АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Т. XIX 1973 Вып. 2 | АКАДЕМИЯ НАУК СССР | Март Апрель

Основан в 1955 г. | МОСКВА | *Выходит 6 раз в год*

УДК 551.463.288

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОДВОДНОГО ШУМА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ МОРЯ И ОКЕАНА

В. И. Бардышев, Н. Г. Кожелупова, В. И. Крышний

Экспериментально исследованы распределения мгновенных значений звукового давления естественных подводных шумов прибрежной зоны моря и океана на удалении от береговой черты от 10 *м* до 20 *км* на частотах 5—11 000 *гц*. При длительностях реализаций 0,05—1200 *сек* закон распределения на большом удалении от береговой черты (20 *км*) является гауссовым, а на малом (600 *м* и менее) — негауссовым и отличается значительными эксцессом и асимметрией. Проводится обсуждение полученных результатов.

Важной статистической характеристикой подводных шумов является закон распределения мгновенных значений звукового давления. Ниже описываются результаты экспериментального исследования распределений мгновенных значений звукового давления шумов в прибрежной зоне моря и океана.

По характеру собственных подводных шумов прибрежную зону моря и океана можно разделить на две части. Первую часть (начиная от линии уреза воды), где превалируют шумы прибоя, отличающиеся по энергетическому спектру и другим параметрам от шумов открытого океана, мы назовем зоной шумов прибоя. Вследствие поглощения звука в донном грунте уровень шумов прибоя понижается при удалении от берега. За зоной шумов прибоя простирается вторая часть, где шумы прибоя несущественны и подводные шумы сходны с шумами открытого океана. Эту часть мы будем называть дальней прибрежной зоной. Граница между обеими зонами условна, и положение ее зависит от характера берега, уклона и строения дна, силы ветра, степени волнения и от других факторов.

Подводные шумы зоны шумов прибоя исследовались у скалистых берегов и гравийно-галечных пляжей на удалении 10—600 *м* от береговой черты на частотах в диапазоне 100—8000 *гц*. Измерения проводились при силе ветра от 0 до 4 баллов и высоте волны от 0,1 до 1,5 *м*. Глубины составляли от 2 до 20 *м*. Гидрофон опускался непосредственно с борта шлюпки на глубину от 1 до 15 *м*. Применение механической развязки гидрофона от качки на столь малых глубинах было невозможно. Опыт показал, что следует использовать малую шлюпку, легко всходящую на волну, благодаря чему устраняются удары волны о борт и шумы всплесков. В шлюпке не должно

быть воды и незакрепленных предметов, создающих шумы при качке. При соблюдении указанных мер предосторожности шумовые помехи от шлюпки несущественны по сравнению с подводным шумом прибоя. Последний не похож на шум прибоя, слышимый на воздухе, и прослушивается через гидрофон как совокупность «щелчков» — звуков соударений гальки, перемещаемой волнами. В момент наката волны на берег число «щелчков» и уровень шума резко возрастают. При отнесении гидрофона на поплавках на 50 *м* в сторону от шлюпки, а также при защите его обтекателем характер и уровень подводного шума в звуковом диапазоне частот не изменялся.

Подводные шумы дальней прибрежной зоны принимались гидрофоном, установленным на дне океана на расстоянии 20 *км* от берега на глубине 130 *м*; сила ветра изменялась от 0 до 12 баллов, распределения мгновенных значений акустического давления шума исследовались в диапазоне частот 5—11 000 *гц*. Условия измерений, спектры подводных шумов и их вариации описаны в работах [1, 2].

Подводные шумы записывались на магнитную ленту. Полученные записи обрабатывались с помощью анализатора распределений в широкой полосе частот, а также в октавных и третьоктавных полосах частот. Применявшийся нами анализатор позволяет определить гистограмму одномерного распределения мгновенных значений шума, а также значения математического ожидания $\bar{p}$ и второго начального момента. Число единичных выборок — 1000. Период следования единичных выборок задавался в пределах от 50 *мксек* до 2 *сек*. Полученные эмпирические гистограммы сравнивались с теоретическим нормальным (гауссовым) законом распределения с эмпирическим значением среднеквадратичного отклонения σ:

$$W(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{p^2}{2\sigma^2}},$$

где $W(p)$ — плотность вероятности мгновенных значений акустического давления p. Для звукового шумового давления значение $\bar{p} = 0$ и второй начальный момент равен дисперсии σ^2. Согласованность теоретического и эмпирического распределений проверялась с помощью критериев Колмогорова и χ^2 [3]. Оба критерия давали примерно одинаковые результаты.

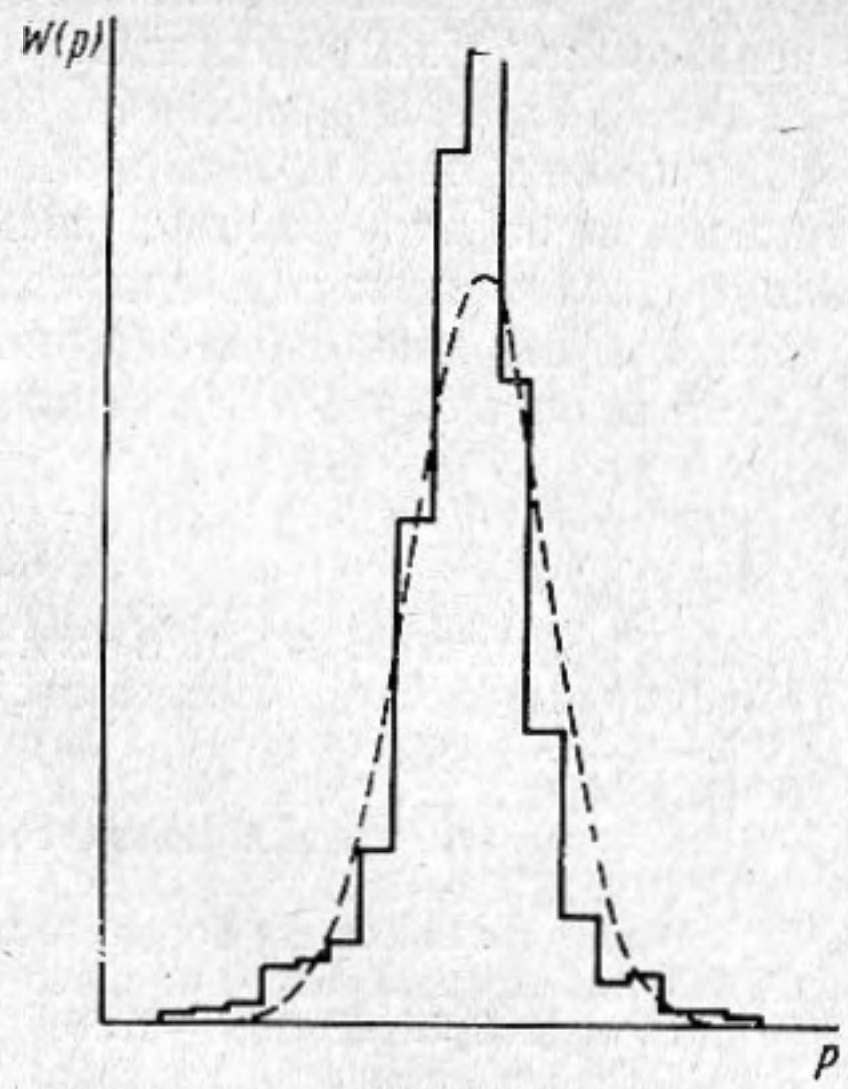
Вычислялись также эмпирические значения коэффициента асимметрии S_k и эксцесса E_k:

$$S_k = \frac{1}{n\sigma^3} \sum_{i=1}^{n} p_i^3, \qquad E_k = \frac{1}{n\sigma^4} \sum_{i=1}^{n} p_i^4 - 3,$$

где n — число единичных выборок, p_i — мгновенное значение шумового давления при i-выборке. Для нормального закона распределения $S_k = E_k \to 0$ при $n \to \infty$.

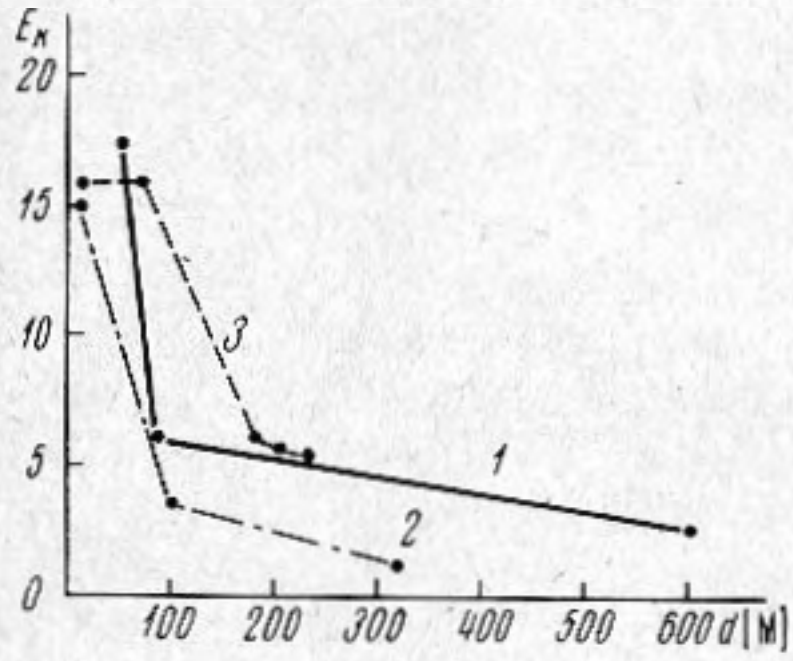
Исследования показали, что распределения мгновенных значений звукового давления подводного шума в дальней прибрежной зоне для всех частот и скоростей ветра при длительности реализации от 50 *мсек* до 20 *мин* являются гауссовыми с доверительной вероятностью 0,95. Лишь при длительности реализации 33 *мин* распределения на частотах 70 *гц* и более несколько отличаются от гауссова. Подводные шумы дальней прибрежной зоны в районе измерений генерируются в основном турбулентностью ветра и динамическими процессами в верхнем слое океана, связанными с ветром (такими, как разрушение гребней волн, колебания и захлопывание паровоздушных пузырьков и т. д.) [4]. Это подтверждается наличием корреляции уровня подводного шума со скоростью ветра во всем исследуемом диапазоне частот [2]. Шум в точке измерений слагался из множества сигналов от многочисленных элементарных источников (таких,

как колеблющиеся пузырьки), примерно одинаковых по энергии. Вследствие выполнения условий центральной предельной теоремы закон распределения суммы таких сигналов должен стремиться к нормальному. На низких частотах шум может создаваться также турбулентными пульсациями давления подводных течений [4], которые обычно подчиняются нормальному закону [5]. Отклонение от нормального закона, отмеченное на длительной реализации (33 *мин*), видимо, обусловлено медленными глубокими вариациями уровня подводного шума, связанными с вариациями скорости ветра [2]. Модуляция шума по амплитуде приводит к изменению его закона распределения [6]. Отступление от условий центральной предельной теоремы здесь состоит в том, что амплитуда сигналов от элементарных источников изменяется синхронно, и их нельзя считать статистически независимыми. На коротких реализациях (20 *мин* и менее) скорость ветра и уровень шума не успевают существенно измениться и эффект модуляции не заметен.

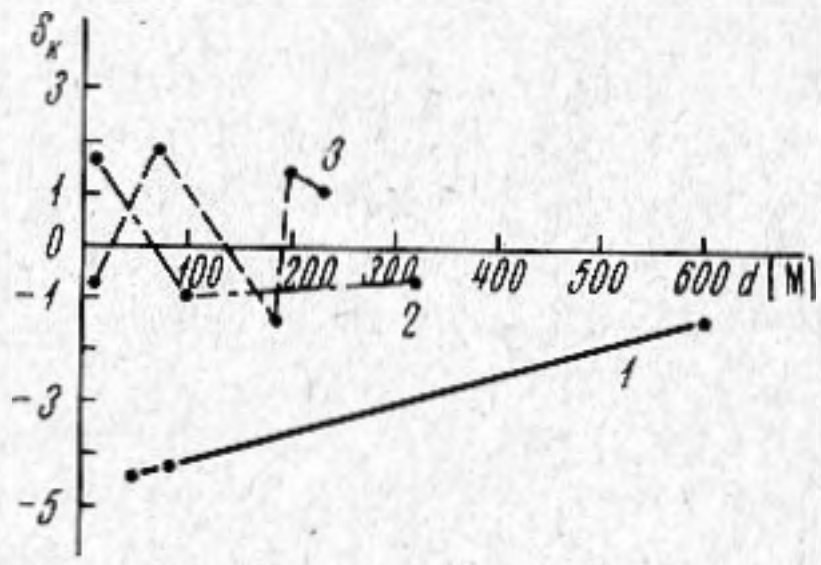


Фиг. 1

В зоне шумов прибоя законы распределений мгновенных значений подводного шума существенно отличаются от нормального при всех длительностях реализаций (от 0,05 *сек* до 33 *мин*). Они обладают значительной



Фиг. 2



Фиг. 3

асимметрией и положительным эксцессом. Значения эксцесса и модуля коэффициента асимметрии возрастают при приближении гидрофона к береговой черте. Регулярной зависимости эксцесса и асимметрии от частоты, высоты волны и длительности реализации не обнаружено. На фиг. 1 показана гистограмма распределения мгновенных значений давления подводного шума в прибойной зоне в широкой полосе частот (100—8000 *гц*) при расстоянии до галечного берега 10 *м*. Пунктиром нанесен нормальный закон распределения. На фиг. 2 показаны значения эксцесса, а на фиг. 3 — коэффициент асимметрии распределений подводного шума в зависимости от дистанции *d* до береговой черты на частотах 100—800 *гц* у галечного океанского пляжа (кривая *1*), скалистого морского берега (кривая *2*) и галечного морского пляжа (кривая *3*). Подводный шум прибойной зоны у каменистых и скалистых берегов вызывается в основном соударениями гальки, перемещаемой волнами, имеет импульсный характер и сильно флуктуирует в соответствии с накатыванием волн на берег. Некоторые звуковые импульсы от соударений гальки существенно превышают по

амплитуде общий шумовой фон, что и обусловливает высокий эксцесс и асимметрию распределений.

Таким образом, различие основных физических механизмов шумообразования в первой и второй зонах прибрежной полосы моря и океана отражается на виде законов распределений мгновенных значений акустического давления их подводных шумов.

Авторы выражают благодарность В. П. Приходько и И. В. Дзержинскому за помощь в обработке магнитных записей.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Бардышев, А. М. Великанов, С. Г. Гершман. Некоторые экспериментальные исследования подводных шумов океана. Акуст. ж., 1970, 16, 4, 602—603.
2. В. И. Бардышев, А. М. Великанов, С. Г. Гершман, В. И. Крышний. О зависимости уровня подводного шума океана от скорости ветра. Акуст. ж., 1971, 17, 2, 302—303.
3. Е. С. Венцель. Теория вероятностей. М., ГИФМЛ, 1962.
4. G. Wenz. Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources. J. Acoust. Soc. America, 1962, 34, 12, 1936—1956.
5. В. С. Петровский. Гидродинамические проблемы турбулентного шума. Л., Судостроение, 1966.
6. И. А. Александров. Вероятностные характеристики смешанных случайных процессов с шумовой составляющей, модулированной по синусоидальному закону. Труды II Всесоюзного симпозиума по методам представления и аппаратурному анализу случайных процессов и полей, т. 1, Новосибирск, 1969.

Акустический институт
Академии наук СССР

Поступила
27 июля 1971 г.