

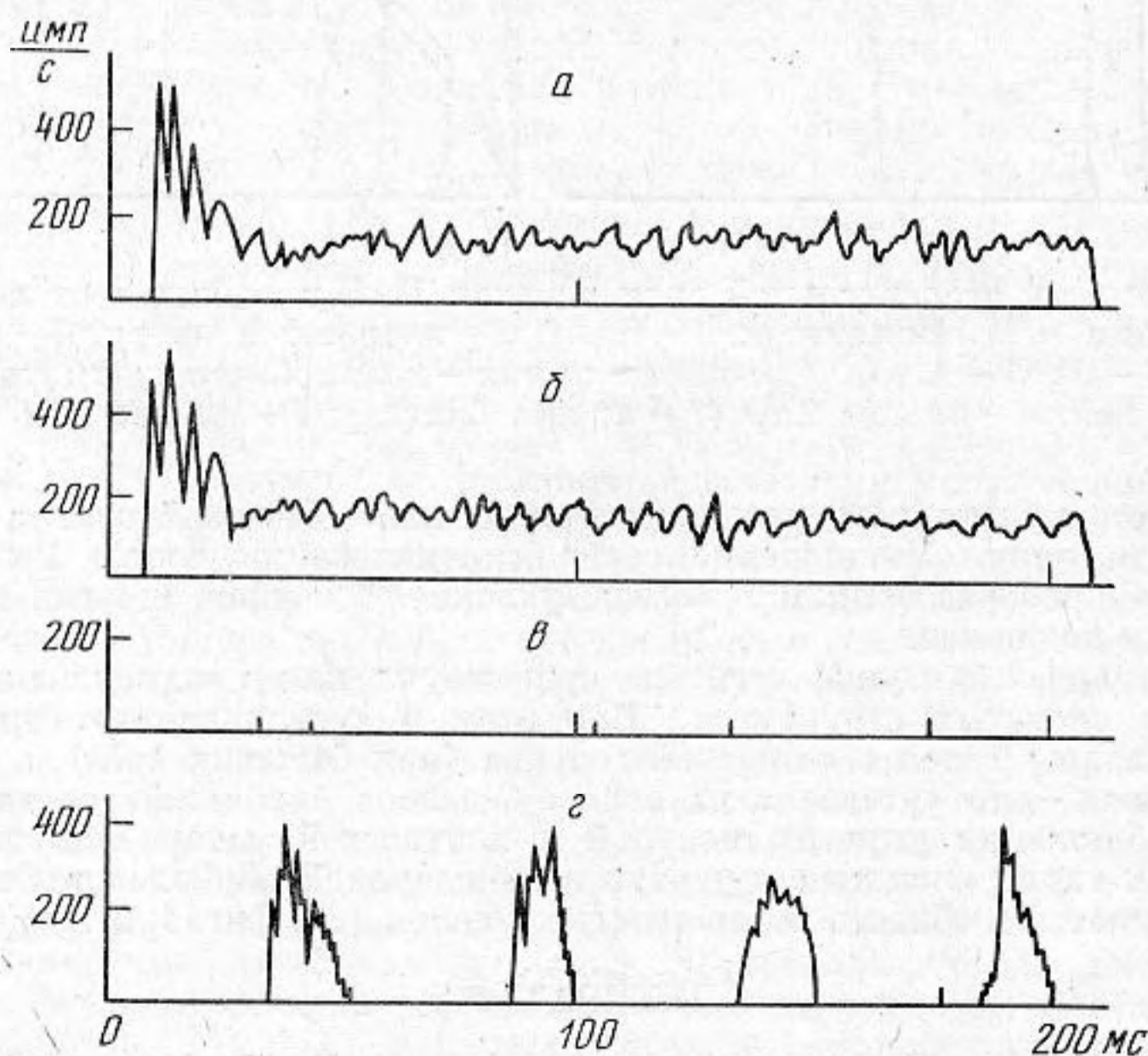
ВЫДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ ОТРЕЗКОВ В НЕПРЕРЫВНОМ ТОНЕ НЕЙРОНАМИ СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ ЛЯГУШКИ

Бибиков Н. Г.

Хорошо известна уникальная способность слуховой системы к анализу малых изменений амплитуды звука в огромном динамическом диапазоне. Пороги обнаружения амплитудной модуляции тональных сигналов продолжают уменьшаться вплоть до уровней звукового давления 90–100 дБ. Так как динамический диапазон отдельного волокна слухового нерва редко превышает 40 дБ, причины сохранения высокой дифференциальной чувствительности приходится искать в целостной работе системы. Имеются данные о наличии в слуховом пути многочисленных обратных связей. Наряду с хорошо известными схемами, замыкающимися на мышцы барабанной перепонки, среднего уха, а также на внешние волосковые клетки, существуют, по-видимому, и более инерционные схемы в нейронных сетях. Эти связи должны не просто обеспечить автоматическую регулировку усиления, а настроить слуховую систему на обнаружение малых изменений непрерывно действующего стимула.

Ранее нами были получены данные, демонстрирующие повышение дифференциальной чувствительности слуховой системы лягушки в процессе адаптации к длительно действующему сигналу. Суммарный ответ на краткое изменение амплитуды был существенно больше через 5–10 с звучания тона, чем на начальном его участке [1]. При исследовании реакции нейронных элементов на непрерывные тоны, синусоидально модулированные по амплитуде, наблюдалось постепенное усиление синхронизации импульсной активности с периодом огибающей, причем процесс адаптации занимал около 10 с [2, 3]. Поскольку в последнем случае сигнал все время звучания был модулирован, оставался открытым вопрос о том, улучшается ли синхронизация вследствие наличия модуляции в адаптирующем звуке или из-за подстройки системы к действующему уровню. В поисках ответа на данный вопрос мы исследовали реакцию на отрезки амплитудно-модулированного тона, «встроенные» в непрерывно звучащий чистый тон той же самой частоты несущей и с тем же средним уровнем интенсивности.

Общие условия проведения электрофизиологического эксперимента на обездвиженных озерных лягушках уже были неоднократно описаны [2, 4]. Звуки предъявляли по замкнутой схеме на ухо, контралатеральной стороне регистрации, и контролировали конденсаторным микрофоном. Собственно сигнал представлял собой отрезок тона длительностью 200 мс, частота которого соответствовала оптимальной частоте изучаемой клетки, а уровень был выше ее порога на 20 дБ. Сигнал мог быть либо без модуляции, либо модулированным по амплитуде на 10% с частотой модуля-



Постстимульные гистограммы реакции нейрона 86-13-12 на тон частотой 0,9 кГц и уровнем 75 дБ УЗД. На оси ординат время в мс, на оси абсцисс — мгновенная плотность импульсации в 1/с. Число предъявлений — 200: *а* — реакция на отрезок чистого тона; *б* — реакция на отрезок амплитудно-модулированного тона с глубиной модуляции 10% и частотой модуляции 20 Гц; *в* — реакция на участки чистого тона; *г* — реакции на участки амплитудно-модулированного тона в непрерывном чистом тоне

ции 20 Гц. Модуляция была синусоидальной с начальной фазой 180° , таким образом, первый максимум амплитуды возникал с задержкой 37,5 мс и в сигнале было 4 периода модуляции. Отрезок представлялся 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-