

(5), (6) следует, что у кольцевой антенны максимальное значение $J(\alpha, \beta)$ всегда имеет место при $\beta = \alpha$, т. е. при совпадении угла компенсации с углом, характеризующим направление на источник; это, тем самым, подразумевает однозначное определение направления на источник, в отличие от линейной антенны (7) (см. [1]). Кроме того, из (5)–(7) видно также, что если у линейной антенны ширина главного максимума функции $B(\alpha, \beta)$ увеличивается с ростом α (см. [1–4]), то у кольцевой — она остается неизменной.

В качестве иллюстративного примера на рис. 1, 2 приведены результаты расчетов отклика кольцевой (рис. 1) и линейной (рис. 2) антенн в водном слое толщиной H с абсолютно жестким дном, подтверждающие сказанное выше о преимуществах первой. При выполнении вычислений длина волн излучения $\lambda = 2\pi/k$ выбиралась таким образом, чтобы $H/\lambda = 2,5$; $M = 5$, $R/\lambda = 2$, $r_0/\lambda = 50$; остальные параметры принимались следующими: $z_0/H = 0,4$; $z/H = 0,6$; $L = \pi R$.

Таким образом, с использованием компенсированной горизонтальной кольцевой антенны, апертура которой $2R$ сравнима или превышает минимальный период интерференции поля в волноводе, возможно однозначное определение направления на источник, причем без изменения ширины главного максимума ее отклика при варьировании угла компенсации; как известно (см. [1–4]), подобные свойства отсутствуют у линейной антенны аналогичных размеров. Следует также отметить еще одно обстоятельство, заключающееся в том, что вследствие конечного радиуса корреляции полезного сигнала в реальном океаническом волноводе существует оптимальный размер апертуры линейной антенны L_{opt} , поэтому на практике выгоднее, по-видимому, не проводить дальнейшего наращивания ее апертуры ($L > L_{opt}$), а замкнуть антенну в кольцо, получив при этом отмеченные выше преимущества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елисеев В. А. О работе горизонтальной линейной антенны в водном слое // Акуст. журн. 1979. Т. 25. № 2. С. 227–233.
2. Елисеев В. А. О работе горизонтальной линейной антенны в мелком море // Акуст. журн. 1983. Т. 29. № 1. С. 44–49.
3. Елисеев В. А. О работе горизонтальной линейной антенны в водном слое в поле узкополосного шумового сигнала // Акуст. журн. 1984. Т. 30. № 2. С. 213–217.
4. Елисеев В. А. О работе горизонтальной линейной антенны в водном слое в поле широкополосного шумового сигнала // Акуст. журн. 1985. Т. 31. № 5. С. 684–686.
5. Елисеев В. А. О работе горизонтальной линейной антенны в водном слое с наклонным дном // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 3. С. 480–483.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступило в редакцию
31.10.89

УДК 534.883

© 1990 г.

Н. А. Васильев

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ И ВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОКЕАНА НА АКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Выполняя экспериментальные исследования в различных районах Мирового океана с использованием псевдостационарных гидроакустических трасс, были обнаружены медленные изменения в уровнях принимаемых сигналов. Акустические трассы состояли из излучателя, опущенного с борта НИС, стоящего либо на якорю, либо находящегося в свободном дрейфе, и вертикальной цепочки гидрофонов, прикрепленной к плавучести и отдрейфованной от НИС на кабель-тросу, к которому по мере его вытравливания подвешивались поплавки. Такую трассу можно назвать псевдостационарной, поскольку длина ее была достаточно стабильна и хорошо контролировалась. Однако в целом трасса с излучателем и приемником могла перемещаться в пространстве, если НИС находилось в свободном дрейфе.

Расстояние от излучателя, опущенного с НИС, до вертикальной цепочки приемных гидрофонов, в зависимости от условий опыта составляло от 1000 до 3500 м. Наблюдаемые медленные изменения уровней принимаемых сигналов достигали на отдельных гидрофонах 5–6 дБ. Период таких колебаний составлял 7–12 мин. Колебания по уровню нельзя было объяснить интерференцией отдельных лучей за счет некоторого изменения по длине образованных трасс. Действительно, измерения акустическим методом показывали, что хотя длина трассы и менялась во время эксперимента на некоторую величину, однако эта величина была слишком мала, чтобы вызвать интерференцию. Изменения по глубине излучателя или приемных гидро-

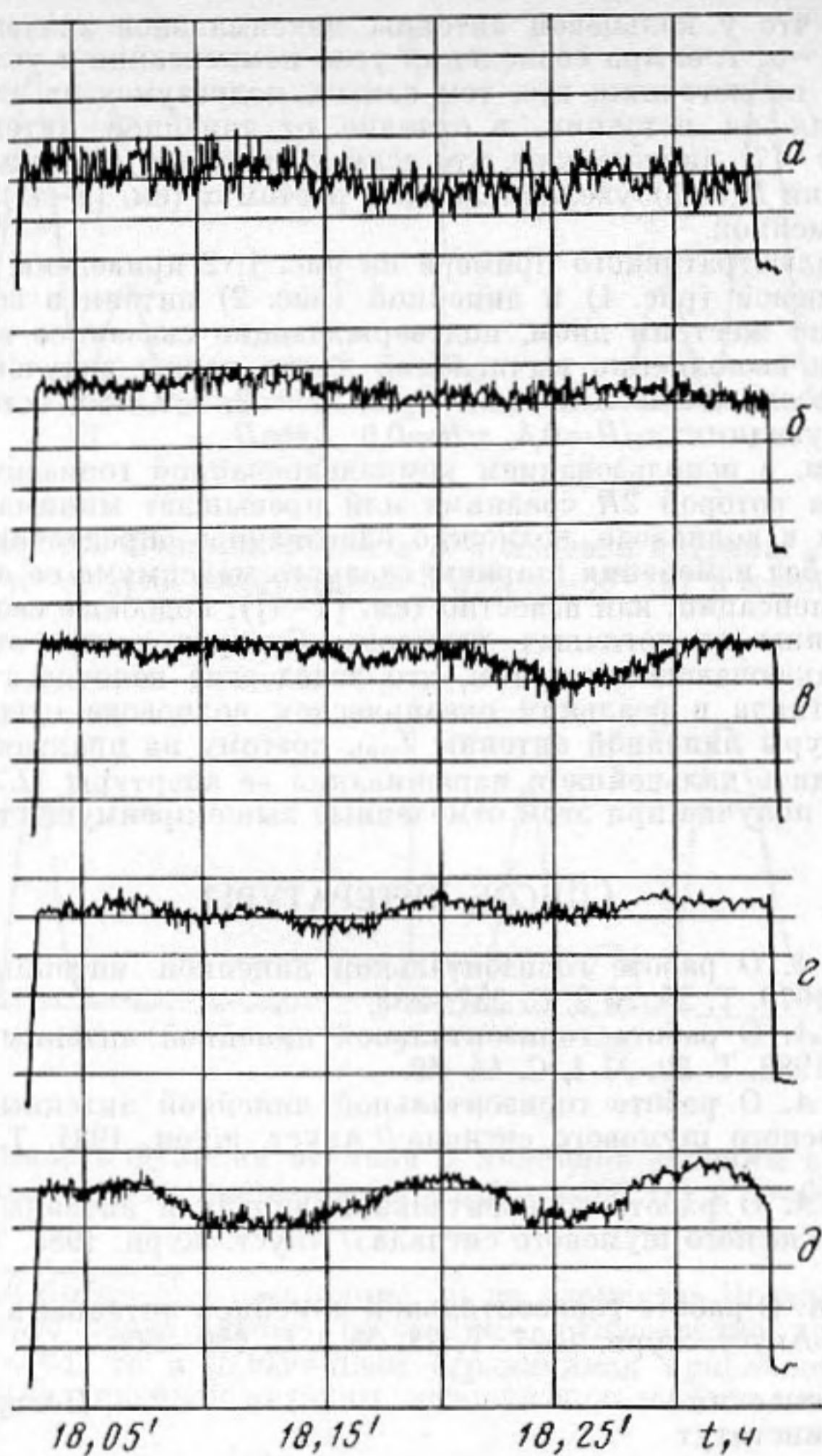


Рис. 1. Записи средних уровней сигналов, принимаемых на вертикальную цепочку гидрофонов, соответственно расположенных на: а — 20 м, б — 40, в — 60, г — 80 и д — 120 м

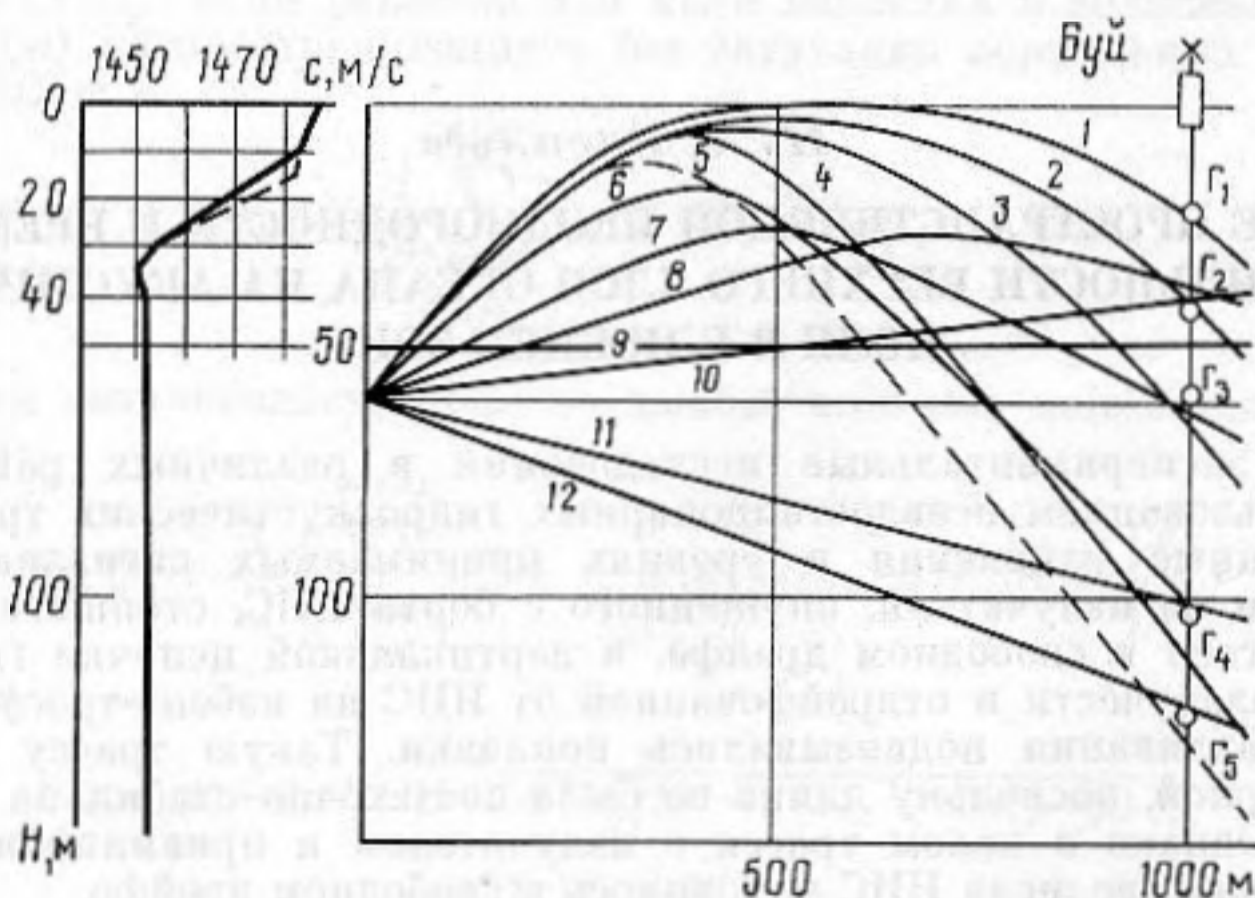


Рис. 2. График распределения скорости звука по глубине, лучевая картина, рассчитанная для этих условий и расположение по глубине приемных гидрофонов (Γ_1 — Γ_5). Углы выхода лучей: 1 — $11,8^\circ$; 2 — $11,7^\circ$; 3 — $11,6^\circ$; 4 — $11,5^\circ$; 5 — $11,5^\circ$; 6 — $-8,75^\circ$; 7 — $-3,98^\circ$; 8 — $-2,31^\circ$; 9 — $-0,85^\circ$; 10 — $-0,29^\circ$; 11 — $-2,59^\circ$; 12 — $-3,79^\circ$

фонов из-за переменной скорости дрейфа, скорее, могли бы быть причиной набега разности фаз по приходу сигналов. Однако расчеты показывают, что и в этом случае маловероятны достаточно большие величины отклонений и при том одновременных во времени как для излучателя, так и для приемников.

Всего было выполнено четыре аналогичных эксперимента. В том числе два в Тихом океане и по одному в Филиппинском море и в Индийском океане. Во всех четырех опытах результаты подтвердили предположение о том, что медленное изменение уровней сигналов, принимаемых на отдельные гидрофоны, были вызваны пространственно-временной структурой верхнего слоя океана.

Рассмотрим конкретные условия проведения экспериментов. В первом опыте НИС становилось на якорь на береговом шельфе на глубине 160 м. С его борта на глубину 100 м был опущен акустический излучатель. Цепочка гидрофонов, состоящая из пяти приемников, расположенных на глубинах 20, 40, 60, 100 и 120 м, была отдрейфована по течению на кабель-тресе на расстояние в 1000 м. Излучался шумовой широкополосный сигнал в диапазоне частот от 700 до 2000 Гц. Сигнал, принятый выносной цепочкой гидрофонов, передавался обратно на НИС и записывался на магнитофоне. Одновременно средний уровень сигнала с каждого приемника регистрировался на самописцах. На рис. 1 показаны результаты записей этих сигналов на самописцах. По горизонтальной оси показано текущее время. По вертикальной оси линиями обозначены интервалы по уровню через 5 дБ. Из приведенных записей видно, что с понижением горизонта приема увеличивается величина медленных флуктуаций уровня сигнала. Быстрые колебания по уровню сигнала объясняются влиянием поверхностного волнения моря.

На рис. 2 показано распределение скорости звука по глубине и лучевая картина, рассчитанная для условий данного эксперимента, а также горизонты расположения приемных гидрофонов. На том же рисунке показана пунктиром линия предполагаемого снижения слоя скачка на глубину до 10 м и соответственно показаны пунктиром для этого случая возможные изменения в лучевой картине. Как видно, если слой скачка понизился всего на 10 м, то сигнал, рефрагированный на этом слое, проходит уже ниже нижнего приемника. Таким образом, можно было ожидать, что колебания уровня звукового поля на определенных горизонтах приема применительно к данной конкретной схеме эксперимента могут быть обусловлены перемещением по глубине слоя скачка. Последующие опыты, которые были выполнены в северной части Тихого океана, в центральной части Индийского океана и в Филиппинском море аналогично по описанной выше методике, но со свободно дрейфующего НИС, подтвердили влияние пространственной неоднородности и временной нестабильности верхнего слоя океана на медленные изменения уровня принимаемого звукового поля. Длина трасс в этих опытах находилась в пределах от 1500 до 3500 м. Во всех опытах наблюдались медленные колебания уровней сигналов, аналогичные показанным на рис. 1. Расчеты подтвердили возможность существенного изменения уровня звукового поля в точках приема даже при небольших изменениях горизонта слоя скачка. Уровни сигналов, принимаемых по прямым и рефрагированным лучам, были примерно одинаковыми. Непосредственные измерения распределения скорости звука по глубине во время экспериментов в Индийском океане обнаружили колебания горизонта слоя скачка в пределах до 10 м. Если учесть скорость дрейфа НИС во время экспериментов в Индийском океане, которая была достаточно равномерной и составляла 0,5 узла, можно предположить, что пространственная неоднородность по толщине верхнего прогретого слоя океана в этом районе во время измерений составляла сотни метров.

Описанные выше результаты, полученные в различных районах Мирового океана, показывают, что для конкретных условий взаимного расположения излучателя и приемника можно ожидать медленных изменений уровня принимаемых сигналов, причина которых будет обусловлена пространственной неоднородностью и временной нестабильностью верхнего слоя океана. Разработанная методика исследований с использованием псевдостационарных трасс может быть полезной для изучения внутренних волн в океане.

Автор выражает благодарность О. П. Галкину за ряд ценных советов и активное участие в обсуждении получаемых результатов, а также В. М. Бурбело, В. А. Молодцову, С. Н. Валлиуллину, принимавшим непосредственное участие в получении экспериментальных материалов и техническом обеспечении экспериментов.

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

Поступило в редакцию
17.02.89