

УДК 534.23

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ НА КВАЗИСТАЦИОНАРНОЙ ТРАССЕ МЕЖДУ ПОДВОДНЫМИ ГОРАМИ ЖОЗЕФИН И АМПЕР

© 2004 г. О. П. Галкин, С. Д. Панкова

Акустический институт им. Н.Н. Андреева РАН

117036, Москва, ул. Шверника 4

E-mail: [bvp@akin.ru](mailto:bvp@akin.ru)

Поступила в редакцию 17.12.03 г.

Приведены экспериментальные данные по измерению коэффициентов взаимной корреляции и разностей времен прихода (временных спектров) акустических сигналов, прошедших вдоль 210-километровой квазистационарной трассы в Атлантическом океане. На вершине подводной горы Жозефин излучался непрерывный псевдошумовой сигнал в третьоктавной полосе со средней частотой 630 Гц. Для приема (на горе Ампер) использовалась 40-метровая шланговая вертикальная антенна с диаграммой направленности в виде статического “веера” из 32-х лепестков с шириной каждого  $\sim 3^\circ$ . При отношении сигнал/помеха около 3 дБ и неполном разрешении антенной многолучевых сигналов получены коэффициенты корреляции до 0.48 и среднеквадратичные значения флуктуаций разностей времен прихода сигналов под различными углами – от 1.8 мс до 3.1 мс. Обсуждаются причины низких коэффициентов корреляции и относительно больших флуктуаций разностей времен прихода. По-видимому, одной из причин таких флуктуаций являются короткопериодные внутренние волны.

В последние годы особое внимание обращается на проблемы распространения звука в сложных акустико-океанических условиях. Большое число работ посвящено моделированию звуковых полей при распространении сигналов в мелком море, в береговом шельфе и в присутствии внутренних волн [1–4]. Однако теоретические прогнозы структуры полей, соответствующие реальным характеристикам и их изменчивости, во многих случаях затруднительны, особенно в сложных условиях распространения. В связи с этим необходимо проведение экспериментальных измерений на стационарных трассах и последующее сопоставление полученных результатов с данными расчетов.

Интерес к изучению распространения акустических сигналов в береговом шельфе или на материковых склонах продиктован необходимостью создания стационарных гидроакустических систем. Они необходимы для проведения мониторинга определенных районов океана, а также для приема акустических сигналов, возникающих при некоторых крупномасштабных природных явлениях, например, таких как подводные землетрясения, вызывающие цунами. В этих случаях нельзя не учитывать пространственные и временные особенности структуры звуковых полей, обусловленные не только гидрологическими характеристиками конкретного района океана, но и рельефом дна.

Известно, что причинами нестабильности параметров распространяющихся в водной среде звуковых сигналов могут быть как пространственно-временные изменения океанологических характеристик, в первую очередь пространственно-временная изменчивость поля скорости звука, так и изменения местоположения точек излучения и приема, например, при проведении экспериментов на дрейфующих судах. Чтобы отделить влияние пространственной нестабильности геометрии опыта от пространственно-временной изменчивости океана на характеристики сигналов, распространяющихся между источником и приемной системой, была сделана попытка создания стационарной трассы. Создать такую трассу в открытом океане с глубинами в несколько километров весьма затруднительно. Поэтому для проведения исследований два научно-исследовательских судна (излучающее и приемное) были поставлены на якоря над вершинами подводных гор Жозефин и Ампер. Они расположены в восточной части Атлантического океана недалеко от Гибралтарского пролива. Глубина океана вокруг них достигает 4000–4900 м.

Остановимся более подробно на акустико-океанологических условиях проведения экспериментов.

Непосредственно перед постановкой судов на якоря были выполнены подробные топографические съемки в районе подводных гор. Для приме-

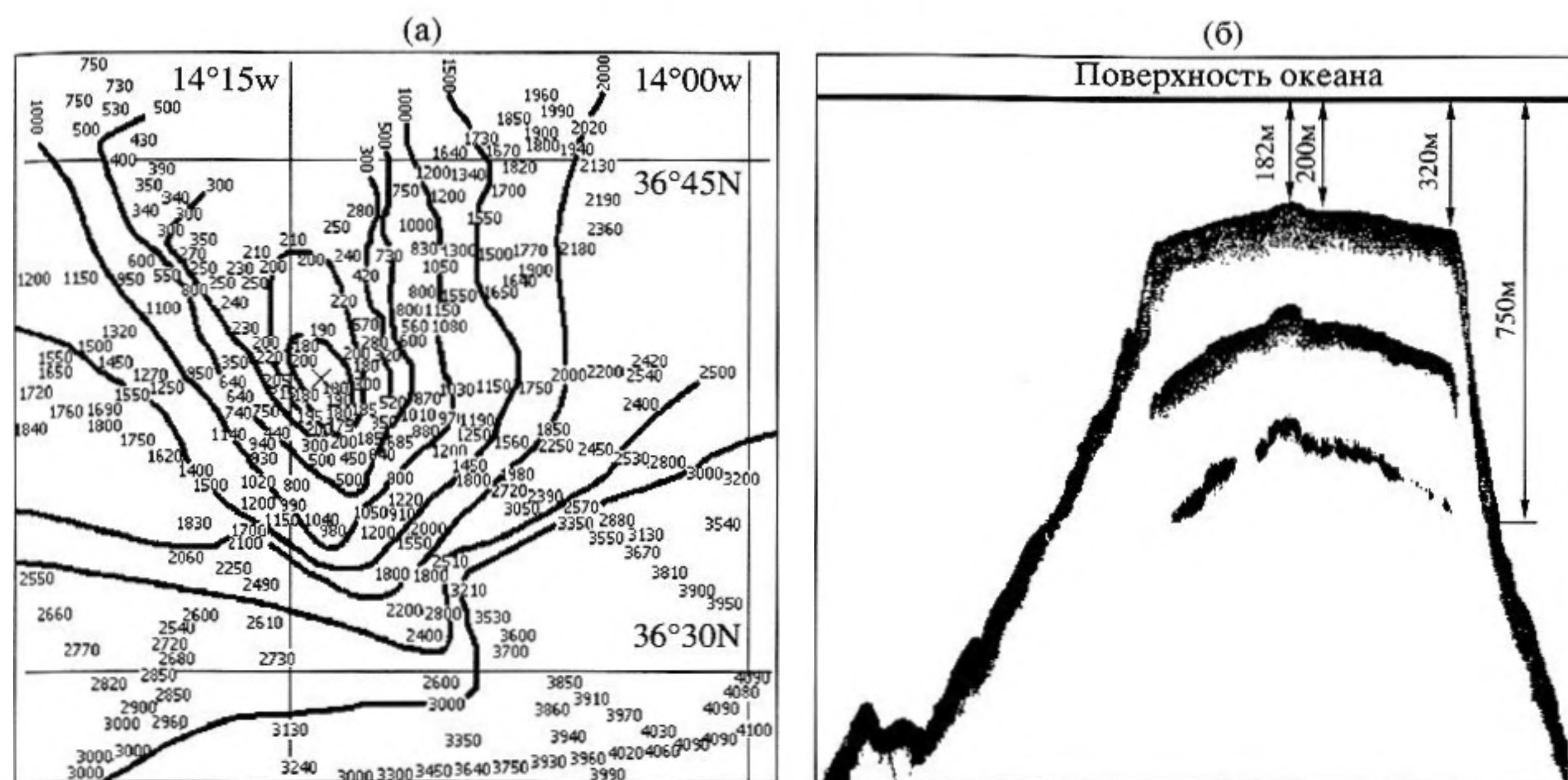


Рис. 1. Результаты топографической съемки вокруг горы Жозефин (а) и рельеф горы, полученный с помощью специального эхолота (б). Значком отмечено местоположение излучающего судна.

ра на рис. 1а представлены результаты такой съемки вокруг горы Жозефин, а на рис. 1б – вид этой горы, полученный с помощью специальных эхолотов. Несколько повторений вершины горы на рис. 1б получены из-за многократных отражений эхолотного импульса от самой вершины и от поверхности океана. Видно, что вершина горы представляет собой практически выровненное плато с очень крутыми (до  $30^\circ$ ) склонами.

В соответствие с полученными данными о донном рельефе в районе выбранных подводных гор излучающее судно встало на якорь над вершиной горы Жозефин при глубине места  $H \approx 180$  м, а приемное – над вершиной горы Ампер с  $H \approx 140$  м. Расстояние между точками излучения и приема составляло  $\sim 210$  км. Как известно, длина выпущенных за борт якорных цепей обычно превышает глубину места примерно в 1.5 раза. Поэтому положение судов могло изменяться в некоторых пределах, определяемых как длиной якорных цепей, так и ветровой обстановкой и существующими подводными течениями. Поскольку возможные изменения дистанции между излучателем звука и приемной системой обычно невелики, такие трассы обычно принято называть стационарными. Но строго говоря, эксперименты фактически проводились на трассе, которая предполагалась квазистационарной.

В связи с тем, что склоны подводных гор в непосредственной близости от их вершин имели наклон от  $15^\circ$  до  $30^\circ$ , уже на расстоянии 20 км от излучателя и 30 км от приемной системы глубина океана достигала 4000 метров, а максимальная

глубина на трассе распространения была равна  $\sim 4900$  м. Таким образом, на большей части 210-километровой трассы распространения звуковых сигналов глубина океана превышала 4 километра. Излучатель был опущен на глубину 110 м, а центр приемной 40-метровой антенны находился на глубине 55 м. На рис. 2 представлен генеральный рельеф дна вдоль исследуемой трассы, а в центральной врезке приведена измеренная зависимость скорости звука от глубины  $c(z)$ .

Как видим, условия распространения сигналов характеризовались двумя связанными между собой волноводами – во-первых, подводным звуковым каналом с осью на глубине 500 м и, во-вторых, подводным звуковым каналом с осью на глубине  $\sim 2000$  м. При проведении акустических опытов скорость ветра в точках излучения и приема изменялась в пределах 8–10 м/с. На поверхности океана преобладало ветровое волнение, состояние поверхности соответствовало  $\sim IV$  баллам (среднеквадратичное отклонение поверхности составляло 0.3–0.5 м).

Эксперименты проводились следующим образом. Непрерывный псевдошумовой сигнал в третьоктавной полосе от  $\sim 560$  до  $\sim 710$  Гц со средней частотой 630 Гц излучался ненаправленным источником на судне, стоявшем над горой Жозефин. Многолучевой сигнал принимался на другом судне, стоявшем над горой Ампер, с помощью 40-метровой линейной вертикальной антенной, состоящей из 296 неэквидистантно расположенных приемников, объединенных в 74 фазовых центра. Сформированный цифровым способом, статический “веер” из 32-х лепестков диаграммы

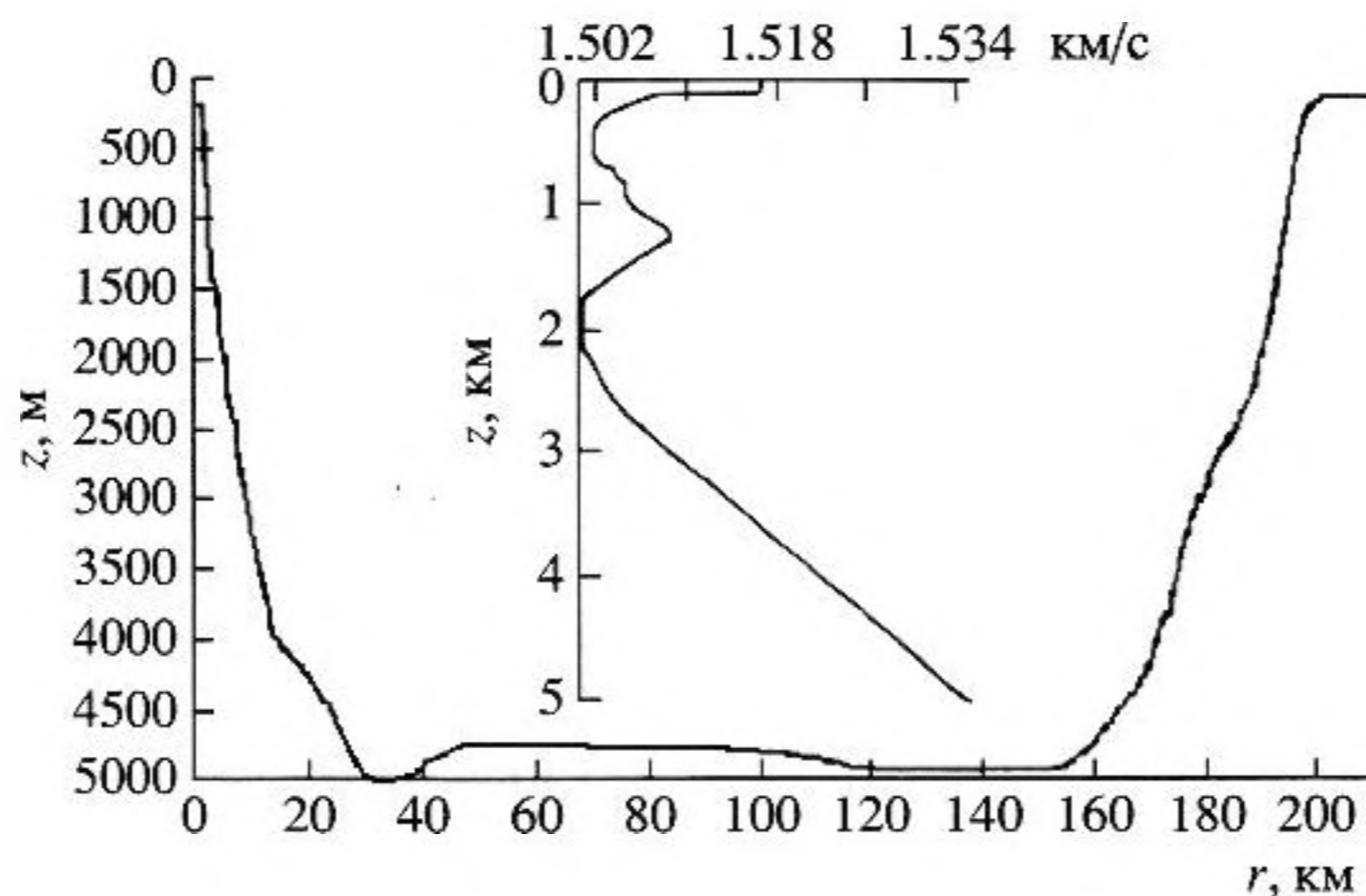


Рис. 2. Генеральный рельеф дна вдоль 210-километровой трассы и профиль скорости звука (в центре).

направленности обеспечивал просмотр угловой структуры поля в вертикальной плоскости в диапазоне  $\pm 48^\circ$  (знак “+” присвоен сигналам, приходящим на антенну сверху, знак “-” – приходящим снизу). На средней частоте сигнала 630 Гц пространственное разрешение каждого из 32-х лепестков диаграммы направленности составляло  $\sim 3^\circ$  (по уровню 0.7). Отметим, что интервал корреляции, определяемый полосой излучаемого сигнала, равен 7 мс.

Для корреляционной обработки были выбраны только те лепестки, жестко связанные с углами прихода сигналов в вертикальной плоскости, в которых превышение сигнала над помехой было наибольшим. Определялись величины коэффициентов взаимной корреляции, а также разности времен прихода (так называемый временной спектр) между сигналами, принятыми разными лепестками статического веера, т.е. между сигналами, пришедшими под разными углами.

Перейдем к рассмотрению результатов корреляционной обработки сигналов.

На рис. 3 (а, б, в) слева изображены амплитуды сигналов  $A$ , принимавшихся тремя лепестками диаграммы направленности статического веера. По оси ординат отложены в линейном масштабе амплитуды, усредненные по односекундной реализации принятых сигналов; по оси абсцисс – время наблюдения в минутах  $t$ , причем интервал между измерениями был равен 1 минуте. Сверху указаны углы наклона  $\alpha$  лепестков диаграммы направленности статического веера:  $\alpha_1 = 2.7^\circ$ ,  $\alpha_2 = -6.7^\circ$  и  $\alpha_3 = -5.4^\circ$ . Необходимо отметить, что все амплитуды в рассматриваемых реализациях (а, б, в) нормированы, т.е. отнесены к одному и тому же максимальному значению, встречающемуся в одной из них. В качестве “опорного” при вычислении функций взаимной корреляции был выбран сигнал с наибольшим отношением сиг-

нал/помеха из той реализации, временные изменения амплитуды и спектр которого приведены на рис. 3а. На каждом из графиков  $A(t)$  (рис. 3 а, б, в) первые значения (более жирные линии) позволяют оценить уровень помехи, приходящей под указанными углами  $\alpha$ , так как они зарегистрированы в моменты, когда излучение полезного сигнала отсутствовало.

Справа на рис. 3 приведены (в логарифмическом масштабе) энергетические спектры  $S(f)$  принятых сигналов. Отношение сигнал/помеха в диапазоне частот 0.56–0.71 кГц, как можно видеть на кривых  $S(f)$ , не превышало 3 дБ. Небольшая величина отношения сигнал/помеха в опыте объясняется не только потерями в уровнях сигналов при их отражениях от дна и частично от взволнованной поверхности океана, но и относительно большими собственными шумами работающих механизмов приемного судна. В частности, центр приемной антенны был удален от корпуса судна всего на 55 м, а верхние приемники и того меньше – на 35 м.

Зависимости коэффициента взаимной корреляции  $R$  от временной задержки  $\tau$ , полученные при времени усреднения 1.024 с, показаны на рис. 4 (а, б). Здесь по осям ординат отложены в линейном масштабе величины коэффициентов взаимной корреляции  $R$ , а по осям абсцисс – задержки между сигналами  $\tau$  в диапазоне  $\pm 100$  мс. На нем для двух пар направлений прихода сигналов представлены, для примера, 16 последовательных реализаций  $R(\tau)$ , соответствующих 15-минутному времени наблюдения. Рис. 4а относится к случаю определения взаимной корреляции между сигналами, попадающими в два лепестка диаграммы направленности, один из которых направлен под углом  $\alpha_1 = 2.7^\circ$ , а другой – под углом  $\alpha_2 = -6.7^\circ$ . На рис. 4б приведены аналогичные графики взаимной корреляции между сигналами с углами прихода  $\alpha_1 = 2.7^\circ$  и  $\alpha_3 = -5.4^\circ$ .

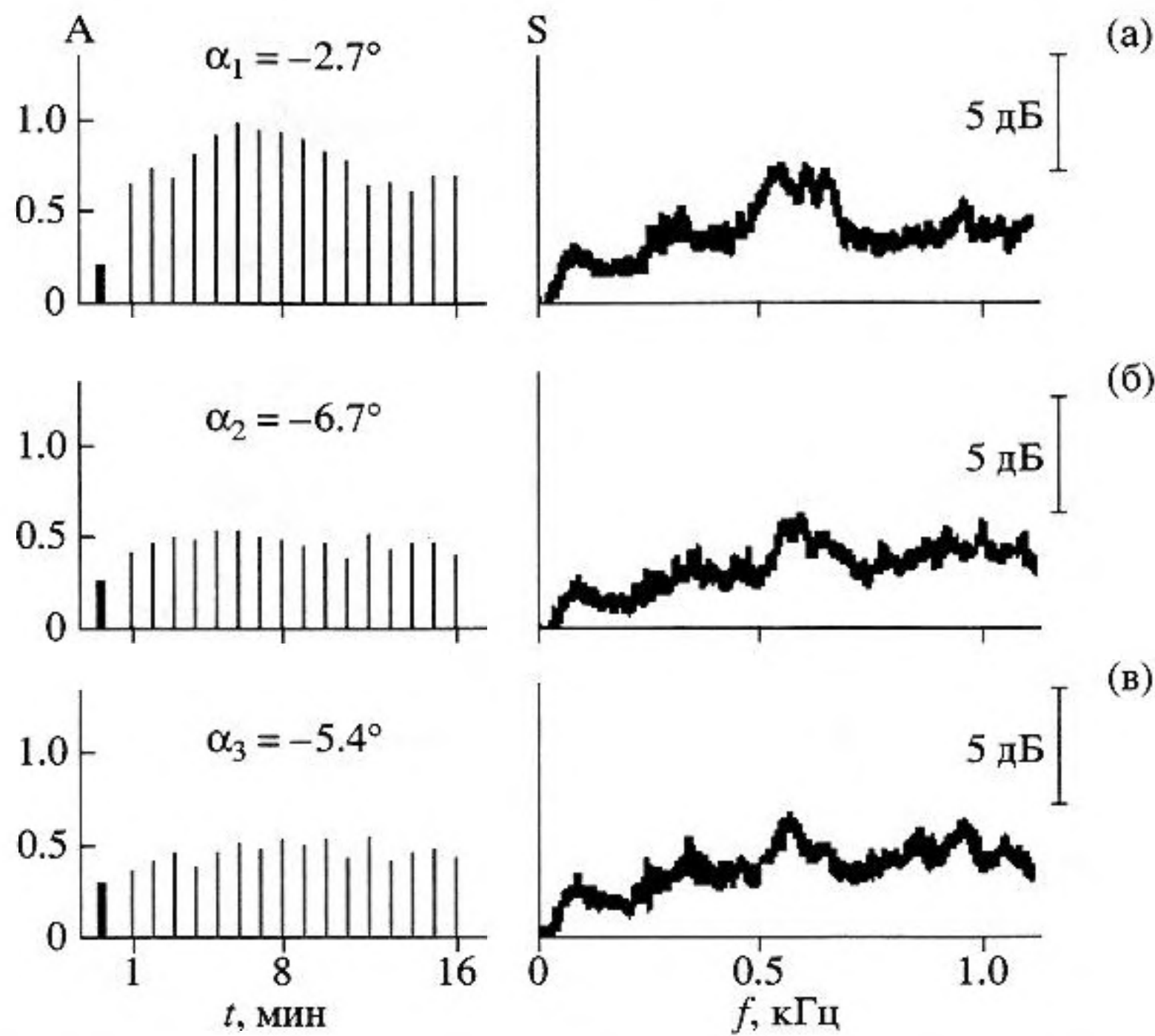
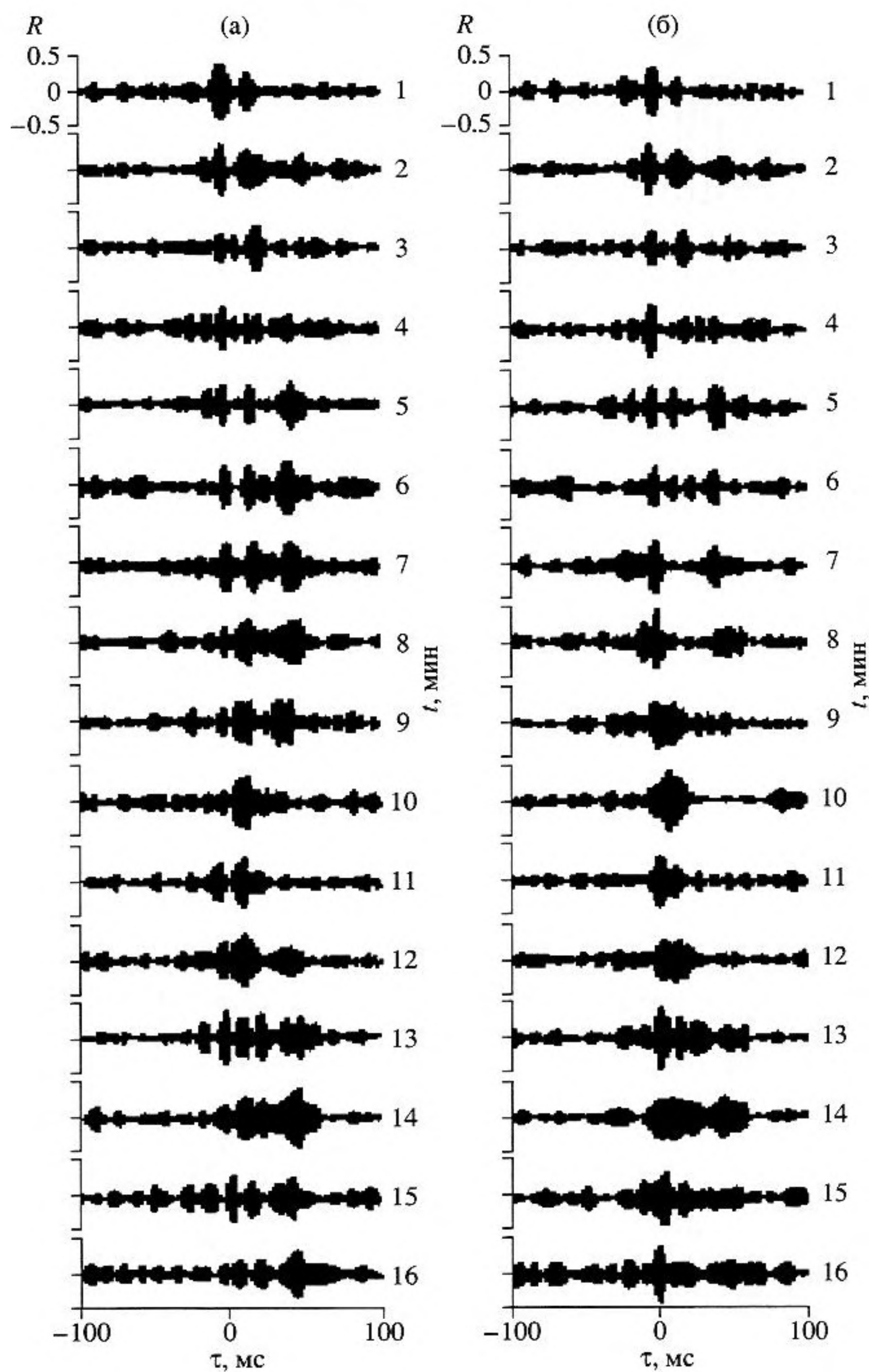


Рис. 3. Амплитуды (слева) и частотные спектры (справа) сигналов, принимавшихся диаграммами направленности статического веера.

а – для угла прихода  $\alpha_1 = 2.7^\circ$ ;  
 б – для угла прихода  $\alpha_2 = -6.7^\circ$ ;  
 в – для угла прихода  $\alpha_3 = -5.4^\circ$ .

Многопиковый характер  $R(\tau)$  является следствием многолучевого распространения сигналов. Он обусловлен тем, что некоторые сигналы, хотя и распространяются по различным лучам, имеют мало отличающиеся углы прихода и поэтому попадают в одни и те же лепестки диаграммы направленности антенны. При этом, как видно из рис. 4, практически каждая последующая реализация  $R(\tau)$  отличается по форме корреляционных пиков от предыдущей, разделенной от нее всего лишь одноминутным интервалом. К тому же многие реализации содержат различное количество корреляционных пиков, которое в некоторых случаях доходит до пяти-семи. Естественно, что при этом значения коэффициента взаимной корреляции каждого из сигналов, принятых двумя различными лепестками диаграммы направленности, заметно уменьшаются. Это связано с тем, что другие сигналы в этих же лепестках, пришедшие вне интервала корреляции, определяемого полосой частот, выполняют для них роль сигнальной помехи. Поэтому величины коэффициентов корреляции, даже для наибольших пиков в каждой реализации, невелики и лежат для сигналов с углами прихода  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  в пределах 0.32–0.44, а для сигналов с углами прихода  $\alpha_1$  и  $\alpha_3$  – в пределах 0.27–0.48.

Временные спектры, т.е. совокупность разностей времен прихода одного и того же сигнала, принятого различными лепестками, представлены на рис. 5. Для сигналов с углами прихода  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  они изображены на рис. 5а, а для сигналов с углами  $\alpha_1$  и  $\alpha_3$  – на рис. 5б. Здесь по оси ординат отложены величины задержек  $\tau$ , соответствующие положениям корреляционных пиков по оси  $\tau$  на рис. 4, а по оси абсцисс – моменты времени, в которые они были зарегистрированы. Различные значки соответствуют разным величинам коэффициента взаимной корреляции  $|R|$ : “•” относятся к величинам  $|R| \geq 0.3$ , “×” – к  $|R| < 0.3$ . Несмотря на нестабильность задержек  $\tau$ , во временных спектрах (рис. 5) удается проследить несколько более или менее устойчивых составляющих. Именно они и указывают на попадание в одни и те же лепестки диаграммы направленности нескольких сигналов с различными временами распространения по разным лучам, которые удастся разрешить при корреляционной обработке. Эти составляющие имеют средние значения разностей времен прихода:  $\sim 3$  мс,  $\sim 13$  мс и  $\sim 43$  мс для сигналов с углами поворота лепестков  $\alpha_1 = 2.7^\circ$  и  $\alpha_2 = -6.7^\circ$  (рис. 5а), а также  $\sim 0$  мс и  $\sim 14$  мс при  $\alpha_1 = 2.7^\circ$  и  $\alpha_3 = -5.4^\circ$  (рис. 5б). Среднеквадратичные значения флуктуаций  $\sigma_\tau$  (усредненные по 9–15 измерениям) изменяются в пределах 2.1–3.1 мс и 1.8–2.5 мс соответственно. Указан-



**Рис. 4.** Изменчивость коэффициента взаимной корреляции. а – между сигналами с углами прихода  $\alpha_1 = 2.7^\circ$  и  $\alpha_2 = -6.7^\circ$ ; б – то же с углами прихода  $\alpha_1 = 2.7^\circ$  и  $\alpha_3 = -5.4^\circ$ .

ные величины  $\sigma_\tau$  превышают аналогичные значения, полученные в экспериментах по изучению распространения звука в условиях подводного звукового канала на тех же дистанциях в глубоком океане.

На рис. 6а приведена лучевая картина распространения звука, особенностью которой является четкое разделение лучей на две группы: одна

часть сигналов распространяется только в пределах верхнего звукового канала, а другая – проходит по всей толщине волновода. Расчет структуры звукового поля на рассматриваемой трассе показал, что энергонесущие сигналы, распространяющиеся только в пределах верхнего звукового канала, имеют углы выхода из источника, расположенного над вершиной горы Жозефин, не

превышающие  $\sim \pm 5-6^\circ$ . При этом эти сигналы не менее одного раза отражаются от наклонного дна на вершине горы. Все остальные энергонесущие сигналы, идущие по лучам с углами выхода более  $6^\circ$ , также отражаются от дна, но проходят уже по всей толщине волновода. В районе горы Ампер сигналы опять отражаются от наклонного дна и попадают на приемную антенну. Лучи, соответствующие направлениям прихода этих сигналов, изображены на рис. 6б. При рассмотрении этого конечного участка трассы видны три группы лучей, в каждой из которых, согласно расчету, имеется несколько лучей с близкими углами скольжения. Одна группа имеет угол прихода  $\sim 2^\circ$ , вторая  $\sim -8.5^\circ$  и, наконец, третья  $\sim -6^\circ$ .

Практически именно эти три группы сигналов и принимались в эксперименте тремя лепестками статического веера диаграммы направленности антенны. В остальных 29 лепестках веера сигналы не были зарегистрированы, так как не превышали уровень помехи. Прием большого числа сигналов каждым из трех лепестков диаграммы, как уже упоминалось, привел, с одной стороны, к многопиковости корреляционных функций, а с другой – к снижению величины каждого из отдельных пиков. К тому же практически через каждую минуту структура корреляционных функций претерпевала заметные изменения.

Однако такую изменчивость временных спектров и величин коэффициента корреляции не следует связывать напрямую с тем, что измерения проводились на квазистационарной трассе, т.е. при определенных изменениях дистанции между излучающей и приемной системами, обусловленными подводными течениями и ветровым воздействием на заякоренные суда. В условиях квазистационарной трассы расстояние между судами в течение такого короткого времени могло измениться из-за указанных выше причин максимум-максимум на несколько десятков метров (20–30 м). Более того, как показывают расчеты, дистанция между заякоренными судами за все время экспериментов (при самом неблагоприятном стечении обстоятельств) вообще могла измениться не более чем на несколько сотен метров (200–300 м). Такие изменения при работе в глубоком океане на дистанциях  $\sim 200$  км не приводят к заметной перестройке структуры звукового поля. Известно, например, что даже на дрейфующих судах получают устойчивые и повторяющиеся при последующих измерениях корреляционные характеристики сигналов, угловые и временные спектры звукового поля [5–7], в том числе и при работах на глубоководном участке рассматриваемой трассы [8]. Иначе обстоит дело в обсуждаемом случае. Перемещения относительно дна точек излучения и приема, расположенных на мелководье, приводят к изменению участков наклонного дна, на которых происходят отражения

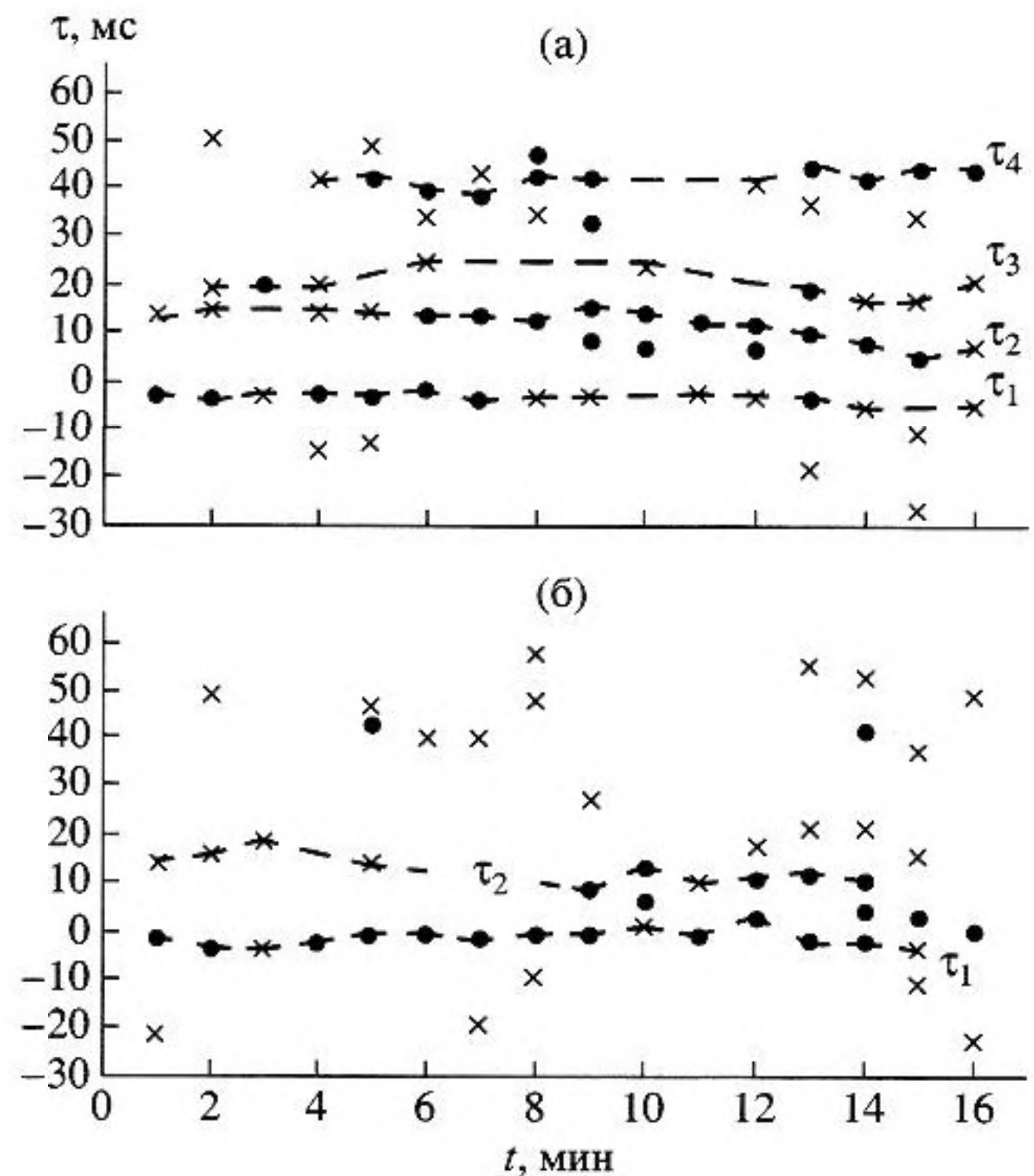


Рис. 5. Изменчивость временных спектров.  
а – для сигналов с углами прихода  $\alpha_1 = 2.7^\circ$ ,  $\alpha_2 = -6.7^\circ$ ;  
б – то же с углами прихода  $\alpha_1 = 2.7^\circ$ ,  $\alpha_3 = -5.4^\circ$ .

сигналов, причем к различному для разных лучей. Поэтому незначительные изменения местоположения корреспондирующих точек по-разному сказывается на временных задержках сигналов, попадающих в один и тот же лепесток, но распространяющихся по различным лучам. Однако, как показывают расчеты, небольшие смещения корреспондентов, которые могут произойти в течение одной минуты, не должны приводить к таким изменениям структуры поля, которые наблюдались в экспериментах.

Другой причиной наблюдавшихся изменений поля и, по-видимому, основной могут быть короткопериодные внутренние волны, которые связаны с наличием ярко выраженного слоя скачка (см. рис. 2). Этот слой расположен на глубинах от 65 м до 110 м, где скорость звука изменяется на 10.5 м/с. При дальнейшем заглублении скорость продолжает уменьшаться вплоть до дна на каждой из вершин подводных гор, правда, с меньшими градиентами. Во-первых, такой ход зависимости скорости звука с глубиной приводит к тому, что все лучи на очень коротком начальном и конечном участке трассы отражаются от дна (об этом уже говорилось раньше). Во-вторых, в рассматриваемых районах на мелководных участках трассы в слое скачка практически всегда должны существовать короткопериодные внутренние волны, верхняя частота которых соответствует

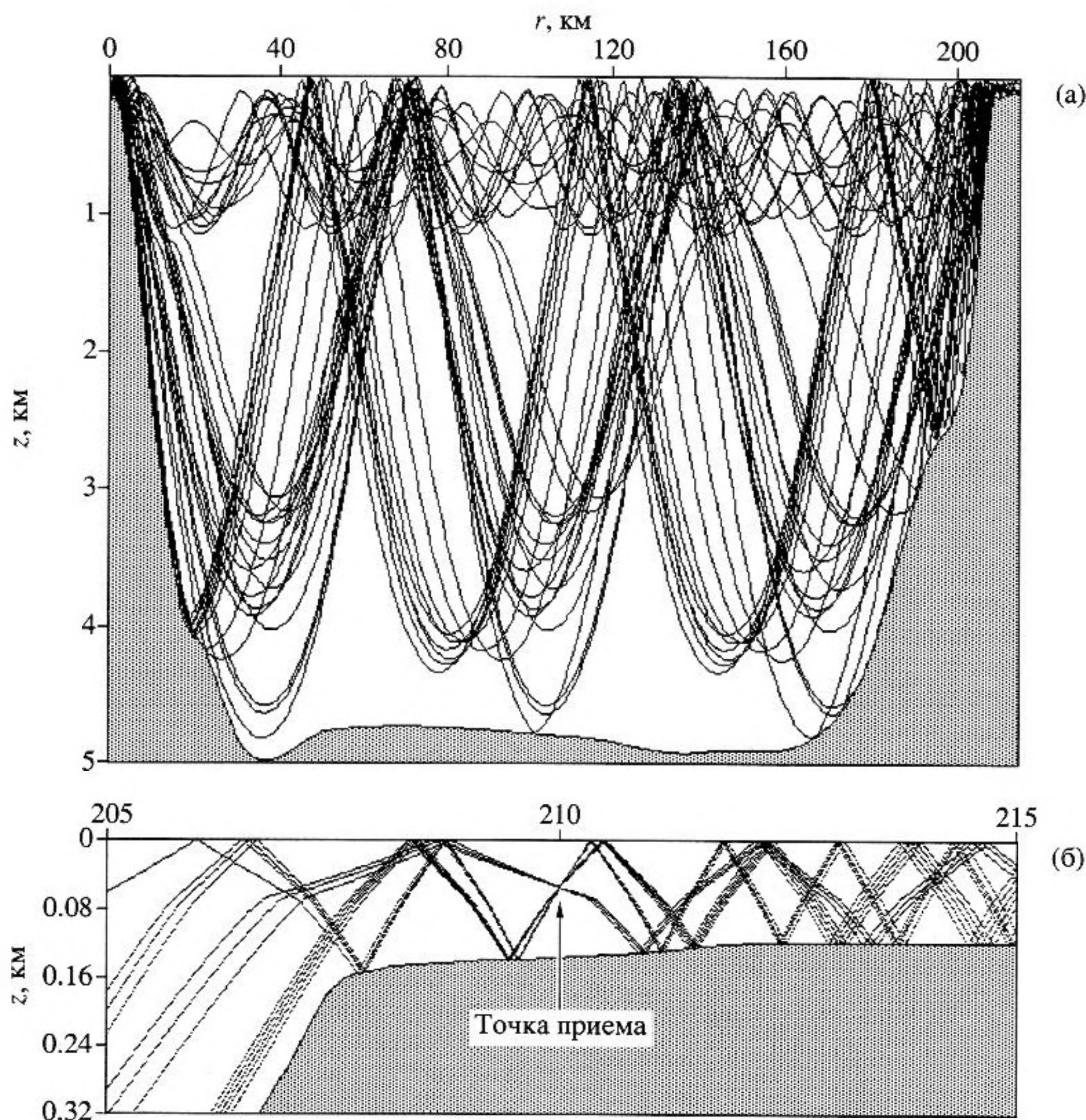


Рис. 6. Лучевая картина поля между подводными горами Жозефин и Ампер (а) и ее фрагмент в месте расположения приемной антенны (б).

частоте Брента-Вяйсяля. Она определяется по формуле (см., например, [9]):

$$N = \left( \frac{g d\rho}{\rho dz} - \frac{g^2}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}} \approx \left( \frac{g d\rho}{\rho dz} \right)^{\frac{1}{2}},$$

где  $N$  – круговая частота,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\rho$  – плотность воды,  $z$  – глубина,  $c$  – скорость звука в воде.

Для указанного выше перепада скоростей  $\Delta\rho \approx 1.33 \times 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup> и таким образом  $\frac{d\rho}{dz} \approx 2.9 \times 10^{-5}$  г/см<sup>4</sup> и, следовательно,  $N \approx 1.7 \times 10^{-5}$  с<sup>-1</sup>, а минимальный период внутренней волны  $T \approx 6.5$  мин.

Таким образом, описанные эксперименты, скорее всего, проходили при наличии короткопериодных внутренних волн с периодом, характерным для рассматриваемых условий и равным 10–20 мин. Такие волны, как известно, распростра-

ются со скоростью 1–1.5 м/с. Поэтому на мелководье, даже за одну минуту, гидрологические условия в верхнем узком слое воды непрерывно изменялись, что приводило к изменению вертикальной рефракции лучей. Следует заметить, что в отличие от горизонтальной рефракции внутренние волны влияют на вертикальную рефракцию при любом направлении распространения их относительно исследуемой трассы. Переменная вертикальная рефракция в верхнем слое приводит к существенно большим пространственным изменениям участков наклонного дна, на которых происходят отражения сигналов, чем незначительное перемещение корреспондирующих точек в пространстве, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Рассмотрев результаты проведенных экспериментов на квазистационарной трассе, включающей подводные горы Жозефин и Ампер, можно подвести некоторые итоги.

Были исследованы корреляционные характеристики непрерывных псевдошумовых сигналов в диапазоне частот 0.56–0.71 кГц и стабильность временных спектров на 210-километровой трассе.

Показано, что практически каждая реализация взаимокорреляционной функции сигналов, приходящих в различные лепестки диаграммы направленности, отличается от предыдущей, разделенной от нее коротким одноминутным интервалом. Это связано с приемом каждым из лепестков диаграммы нескольких сигналов, число которых иногда доходит до семи. Поэтому даже незначительные флуктуации интенсивности сигналов и времен распространения их по лучам, соединяющим корреспондирующие точки, приводят к заметным изменениям формы отдельных корреляционных пиков.

Показано, что из-за многолучевости, приводящей к появлению сигнальной помехи, максимальные величины коэффициентов взаимной корреляции сигналов, принятых под разными углами в вертикальной плоскости, не превышают 0.44–0.48.

Рассмотрены различные причины, которые за короткий одноминутный интервал времени могут привести к изменениям взаимокорреляционных функций и разностей времен прихода сигналов в месте расположения приемной системы. Отмечается, что основной причиной, скорее всего, были короткопериодные внутренние волны с периодом 10–20 минут, существующие в районе вершин подводных гор Жозефин и Ампер. Из-за этого среднеквадратичные значения флуктуаций разностей времен прихода сигналов достигают 2.5–3.1 мс, что заметно превышает аналогичные значения, полученные на тех же дистанциях в глубоком океане.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 03-02-16565, № 02-02-17325 и НШ-1277.2003.5).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Knobles D. P., Koch R. A., Thompson L. A., Focke K. C., Eisman P. E.* Broadband sound propagation in shallow water and geoacoustic inversion // *J. Acoust. Soc. Amer.* 2003. V. 113. № 1. P. 205–222.
2. *Joseph P.* Complex reflection phase gradient as an inversion parameter for the prediction of shallow water propagation and the characterization of sea-bottoms // *J. Acoust. Soc. Amer.* 2003. V. 113. № 2. P. 758–768.
3. *Oba R., Finette S.* Acoustic propagation through anisotropic internal wave fields: Transmission loss, cross-range coherence, and horizontal refraction // *J. Acoust. Soc. Amer.* 2002. V. 111. № 2. P. 769–784.
4. *Dungan M.R., Dowling D.R.* Orientation effects on linear time-reversing array retrofocusing in shallow water // *J. Acoust. Soc. Amer.* 2002. V. 112. № 5. Pt. 1. P. 1842–1852.
5. *Галкин О.П., Панкова С.Д.* Экспериментальные исследования временной и корреляционной структуры звуковых полей в глубоком океане. // *Акуст. журн.* 1995. Т. 41. № 2. С. 216–222.
6. *Галкин О.П., Панкова С.Д.* Временные спектры и корреляционная структура звуковых полей на больших дистанциях в глубоком океане. // *Акуст. журн.* 1998. Т. 44. № 1. С. 57–63.
7. *Галкин О.П., Панкова С.Д.* Пространственная корреляция гидроакустических сигналов в двухосевом подводном звуковом канале // *Акуст. журн.* 2000. Т. 46. № 4. С. 467–472.
8. *Авилов К.В., Галкин О.П., Ленец А.Е., Попов О.Е., Швачко Л.В.* Сравнение экспериментальной структуры звукового поля в глубоком океане с результатами расчета по лучевой и волновой программам // *Акустика океана. Доклады IX школы-семинара акад. Л.М. Бреховских. М. ГЕОС. С. 37–40. 2002.*
9. *Распространение звука во флуктуирующем океане* под ред. С. Флатте, М.: "Мир", 1982. С. 20.

## Characteristics of Sound Signals on a Quasi-Stationary Track between the Josephine and the Ampere Seamounts

O. P. Galkin and S. D. Pankova

*Andreev Acoustics Institute, Russian Academy of Sciences, ul. Shvernika 4, Moscow, 117036 Russia*

*e-mail: bvp@akin.ru*

**Abstract**—Experimental data are presented on the measurement of the cross-correlation coefficients and the differences of arrival times (temporal spectra) of acoustic signals transmitted through a 210-km-long quasi-stationary track in the Atlantic Ocean. At the summit of the Josephine Seamount, a continuous pseudonoise signal was emitted in the one-third-octave band with a mean frequency of 630 Hz. The signal was received at the Ampere Seamount by a 40-m flexible vertical array with a directivity pattern in the form of a static fan of 32 lobes. The width of each lobe was  $\sim 3^\circ$ . At a signal-to-noise ratio of about 3 dB and an incomplete resolution of multipath signals by the array, the correlation coefficients reached a value of 0.48. The rms fluctuations of the differences in arrival times varied from 1.8 to 3.1 ms depending on the signal arrival angles. The factors responsible for the low correlation coefficients and the relatively high fluctuations of the arrival time differences are discussed. Apparently, one of the factors is the presence of short-period internal waves.