АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXIV 1978 Вып. 6

УДК 534.874

ОБ ИЗОТРОПНОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ДНА ОКЕАНА

В. И. Воловов, В. В. Краснобородько, Ю. П. Лысанов, В. А. Сечкин

Приведены экспериментальные данные о пространственной корреляции в горизонтальной плоскости тонально-импульсных и псевдошумовых сигналов, отраженных от дна океана. На основании результатов, полученных при использовании двух взаимно перпендикулярных баз приемников, показано, что значение коэффициента пространственной корреляции не зависит от направления, в котором производится разнос точек приема.

При решении ряда прикладных задач, связанных, в частности, с разработкой новых акустических методов определения скорости судна относительно дна [1, 2], используется предположение об изотропности в горизонтальной плоскости пространственных корреляционных характеристик отраженных от дна океана звуковых сигналов.

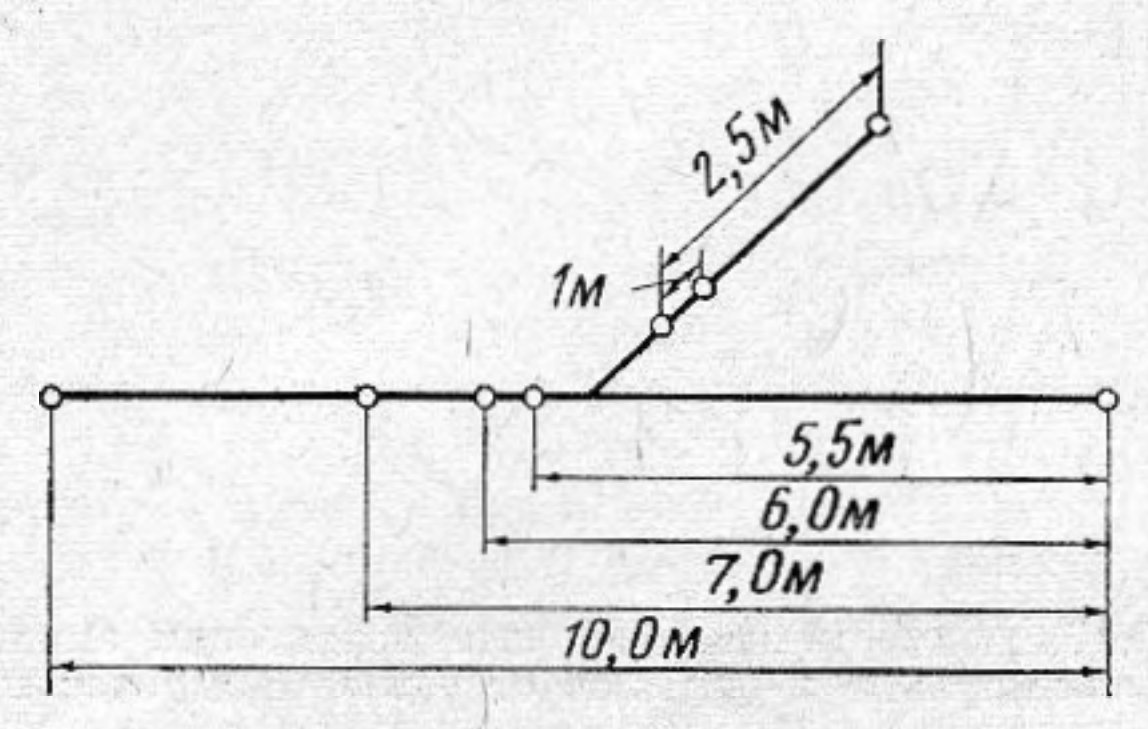
Опыты по исследованию изотропности корреляционных характеристик отраженных звуковых сигналов в океане были проведены в 1977 г. Сигналы, отраженные от дна при нормальном падении, принимались на систему ненаправленных гидрофонов, представляющую собой две взаимно перпендикулярные базы, находящиеся в горизонтальной плоскости. Одна из баз (основная) состояла из пяти гидрофонов с максимальным расстоянием между ними 10 *м*. Другая (дополнительная) имела длину 2,5 *м* и включала три гидрофона. Расстояния между гидрофонами были выбраны таким образом, что на каждой из баз было по два гидрофона, одинаково удаленных друг от друга. Расстояние между ними составляло 1 *м*. Схема расположения гидрофонов приведена на фиг. 1.

Опыты проводились в Индийском океане в районе с ровным дном при глубине ~4500 *м*. При проведении экспериментов приемная система опускалась с борта судна на глубину 300—350 *м*, чтобы обеспечить разделение по времени чисто донного сигнала и донного сигнала после отражения его от поверхности воды. Излучение производилось направленной антенной, ось диаграммы направленности которой была ориентирована вертикально вниз. Опыты проводились с использованием импульсно-тонального и псевдошумового излучения на частотах 3, 15 и 11 *кГц*; ширина полосы шума составляла ~$^1/_3$ октавы. Длительность посылок была 400 *мс*, интервал между посылками составлял 5 *с*. При каждом измерении на импульсно-тональном излучении регистрировалось не менее 100 независимых значений амплитуды отраженных сигналов. При псевдошумовом излучении регистрировались пять последовательных посылок.

В ходе опытов принятые сигналы усиливались системой предварительных усилителей, размещенных в герметичном контейнере, и по многожильному кабелю подавались на борт судна. После дополнительного усиления и фильтрации сигналы записывались на пятиканальный магнитофон. Поскольку на один из каналов магнитофона записывались импульсы синхронизации, необходимые для дальнейшей обработки сигналов, то одновременно можно было регистрировать сигналы с четырех гидрофонов. Запи-

си производились последовательно сначала с четырех гидрофонов основной базы, а затем с трех гидрофонов дополнительной. В каждом из опытов производилась также одновременная запись сигналов с равноудаленных гидрофонов, находящихся на разных базах.

При обработке данных по тонально-импульсному излучению записанные сигналы воспроизводились на магнитофоне и детектировались. Амплитуда отраженных сигналов на преобразователе «аналог — код» преобразовывалась в цифровую форму и регистрировалась на перфоленте в пяти- или семиразрядном двоичном коде. В дальнейшем сигналы с перфоленты вводились в ЭВМ («Минск-32» или БЭСМ-6) для расчета коэффициентов

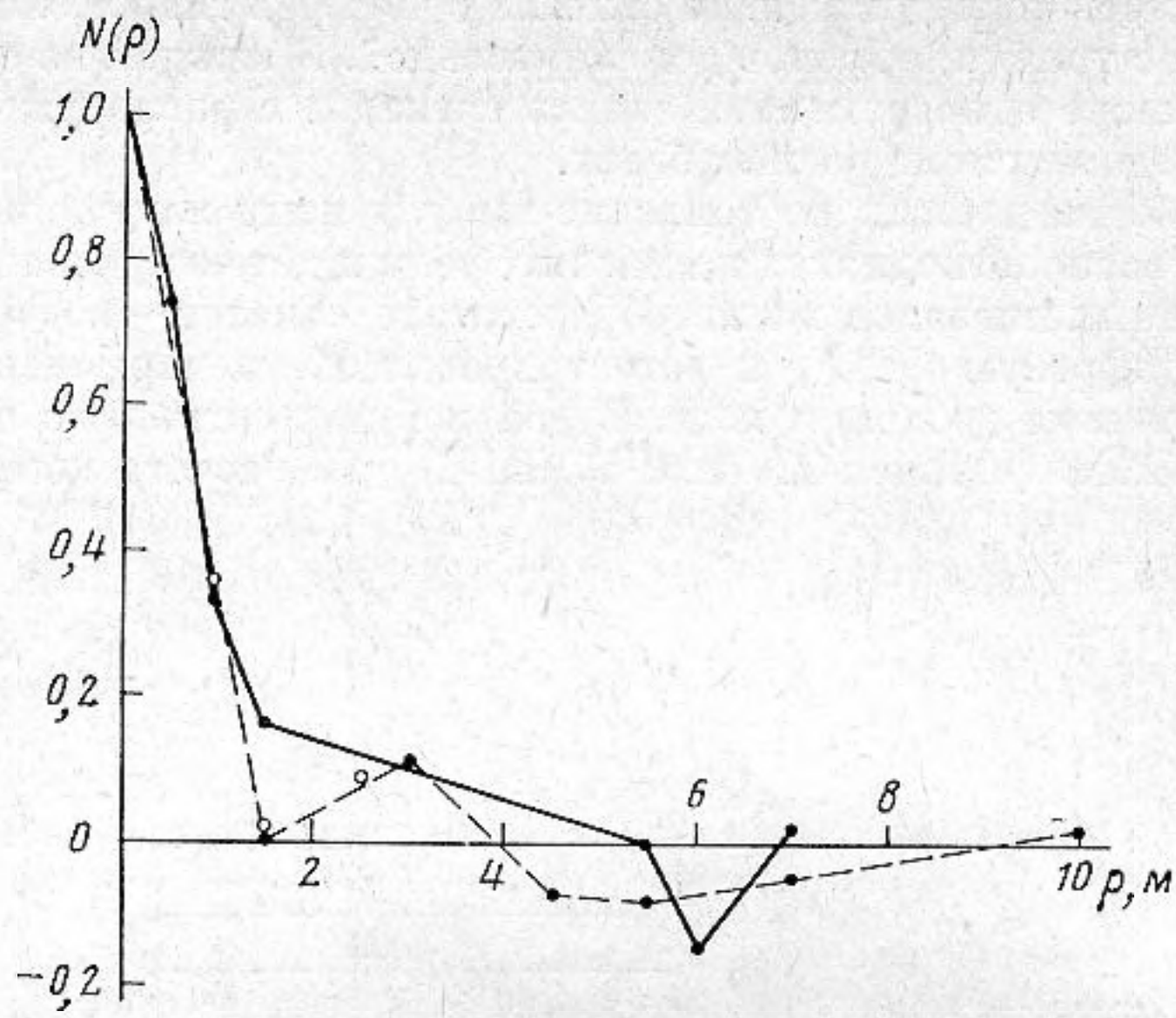


Фиг. 1. Схема расположения гидрофонов на базах приемной системы

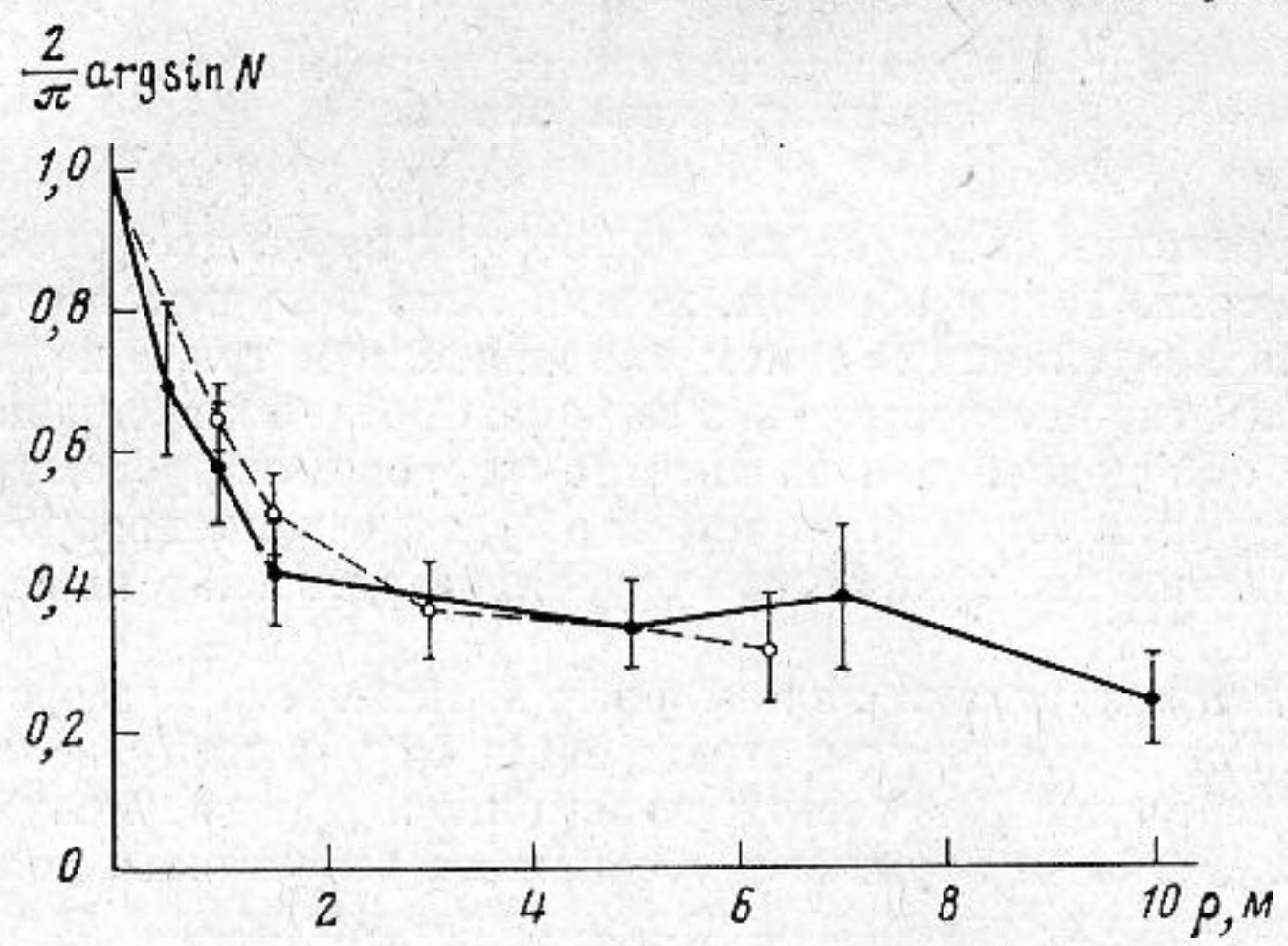
взаимной корреляции сигналов для различных пар гидрофонов каждой из баз в отдельности. Таким образом, можно было получить шесть значений коэффициента корреляции в одном направлении и три в перпендикулярном. При обработке псевдошумовых сигналов после их воспроизведения на магнитофоне они подавались на аналого-цифровой коррелометр, основанный на регистрации совпадения знаков [3], на выходе которого регистрировались значения коэффициента корреляции для выбранных пар гидрофонов.

На фиг. 2 представлена характерная зависимость коэффициента взаимной корреляции амплитуды отраженных от дна импульсно-тональных сигналов от величины разнесения приемников. Данные получены на частоте 11 *кГц*. Черными кружками обозначены результаты, полученные на основной базе в двух сериях измерений. Экспериментальные точки соединены сплошными линиями для одной серии и штриховыми — для другой. Серии были проведены с интервалом времени 15 *мин*. Светлыми кружками обозначены результаты измерений, полученные на перпендикулярной базе в интервале времени между двумя указанными выше сериями.

Как видно из графика, данные обеих серий, полученные на основной базе через некоторый интервал времени, хорошо совпадают друг с другом, в особенности на начальном участке. Данные, полученные на перпендикулярной базе (светлые кружки), также хорошо совпадают с ними в области резкого спадания коэффициента корреляции и в дальнейшем находятся между значениями, полученными в двух сериях измерений на основной базе. Эти результаты дают основание заключить, что пространственные корреляционные характеристики отраженных сигналов в двух взаимно перпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости являются практически идентичными. Это дополнительно подтверждается тем, что в случае одновременного измерения коэффициента корреляции на двух равноудаленных гидрофонах (расстояние 1 *м*), расположенных на разных базах, результаты совпадали с точностью до нескольких процентов. Так, в приведенном опыте коэффициенты корреляции на расстоянии 1 *м* на основной и дополнительной базах составили 0,35 и 0,33 соответственно.



Фиг. 2. Зависимость коэффициента корреляции амплитуды тонально-импульсных сигналов от разнесения точек приема



Фиг. 3. Зависимость коэффициента корреляции псевдошумовых сигналов от разнесения точек приема

Изотропность корреляционных характеристик отраженных сигналов наблюдалась также и для псевдошумового излучения при обработке по несущей. На фиг. 3 представлена зависимость коэффициента взаимной корреляции от расстояния между точками приема для псевдошумового сигнала с центральной частотой 3,15 *кГц* и шириной полосы 350 *Гц*. Величины коэффициента корреляции на графике даны в преобразованном виде $\frac{2}{\pi}\arcsin N$ (N — коэффициент корреляции), поскольку в таком виде они выдаются коррелометрами, использующими совпадения знаков. Данные получены в том же районе, что и в предыдущем случае. Как и на фиг. 2, черными кружками обозначены результаты измерений с использованием основной базы; светлыми — дополнительной. Отрезками вертикальных прямых около экспериментальных точек обозначен среднеквадратичный разброс значений коэффициента корреляции, полученный при анализе пяти псевдошумовых посылок, излученных последовательно. Как видно

из графика, области возможных значений коэффициента корреляции перекрываются при всех значениях разноса приемников для обеих баз, что и является признаком изотропности корреляционных характеристик отраженных сигналов. Значения коэффициента корреляции, полученные одновременно на обеих базах при расстоянии 1 *м* между приемниками, составили для основной и дополнительной баз 0,60 и 0,64 соответственно.

Опыты по исследованию изотропности корреляционных характеристик проводились в нескольких глубоководных районах Индийского океана с ровным и холмистым дном; во всех случаях результаты были близки к приведенным выше. В силу этого свойство изотропности, по-видимому, можно считать установленным для пространственных корреляционных характеристик отраженных сигналов в глубоководных районах океана.

Полученным результатам можно дать простую интерпретацию. Действительно, зависимость корреляционных характеристик отраженных сигналов от направления разнесения точек приема можно ожидать лишь в том случае, если сами статистические характеристики рельефа дна неизотропны. Известно, что в некоторых районах глубокого океана существуют формы рельефа дна, близкие к регулярным структурам: вытянутые в одном направлении гряды, знаки ряби и т. д. [4–6]. Однако следует иметь в виду, что в формировании принятого сигнала участвует относительно большая площадь дна. Так, для районов океана с выровненным дном (абиссальные равнины и глубоководные котловины) угловой размер области дна, которая формирует эффективный отраженный сигнал при нормальном падении, составляет 4–8°, а для других геоморфологических провинций еще больше [7]. Таким образом, при глубине океана 5000 *м* диаметр этой области дна составляет 350–700 *м* и более.

Имеющиеся океанологические данные о рельефе и микрорельефе дна [6, 8, 9] показывают, что протяженность таких квазирегулярных структур мала по сравнению с линейным размером отражающего участка дна. Вследствие этого наличие таких структур не может существенно повлиять на изотропность корреляционных характеристик отраженного сигнала.

Несколько иначе, по-видимому, обстоит дело в мелководных и шельфовых районах океана. Здесь размеры отражающей области гораздо меньше, а регулярные структуры типа знаков ряби в районах с песчаным дном распространены достаточно широко. Так, например, по данным работы [10] в Северном море с использованием фотограмметрических методов неоднократно регистрировались знаки ряби, весьма близкие к регулярным образованиям с амплитудой 13±5 *см*. Однако для выяснения влияния таких структур нужны специальные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воловов В. И., Краснобородько В. В., Лысанов Ю. П.* Способ определения скорости движения судна относительно дна. Авт. свид. № 537315, 1976. Бюл. изобр. № 44.
2. *Воловов В. И., Краснобородько В. В., Лысанов Ю. П., Сечкин В. А.* Новый акустический способ определения скорости судна. Океанология, 1977, *17*, 1, 158–163.
3. *Васильев Н. А., Тужилкин Ю. И.* Измерение взаимной корреляции между сигналами в подводном звуковом канале и исходным сигналом. Акуст. ж., 1967, *13*, 1, 28–36.
4. *Clay C. S., Rona P. A.* On the existance of bottom corrugation in the Blake Bahama basin. J. Geophys. Res., 1964, *69*, 2, 231–234.
5. *Богоров Г. В., Воловов В. И., Ильин А. В.* Микрорельеф дна Атлантического океана. В кн.: Океанологические исследования, № 21, М., «Наука», 1971, 247–270.
6. *Ильин А. В.* Геоморфология дна Атлантического океана. М., «Наука», 1976.
7. *Воловов В. И., Житковский Ю. Ю.* Отражение и рассеяние звука дном океана. В кн.: Акустика океана, под ред. Л. М. Бреховских, М., «Наука», 1974, 395–490.
8. *Богоров Г. В.* Типы микрорельефа дна глубокого океана. Вопросы судостроения. Сер. Акустика, 1977, 8, 117–125.
9. *Zonsdale P., Spiess F. N.* Abyssal Bedforms explored with a deeply towed instrument package. Marine geology, 1977, *23*, 1/2, 57–75.
10. *Wille P., Thiele R., Shunk E.* Shallow-water attenuation in the standard area. J. Acoust. Soc. America,1973, *54*, 6, 1708–1726.

Акустический институт
Академии наук СССР

Поступила
28 марта 1978 г.