АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2006, том 52, № 4, с. 571–574

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 531.463

ВЛИЯНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ В ГЛУБОКОМ ОКЕАНЕ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНУЮ ИНТЕРФЕРЕНЦИЮ ШУМОВОГО СИГНАЛА

© 2006 г. А. А. Аредов, В. И. Неклюдов

Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева РАН
117036 Москва, ул. Шверника 4
E-mail: bvp@akin.ru

Поступила в редакцию 22.06.05 г.

Приведены результаты компьютерного моделирования изменчивости пространственно-частотной интерференции шумового сигнала в зонах тени и конвергенции для глубокого океана. Расчеты выполнены для стабильной гидрологии при изменении дистанции между источником и приемником и для фиксированной дистанции при изменении гидрологической обстановки, имитирующей прохождение внутренней волны. Расчетные данные по интерференционной структуре спектра мощности сигнала сопоставлены с результатами эксперимента, проведенного в одном из районов вблизи Гавайских островов в Тихом океане.

PACS: 43.30.Re

При излучении шумового сигнала в океане в точке приема происходит смещение по частоте интерференционных максимумов спектра мощности принятого сигнала как при изменении дистанции между источником и приемником, так и при фиксированных точках излучения и приема. В последнем случае основными факторами смещения по частотной оси максимумов интерференции являются такие динамические процессы в океане, как внутренние волны, охлаждение или прогрев вод, течения и т.д. [1–3].

Результаты компьютерного моделирования влияния внутренней волны и прогрева поверхностного слоя воды на интерференционную структуру шумового сигнала рассмотрены в работе [4] для условий шельфовой зоны мелкого моря применительно к работе автогенераторного метода мониторинга среды [5]. Для целей мониторинга морской среды представляет интерес рассмотрение влияния гидрологической изменчивости на интерференционную структуру спектра мощности шумового сигнала для условий глубокого океана в зонах тени и конвергенции.

Были сделаны расчетные оценки изменчивости интерференции шумового поля для глубокого океана в зоне тени и в зоне конвергенции для стабильных гидрологических условий при изменении дистанции между источником и приемником и для фиксированных точек приема и излучения при изменении положения слоя скачка, имитирующего прохождение длиннопериодной внутренней волны. Использовалась разработанная в Акустическом институте Вагиным А.В. лучевая программа, позволяющая рассчитывать звуковое поле в точке приема путем суммирования приходящих лучей с учетом их фазы. При расчетах, в обоих случаях, использовалась модель плоскослоистого волновода глубиной 5200 м с вертикальным профилем скорости звука тропического типа (скорость звука у поверхности – 1540 м/с, у дна – 1550 м/с, на оси подводного звукового канала (750 м) – 1483 м/с). Расчет проводился для дискретных частот в диапазоне (1–3) кГц. На всех этих частотах интенсивности излучаемых монохроматических сигналов брались одинаковыми. При этом предполагалось, что частотная зависимость интенсивности сигнала в точке наблюдения будет повторять форму спектра мощности принимаемого шумового сигнала (при условии, что излучается белый шум). Расчетные данные по изменчивости спектра мощности шумового поля при изменении дистанции были сопоставлены с экспериментальными, полученными в одном из районов Тихого океана вблизи Гавайских островов с характерным для тропических условий профилем скорости звука.

Исследовалась динамика изменения пространственно-частотной интерференционной структуры шумового поля для первой зоны тени и начала первой зоны конвергенции. Результаты расчета интерференции по частоте в первой зоне тени при изменении дистанции между источником и приемником показали отсутствие четко выраженного чередования максимумов и минимумов интерференционной структуры. Это обусловлено, по-видимому, тем фактом, что шумовое поле формирует-

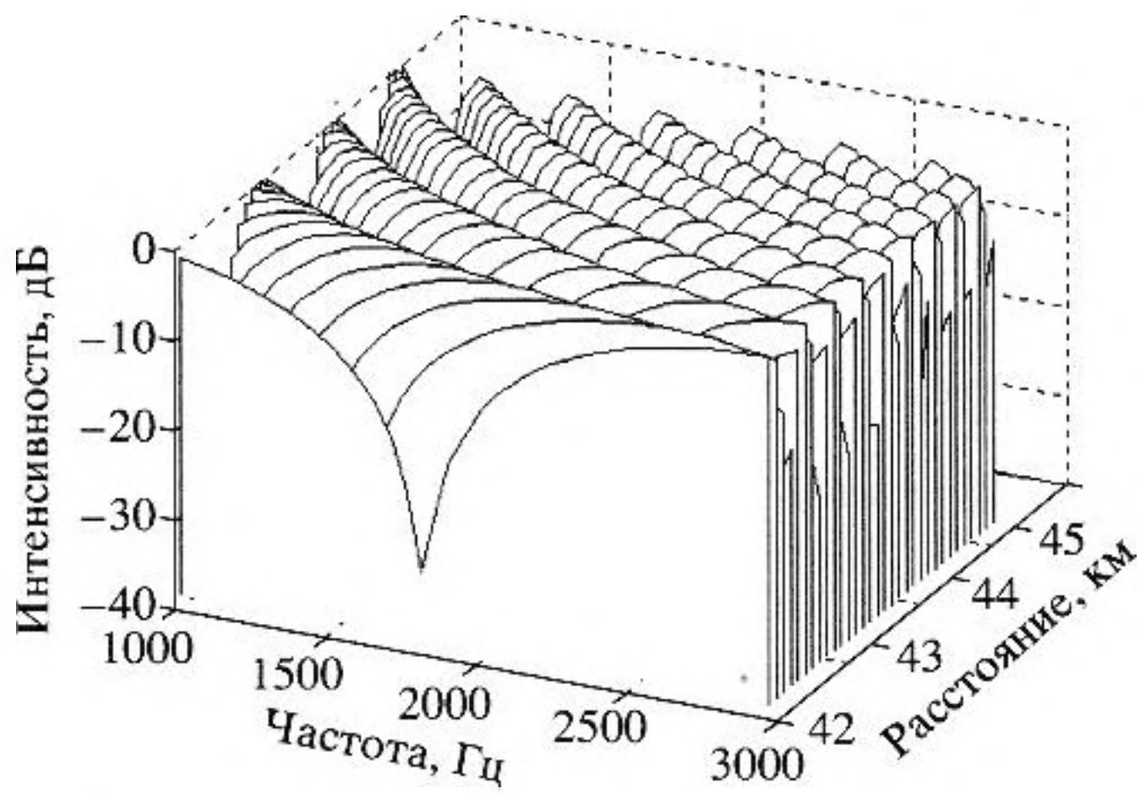

Рис. 1. Зависимость интерференционной структуры спектра мощности шумового сигнала от расстояния между точками излучения и приема.

ся в зоне тени большим числом лучей, отраженных от дна и поверхности со случайными фазами.

В отличие от зоны тени, в начале первой зоны конвергенции поле формируется водными лучами, которые для шумового источника создают четкую пространственно-частотную интерференционную картину с хорошо выраженными максимумами и минимумами. На рис. 1 представлены результаты расчета пространственно-частотной интерференции спектра мощности шумового поля для частот от 1 кГц до 3 кГц при излучении на глубине 250 м и приеме на глубине 500 м (в соответствии с условиями эксперимента) при изменении дистанции от 41.9 км до 45 км с шагом 100 м, соответствующих началу первой зоны конвергенции. На рисунке хорошо прослеживается плавное уменьшение масштаба интерференции по частоте с увеличением дистанции, связанное с ростом временной задержки между двумя приходящими водными лучами, один из которых выходит из источника вниз (ко дну), а другой вверх (к поверхности). Звуковое поле в начале первой зоны конвергенции формируется именно этими энергонесущими лучами. Расчет времен прихода лучей в точку приема показал, что, например, для дистанции 42 км (начало зоны конвергенции) углы выхода этих лучей из источника составляют –3.12° и 4.07° (знак минус соответствует направлению вверх), при этом углы прихода равны –9.67° и –10.01°, а разность времен прихода в точке приема составила 1 мс. С увеличением дистанции до 45 км энергонесущие лучи, вышедшие под углами –6.22° и 7.12°, приходят под углами –11.05° и –11.58°, соответственно, с разностью во времени 4 мс, что приводит к уменьшению масштабов интерференции по частоте. Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными, приведенными для примера на рис. 2 для расстояний,

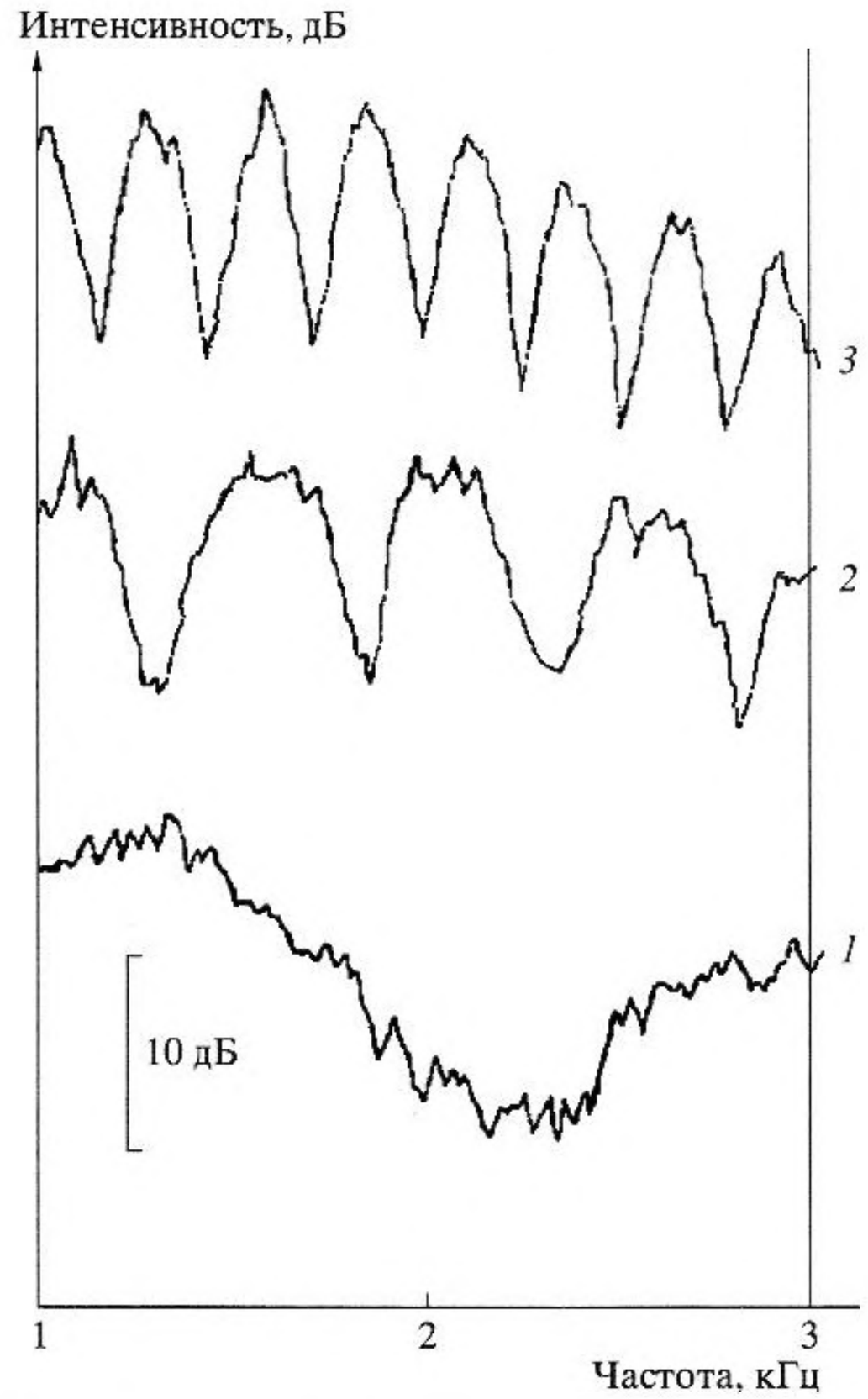

Рис. 2. Результаты измерения интерференционной структуры поля шумового источника в начале первой зоны конвергенции.

1 – начало зоны конвергенции,

2 и *3* – середина и конец участка зоны конвергенции, для которого проводились расчеты.

соответствующих расчетным кривым для начала, середины и конца исследуемого диапазона дистанций (см. рис. 1). Как в эксперименте, так и в расчете в начале зоны конвергенции наблюдается крупномасштабная интерференция по частоте (кривая *1* на рис. 2), которая определяется водными лучами с малыми временными задержками, с ростом дистанции происходит плавное уменьшение масштабов интерференции по частоте (кривые *2* и *3* на рис. 2).

При фиксированном расположении источника и приемника изменение масштабов интерференции шумового поля по частоте может происходить лишь из-за изменчивости гидрологических условий на трассе распространения звука. Одной из возможных причин таких изменений интерференции может явиться прохождение длиннопериодной внутренней волны, приводящей к изменению положения слоя скачка в профиле скорости

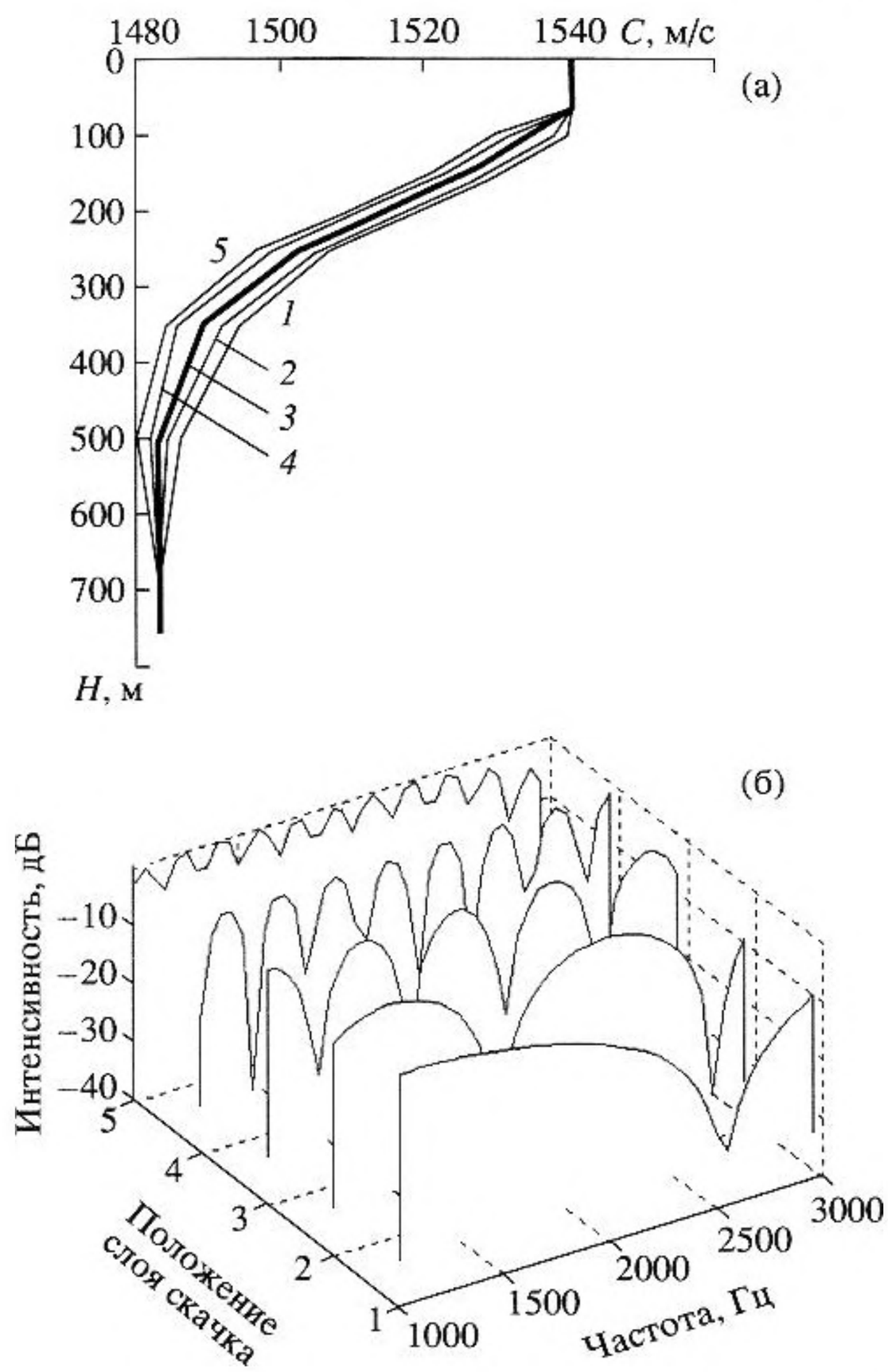

Рис. 3. Изменение масштабов интерференции шумового поля по частоте при изменении положения слоя скачка в профиле скорости звука (расстояние между точками излучения и приема 44 км).

а – положение слоя скачка при расчетах,

б – зависимость интерференционной структуры поля от положения слоя скачка.

звука. Для оценки влияния этого механизма на интерференционную структуру шумового поля были проведены расчеты для начала первой зоны конвергенции при смещении слоя скачка скорости звука. На рис. 3а представлены данные по положению слоя скачка, для которых были проведены расчеты интерференционной структуры спектра мощности шумового поля, представленные на рис. 3б при расстоянии между источником и приемником 44 км. Как и в предыдущем случае, глубина источника звука и глубина приемника задавались 250 м и 500 м, соответственно, использовалась плоскослоистая модель волновода с тем же вертикальным профилем скорости звука. Видно, что с изменением положения слоя скачка происходит плавное изменение масштабов частотной интерференции шумового поля аналогично тому, как это было при изменении дистанции между источником и приемником. Смещение вверх (к поверхности) слоя скачка приводит к уменьшению масштабов интерференции (кривая *5* на рис. 3б), что связано с увеличением задержек между двумя водными энергонесущими лучами, и, наоборот, при смещении слоя скачка вниз происходит увеличение масштабов интерференции (кривая *1* на рис. 3б).

Подобный механизм слежения за изменением частотной интерференционной структуры шумового поля может служить для мониторинга внутренних волн в глубоком океане при фиксированном расположении точек излучения и приема на дистанциях, соответствующих началу первой зоны конвергенции. В зоне тени подобный мониторинг внутренних волн остается проблематичным, поскольку отсутствует четко выраженная интерференционная структура шумового поля.

Работа написана при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект РФФИ № 05-02-17406).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rouseff D.* Quantifying the effects of shallow water internal waves on the waveguide invariant // Proceedings of 17-th International Congress on Acoustics, Rome, Sept. 2–7, 2001.
2. *Sabinin K., Serebryany A.* Intense shot-period internal waves in the ocean // Jorn. Mar. Res. 2005. V. 63. № 1. P. 227–261.
3. *Орлов Е.Ф.* Акустическая интерференционная диагностика океана // Доклады VIII школы-семинара акад. Л.М. Бреховских "Акустика океана". М.: ГЕОС, 2000. С. 13–17.
4. *Аредов А.А., Неклюдов В.И., Фурдуев А.В.* Влияние изменчивости гидрологических условий на интерференционную структуру звукового поля в шельфовой зоне // Акуст. журн. 2001. Т. 47. № 5. С. 581–585.
5. *Фурдуев А.В.* Акустический мониторинг изменчивости подводной среды (экспериментальная проверка новых методов) // Акуст. журн. 2001. Т. 47. № 3. С. 422–430.

Effect of Hydrological Variability in a Deep Ocean on the Space–Frequency Interference Pattern of a Noise Signal

A. A. Aredov and V. I. Neklyudov

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

e-mail: bvp@akin.ru

Abstract—Results of computer simulations are presented for the variability of the space–frequency interference pattern of a noise signal in the shadow and convergence zones in a deep ocean. The calculations are performed for a varying source–receiver distance under the conditions of stable hydrological characteristics and for a fixed distance under varying hydrological characteristics corresponding to the passage of an internal wave. The calculated interference structure of the signal power spectrum is compared with experimental results obtained in the Pacific Ocean near the Hawaiian Islands.