

ции 20 Гц. Модуляция была синусоидальной с начальной фазой  $180^\circ$ , таким образом, первый максимум амплитуды возникал с задержкой 37,5 мс и в сигнале было 4 периода модуляции. Отрезок предъявлялся с периодом 1 с либо при фронтах нарастания и спада по 3 мс, либо на фоне непрерывно звучащего адаптирующего тона той же частоты, амплитуда которого равнялась среднему значению амплитуды модулированного отрезка. Несущую получали на генераторе ГЗ-110, имеющем встроенный блок для амплитудной модуляции, огибающую — на управляемом генераторе Г6-28, выдающем отрезки синусоиды с заданной начальной фазой. В случае прерывистых сигналов импульс, запускающий модуляцию, открывал электродный ключ, закрытие которого устанавливалось независимо. В непрерывном режиме появление модуляции не приводило к сдвигу фазы несущей.

Импульсную активность регистрировали в слуховом центре среднего мозга стеклянными микроэлектродами. Обработка велась на анализаторе АТАС-501.

Было исследовано около 30 клеток, и пример, иллюстрирующий поведение типичной клетки, приведен на фигуре. На двух верхних гистограммах приведены реакции на отрезок чистого и амплитудно-модулированного тонов. Реакции тонические с начальным участком повышенной плотности импульсации. Выявить отличие гистограмм друг от друга (т. е. наличие модуляции) практически невозможно. Примерно через 15 с действия чистого тона реакция на него прекращается (см. [2]), что и иллюстрирует фиг., *в*, где приведены гистограммы реакции на отрезки, искусственно выделенные из ничем от них не отличающегося чистого тона. Если же на этих отрезках присутствует амплитудная модуляция, возникает реакция, прекрасно синхронизированная с ритмом модуляции (фиг., *г*).

Итак, малые изменения амплитуды, никак не выявляемые в начале сигнала, четко воспроизводятся в адаптированном состоянии. При этом нет необходимости, чтобы адаптирующий сигнал был модулирован, важно только, чтобы изменения происходили вблизи уровня, к которому система адаптировалась. Весьма интересно сопоставить полученные данные с психофизическими исследованиями, в которых продемонстрирован эффект снижения порога обнаружения амплитудной модуляции в процессе адаптации к непрерывно действующему сигналу [5, 6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бибиков Н. Г., Бахтин Г. Н. Изменение чувствительности к прерыванию акустического сигнала в процессе адаптации слуховой системы лягушки // Акуст. журн. 1973. Т. 19. № 4. С. 614—616.
2. Бибиков Н. Г., Городецкая О. Н. Реакция нейронов слухового центра среднего мозга лягушки на действие амплитудно-модулированных тонов // Нейрофизиология. 1980. Т. 12. № 3. С. 264—270.
3. Bibikov N. G., Gorodetskaya O. N. Adaptation improve the amplitude modulation detection in the auditory system of the frog // In Physiological and musical acoustic. Praga, 1984. P. 61—64.
4. Бибиков Н. Г. Характеристики реакции одиночных нейронов слухового центра среднего мозга озерной лягушки // Акуст. журн. 1970. Т. 16. № 2. С. 199—205.
5. Bekesy G. von. Zur Theorie des Hores // Physik. Zeitschr. 1929. V. 30. № 1. P. 115—125.
6. Viemeister N. F. Temporal modulation transfer functions based upon modulation thresholds // J. Acoust. Soc. Amer. 1979. V. 66. № 5. P. 1364—1380.

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

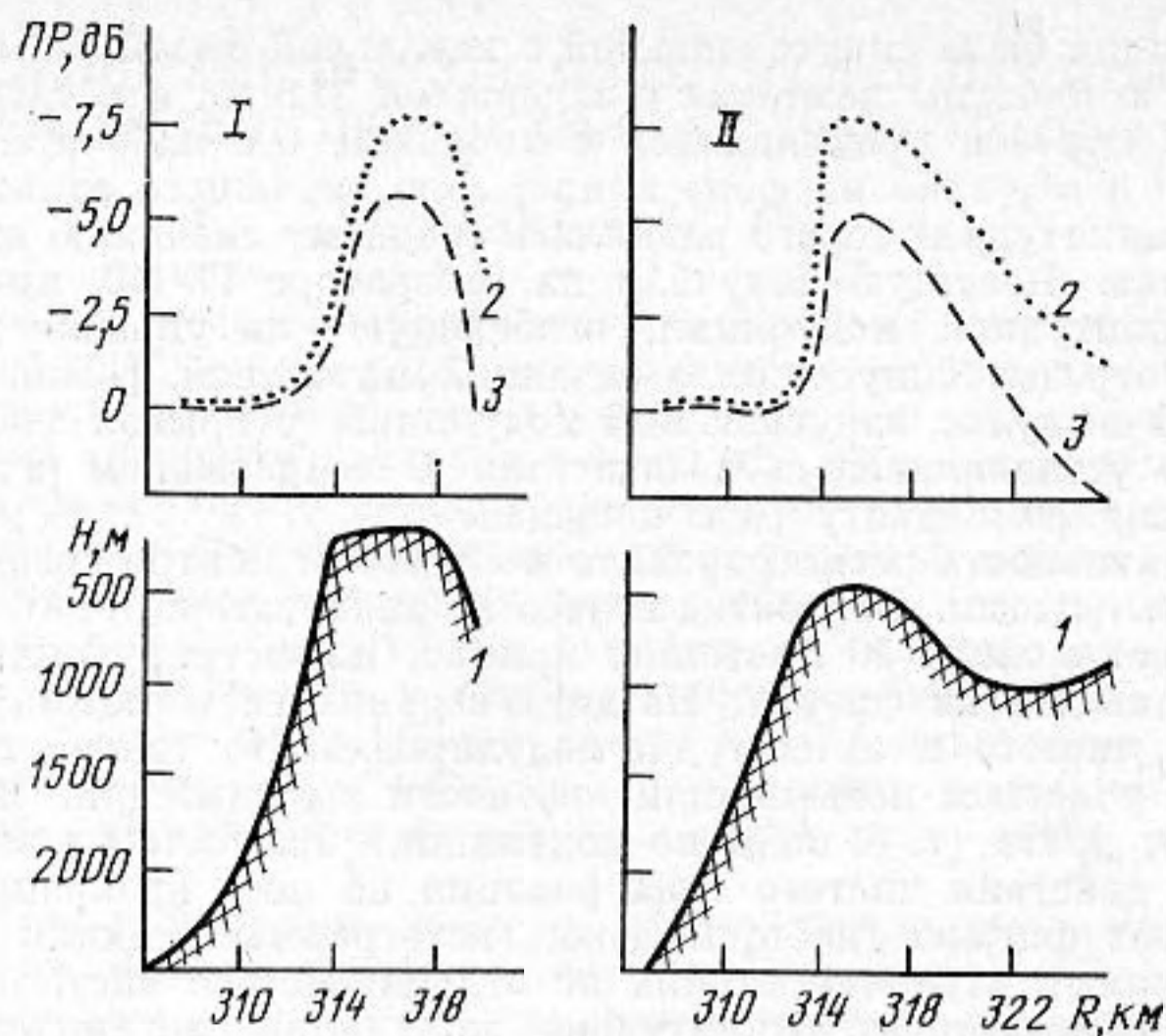
Поступило в редакцию  
4.V.1987

УДК 551.463

#### ВЛИЯНИЕ ПОДВОДНОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ОКЕАНЕ

*Бондарь Л. Ф., Буланов В. А., Дюльдина Н. И., Косырев В. А.,  
Моргунов Ю. Н.*

Измерения потерь распространения акустических сигналов над подводной возвышенностью были выполнены с целью определения характера и особенностей влияния возвышенности на распространение акустической энергии. Проведение таких исследований продиктовано необходимостью изучения законов распространения звука в сложных гидрологических условиях, теоретический анализ которых затруднен. Получаемые результаты полезны для развития теоретических методов расчета звуковых полей в океане, а также методов акустической томографии океана. обстоятельный анализ подобного эксперимента приведен в работах [1, 2], где представлен также обзор результатов, полученных другими авторами. В работе [2] показано, что звук в этих условиях распространяется благодаря рассеянию вперед на неровных поверхностях, дифракции, а также путем серии отражений от дна и поверхности океана. Одним из выводов работы [2] является частотная зависимость потерь, обусловленных акустической тенью подводной возвышенности при расположении источника (приемника звука) за возвышенностью. Приводимые ниже резуль-



Потери распространения (ПР) и рельеф дна по трассам I и II: 1 — рельеф дна, 2 — ПР для частоты 100 Гц, 3 — для частоты 400 Гц

таты свидетельствуют также и о частотной зависимости уменьшения потерь при расположении излучателя (приемника) непосредственно над подводной возвышенностью.

Гидрологические условия при проведении эксперимента характеризовались наличием «размытого» подводного звукового канала с осью на глубине около 250 м. Критическая глубина канала достигала 900 м. Измерения осуществлялись при буксировке тональных излучателей сигналов с частотами 100 и 400 Гц на горизонте 40 м с помощью гидрофона, расположенного на расстоянии 314 км от пика возвышенности на глубине 120 м. Глубина океана по трассе между источником и приемником звука была более 3 км. Результаты измерений приведены на фигуре в виде усредненных значений потерь распространения и соответствующих рельефов дна по двум трассам, отличающимся минимальной глубиной подводной возвышенности: трасса I проходила над абсолютным пиком возвышенности, трасса II выполнена в стороне от абсолютного пика над склоном возвышенности (градиент глубины места в направлении, перпендикулярном трассе, был незначителен).

Полученные экспериментальные результаты и проведенный анализ с использованием программ для ЭВМ, основанных на лучевых представлениях, позволяют сделать ряд выводов о влиянии подводной возвышенности на распространение акустической энергии в океане.

При прохождении источника звука вблизи пика возвышенности наблюдается уменьшение потерь распространения на величину  $\sim 5-8$  дБ. Этот эффект усиливается с понижением частоты звука, что обусловлено предположительно увеличением коэффициента отражения от дна.

Удаление источника звука за возвышенностью по отношению к приемнику сопровождается резким увеличением потерь распространения до величин, больших ожидаемых потерь в отсутствие возвышенности.

Указанные эффекты выражены в одинаковой степени для случаев глубины подводной возвышенности 200 и 500 м (при толщине подводного звукового канала 900 м).

В целом результаты проведенных исследований согласуются с результатами работ [1, 2] и дополняют их.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ebbeson G. R., Turner R. A. Sound propagation over Dickins seamount in the Northeast Pacific Ocean // J. Acoust. Soc. Amer. 1983. V. 73. № 1. P. 143-152.
2. Chapman N. R., Ebbeson G. R. Acoustic Shadowing by an isolated seamount // J. Acoust. Soc. Amer. 1983. V. 73. № 6. P. 1979-1984.

Тихоокеанский океанологический институт ДВО АН СССР

Поступило в редакцию  
15.IV.1987