ЗРС в область с меньшей концентрацией рассеивателей. Спад может достигать 10 дБ при изменении радиуса рассеивающего объема от 15 до 82,5 м. Такое поведение наблюдалось ночью на горизонте 100 м и ниже, а также в дневных ЗРС. Сила объемного рассеяния, приблизительно постоянная при малых радиусах рассеивающего объема, затем резко возрастает и далее остается либо постоянной, либо слегка растет. Рост может достигать 10 дБ и более. Такая зависимость наблюдалась в случаях, когда точка излучения-приема находилась либо над, либо под ЗРС, а сферическая посылка при своем распространении достигала слоя. Сила объемного рассеяния, имеющая малую величину по сравнению с обычными значениями в ЗРС,



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Зависимости силы объемного рассеяния звука S_v (в дБ относительно 1 м$^{-1}$) от радиуса r рассеивающего объема. Северо-восточная часть тропической зоны Тихого океана, частота 4 кГц: *1* – ночь, глубина 80 м; *2* – ночь, глубина 100 м; *3* – день, глубина 250 м; *4* – ночь, глубина 875 м

Фиг. 2. Пример плотности распределения значений огибающей рассеянного сигнала на частоте 4 кГц. Радиус рассеивающего объема r=30 м, ночь, глубина 80 м. Сплошная кривая – рэлеевское распределение, σ – квадратный корень из дисперсии

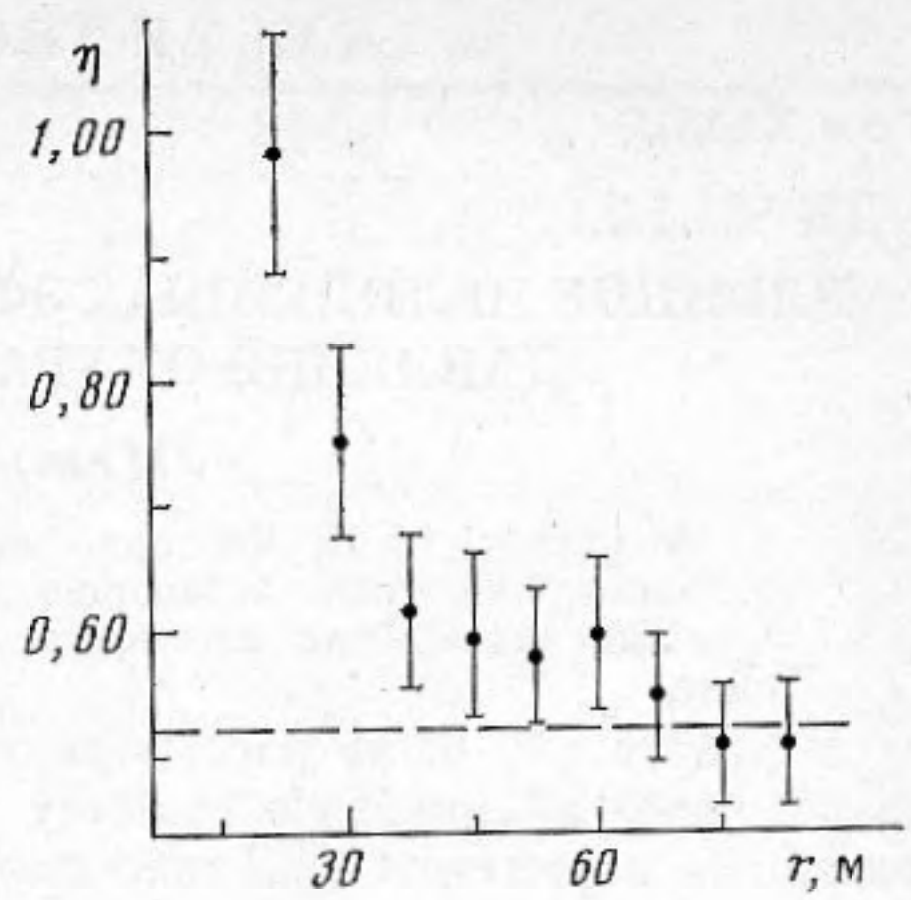
монотонно возрастает на протяжении всего времени регистрации. Этот случай соответствует отсутствию рассеянного сигнала и иллюстрирует вклад постоянного шумового фона.

Полученные в районе работ вертикальные профили силы объемного рассеяния и оценки параметров и концентрации рассеивателей приведены в работе [5]; ниже будем пользоваться этими оценками. В ночное время вблизи поверхности океана (на горизонтах 80–120 м) и в дневное время в пределах ЗРС плотность распределения огибающей рассеянных сигналов, определенная по 300–400 отсчетам, практически всегда хорошо совпадала с рэлеевским законом (фиг. 2), коэффициент вариации огибающей оказывался весьма близок к 0,52. Среднее число рассеянных сигналов от отдельных рассеивателей, приходящих одновременно в точку излучения-приема, составляло в этих случаях от ~20 до ~2×10^3 при концентрациях рассеивателей от $2{,}3\times10^{-3}$ до 24×10^{-3} экз/м^3 [5] и рассеивающем объеме от ~10^4 до ~10^5 м^3.

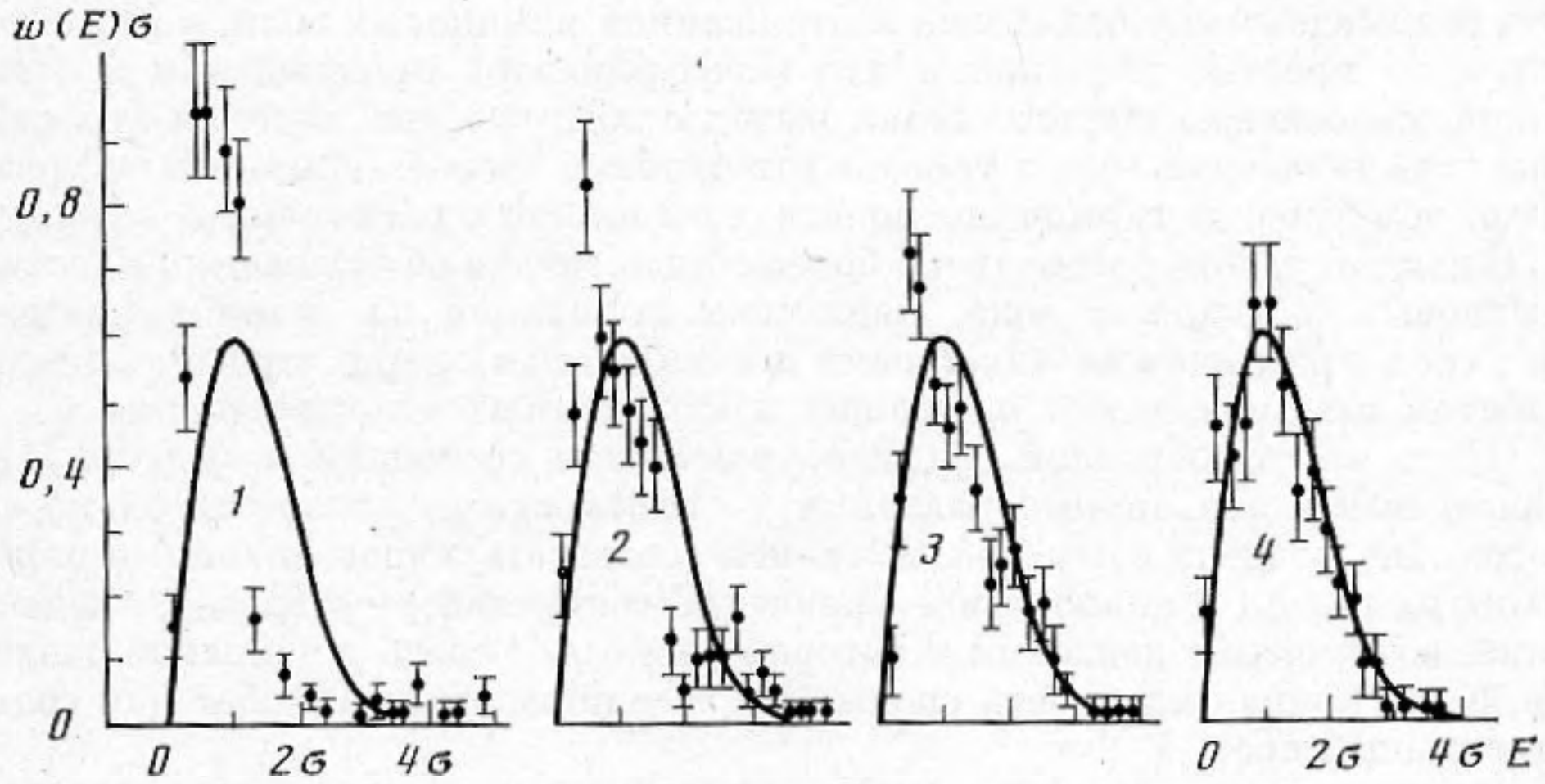
Однако в ряде случаев распределение огибающей сигналов, рассеянных звукорассеивающим слоем, может существенно отличаться от рэлеевского закона. Так, в работе [6] сообщалось, что на горизонте расположения ЗРС в центральной Атлантике в дневное время вместо равномерно распределенных рассеивателей наблюдались отдельные «цели», представлявшие собой, по-видимому, стаи рыб. Подобная ситуация в описываемых измерениях имела место во время утренней миграции ЗРС при прохождении звукорассеивающего слоя мимо точки излучения-приема, расположенной на горизонте 250 м. На фиг. 3 показана зависимость коэффициента вариа-

Фиг. 3. Зависимость коэффициента вариации значений огибающей рассеянного сигнала на частоте 4 кГц от радиуса рассеивающего объема во время прохождения ЗРС при утренней миграции на горизонте 250 м. Штриховая прямая – значение коэффициента вариации для рэлеевского распределения

Фиг. 4. Плотности распределений значений огибающей рассеянного сигнала на частоте 4 кГц при различных радиусах r рассеивающего объема во время прохождения ЗРС при утренней миграции на горизонте 250 м: *1* – r=22,5 м; *2* – r=30; *3* – r=37,5; *4* – r=45 м. Сплошная кривая – рэлеевское распределение, σ – квадратный корень из дисперсии



Фиг. 3



Фиг. 4

ции для этого случая от радиуса рассеивающего объема. На фиг. 4 приведены плотности распределения огибающей для четырех значений радиуса рассеивающего объема. Очень высоким значениям коэффициента вариации (более 0,9) соответствуют значительные отличия плотности распределения огибающей от рэлеевского закона: максимум ее сдвигается влево, форма становится более острой, возможно, двугорбой. В то же время число сигналов от отдельных рассеивателей, приходящих одновременно в точку излучения-приема, составляло в этом случае ~300 (по оценкам концентрации рассеивателей работы [5]). Объяснение наблюдавшегося состоит в том, что рассеиватели были сгруппированы в скопления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ольшевский В. В.* Статистические свойства морской реверберации. М.: Наука, 1966.
2. *Ольшевский В. В., Мороз Т. А.* Теоретические и экспериментальные исследования морской реверберации. Л.: Судостроение, 1973.
3. *Зотов А. И., Кузнецов В. Н., Савельев В. В.* Глубоководный комплекс для гидроакустических исследований // Океанология. 1984. Т. 24. № 1. С. 175–179.
4. *Мозговой В. А.* Об изменчивости силы объемного рассеяния звука в океане // Океанология. 1985. Т. 25. № 5. С. 752–755.
5. *Мозговой В. А.* Определение параметров рыб звукорассеивающих слоев и их поведения при миграциях по спектрам рассеянных акустических сигналов // Океанология. 1986. Т. 26. № 5. С. 751–760.
6. *Житковский Ю. Ю., Мозговой В. А., Савельев В. В.* Измерения объемного рассеяния звука в океане с помощью глубоководного акустического комплекса // Океанология. 1982. Т. 22. № 2. С. 211–213.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
18.XII.1986