АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том 36 1990 Вып. 4

УДК 551.463.228

© 1990 г.

А. А. Аредов, Г. М. Дронов, А. В. Фурдуев

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА И ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ПАРАМЕТРЫ ШУМА ОКЕАНА

В статье обсуждается результат эксперимента, проведенного в открытом океане с целью выявления связи характеристик собственных шумов акватории со скоростью ветра и амплитудой внутренней волны. Показано, что спектральные значения звукового давления шума определяются степенной функцией ветра с показателем степени около 1,3 для приема ненаправленным гидрофоном. Экспериментально подтверждена возможность индикации внутренней волны горизонтально направленной антенной по флуктуациям спектральных составляющих шума океана.

Интерес к исследованию связи между шумом океана, поверхностным волнением и ветром над акваторией возник сравнительно давно. Своей работой «О голосе моря» академик Н. Н. Андреев практически открыл серию работ, посвященных этому вопросу[1]. Уже тогда было ясно, что развитие акустических методов диагностики океана по его шумовому полю потребует экспериментального определения связи между параметрами океанологических явлений, с одной стороны, и характеристиками шумового поля — с другой. Но и сейчас данных, выявляющих эти связи, опубликовано мало. Это обусловлено сложностью постановки соответствующих комплексных измерений, в ходе которых синхронно для пространственного масштаба, сохраняющего сопоставимость процессов, измеряются характеристики шумов океана и все определяющие их океанологические параметры. К настоящему времени сравнительно полно изучены лишь связи уровня высокочастотного шума со скоростью ветра над акваторией для стабильных условий (см., например, [1—4]), в которых поле однородной скорости ветра превышает размеры шумообразующей акватории [5]. Было получено эмпирическое соотношение [1], позволяющее оценивать для районов открытого океана спектральные значения шума высоких частот (выше 200 Гц) по средней скорости ветра.

Подобные исследования позволили одной из фирм США построить подводный автономный измерительный прибор, названный WOTAN (погода океана по шумовому полю), в котором на частотах около 15 кГц с помощью антенны, ориентированной на поверхность, по уровню шума определяется скорость ветра над точкой поверхности, над которой на якоре под водой установлен прибор [6, 7].

Вопрос о влиянии внутренних волн на шумовое поле обсуждался, по-видимому, впервые в работе [8], в дальнейшем с различных точек зрения влияние внутренних волн на формирование шумового поля неоднократно анализировалось в теоретических работах (см., например, [9]). Экспериментальные результаты, позволяющие судить о степени влияния внутренней волны на синхронно измеряемое шумовое поле, до настоящего времени (насколько известно авторам) не публиковались.

Обсуждаемый ниже эксперимент был проведен в открытом глубоком океане с борта дрейфующего научно-исследовательского судна (на котором был установлен режим тишины, включавший технические помехи приему шумов океана). Район измерений характеризовался типичным тропическим профилем скорости звука с подводным звуковым каналом на

[1] Андреев Н. Н. О голосе моря. Докл. АН СССР. 1939. Т. 23. № 7. С. 625–628.

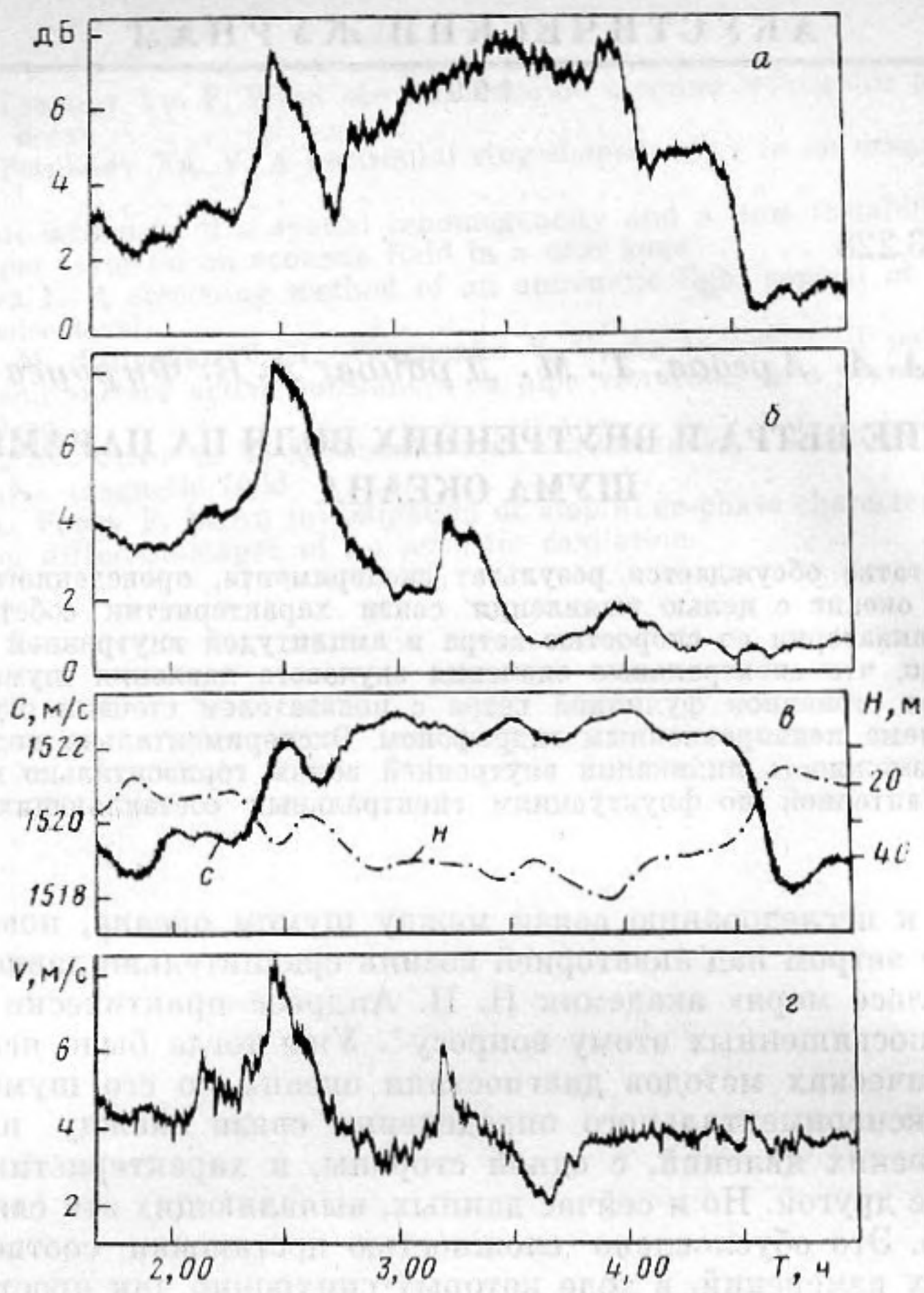

Рис. 1. Сопоставление синхронных измерений шумов океана со скоростью ветра, высотой внутренней волны и скоростью звука в воде на горизонте приема: *а, б* **– уровни шума на частоте 3,15 кГц в** $^1/_3$**-октавной полосе анализа, принятые горизонтально направленной антенной (***а***) и одиночным гидрофоном (***б***);** *в* **– скорость звука (шкала слева) и высота внутренней волны (шкала справа) на горизонте приема;** *г* **– локальная скорость ветра**

глубине около 1000 м, с термоклином на глубине 160–200 м и скоростью звука у дна (около 5000 м), немного превышающей скорость звука у поверхности.

В ходе эксперимента постоянно регистрировалась скорость ветра (анеморумбографом), положение и мощность звукорассеивающих слоев (эхолотом), отсутствие на шумообразующей акватории мешающих измерениям судов или шквалов (радиолокатором), измерялись поверхностное волнение, профиль скорости звука и спектр внутренних волн на горизонте термоклина.

Шумовое поле принималось и анализировалось с помощью жесткой эквидистантной вертикальной 32-элементной антенны, оснащенной малогабаритным блоком формирования диаграммы направленности [10] в диапазоне частот 1÷5 кГц. Антенна позволяла получать на выходе сигнал от одиночного (ненаправленного) гидрофона сигнал суммы всех 32 гидрофонов и сигнал сканирующего (в диапазоне углов ±90°) главного лепестка антенны. Уровень электрических шумов антенны (приведенный к значению звукового давления в акустическом поле) был ниже на 10 дБ уровней минимальных шумов по Вензу [4], уровень боковых лепестков не превышал 10% чувствительности в главном лепестке диаграммы направленности. Для контроля качества приема и окружающих условий антенна была оснащена датчиками глубины, крена/дифферента, наличия воды

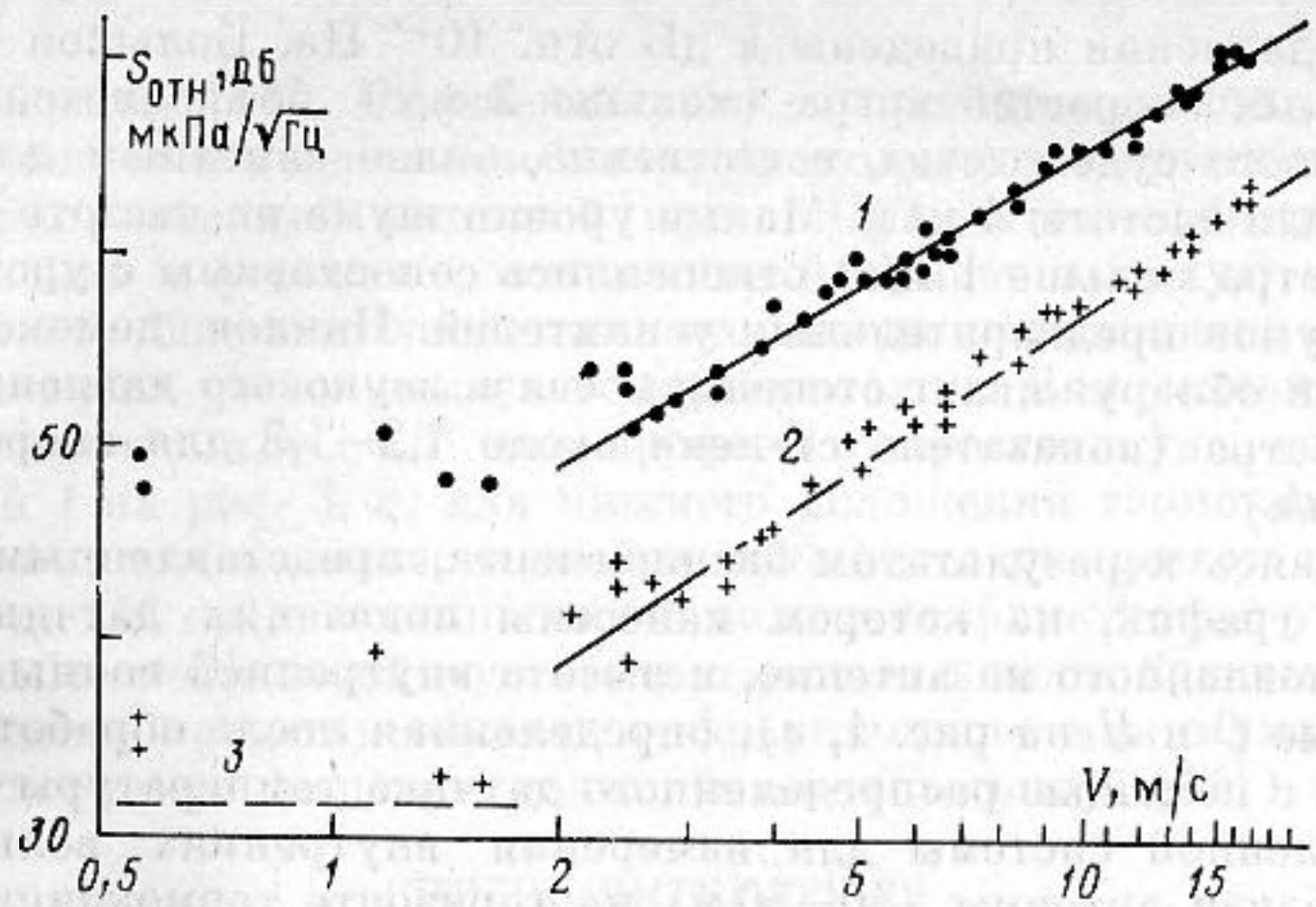

Рис. 2. Зависимость спектральной плотности шума океана от локальной скорости ветра: *1* – на частоте 1 кГц; *2* – на частоте 4 кГц, *3* – уровень собственных электрических шумов приемной системы

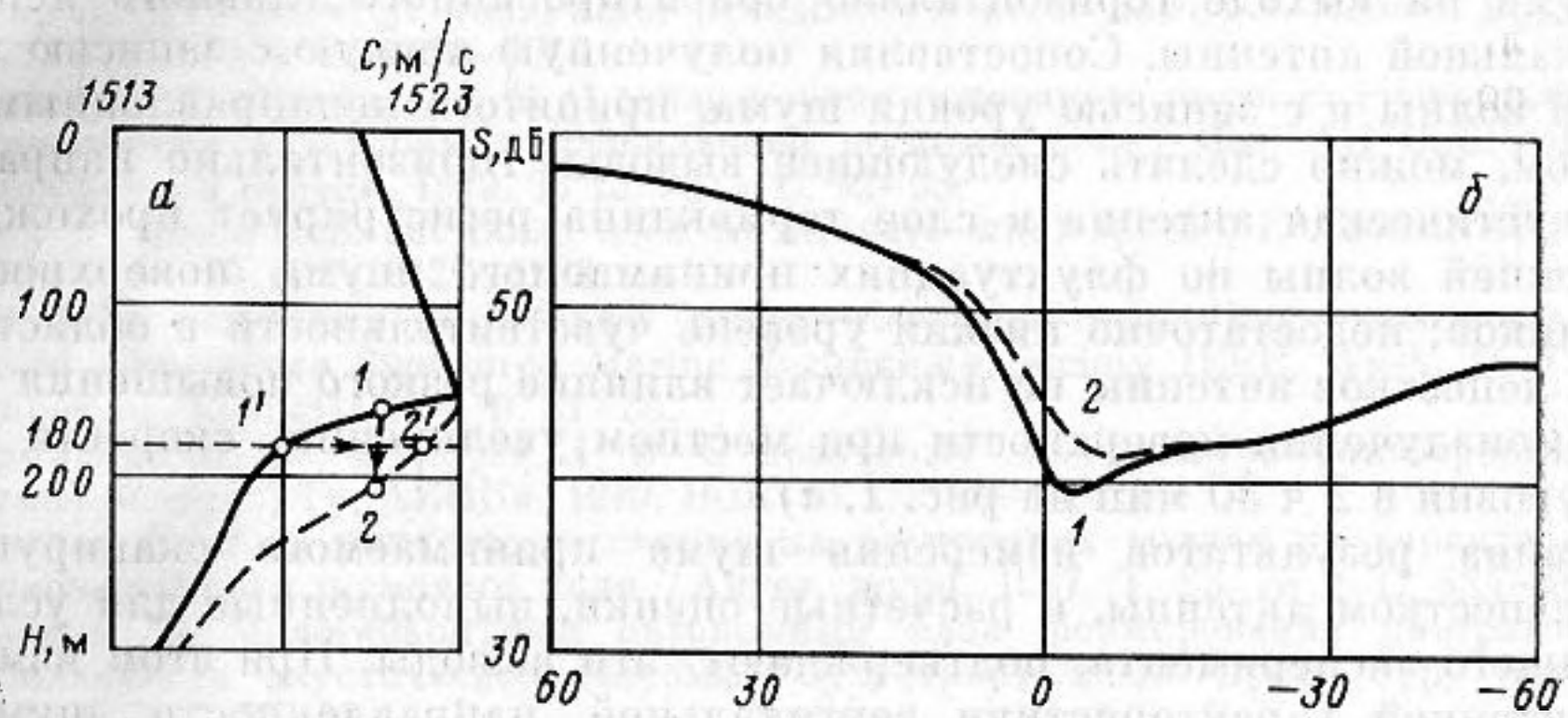

Рис. 3. Оценка измерений пространственного спектра шума, вызванных прохождением внутренней волны: *а* – приповерхностная часть профиля скорости звука при прохождении внутренней волны, *1*, *2* – соответственно верхнее и нижнее граничные положения термоклина; *б* – оценки свертки диаграммы направленности антенны с характеристикой анизотропии шумового поля, рассчитанные для граничных положений профиля скорости звука

в корпусе, температуры и измерителем скорости звука. Калибровочное устройство антенны позволяло контролировать синфазность каналов антенны, стабильность их коэффициентов, усиления и вид задаваемого (с целью снижения уровня боковых лепестков) амплитудного распределения чувствительности по апертуре антенны. К сожалению, недостаточно низкий уровень чувствительности в зоне боковых лепестков не исключал влияния местных изменений скорости ветра (мощности поверхностных источников шума) на результат измерений даже при горизонтальной ориентации главного лепестка антенны, что повлияло на результат измерений.

На рис. 1 приведен результат эксперимента, позволяющий судить о влиянии ветра и внутренней волны на спектральные уровни динамического шума акватории, принятого как ненаправленным гидрофоном, так и горизонтально направленной антенной в раскрыве ее главного лепестка 5° на частоте 3,15 кГц. Для всех графиков рис. 1 по оси абсцисс отложено поясное время в точке измерений от 2 до 5 ч ночи. Из сопоставления кривых *б* и *г* очевидна однозначная связь уровня шума и локальной скорости ветра. Анализ этой связи для частот 1 и 4 кГц приведен на рис. 2. Данные

о звуковом давлении приведены в дБ отн. 10^{-6} Па. Большой разброс точек для малых скоростей ветра (меньше 2 м/с) объясняется влиянием шумов дальнего судоходства, естественно, более заметным для частоты 1 кГц, чем для частоты 4 кГц. Малые уровни шума на частоте 4 кГц (при скоростях ветра меньше 1 м/с) становились сопоставимы с уровнем электрических шумов предварительных усилителей. Наклон демонстрируемых зависимостей обнаруживает степенную связь звукового давления шума со скоростью ветра (показатель степени около 1,2—1,3 для скоростей ветра более 5—7 м/с).

Возвращаясь к результатам эксперимента, представленным на рис. 1, рассмотрим график, на котором нанесены показания датчика скорости звука, установленного на антенне, и высота внутренней волны (соответственно кривые *C* и *H* на рис. 1, *в*), определенная после обработки данных, полученных с помощью распределенного датчика температуры — градиентно-распределенной системы для измерения внутренних волн, располагавшейся вблизи антенны (40—50 м) на горизонте термоклина. Противофазность кривых *C* и *H* объясняется тем, что при неизменной глубине антенны (180 м) опускание термоклина (см. рис. 3, точки *1, 2*) приводит к увеличению скорости звука на горизонте антенны (точки *1, 2*). Таким образом, на рис. 1, *в* демонстрируется прохождение внутренней волны мимо антенны. Обратимся теперь к рис. 1, *а*, иллюстрирующему изменения уровня шума на выходе горизонтально ориентированного главного лепестка вертикальной антенны. Сопоставляя полученную кривую с записью внутренней волны и с записью уровня шума, принятого ненаправленным гидрофоном, можно сделать следующиее выводы: горизонтально направленная акустическая антенна в слое термоклина регистрирует прохождение внутренней волны по флуктуациях принимаемого шума поверхностных источников; недостаточно низкий уровень чувствительности в области боковых лепестков антенны не исключает влияние резкого повышения уровня шумоизлучения поверхности при местном увеличении скорости ветра (пик уровня в 2 ч 30 мин на рис. 1, *а*).

Анализ результатов измерения шума принимаемого сканирующим $\pm 90°$ лепестком антенны, и расчетные оценки, выполненные для условий настоящего эксперимента, подтверждают эти выводы. При этом измеренные антенной характеристики вертикальной направленности шумового поля практически совпадают с расчетом.

На рис. 3, *б* представлен результат оценок изменений пространственного спектра шума, вызываемых прохождением внутренней волны. Оценки выполнены для двух профилей скорости звука (рис. 3, *а*) с использованием лучевой модели шумового поля [11], в рамках которой влияние внутренней волны на уровень шума принимаемого горизонтально направленной антенной от поверхностных источников динамических шумов качественно определяется углом скольжения α_0 выхода граничного луча из антенны:

$$\alpha_0 = \arccos \frac{c_{\text{А}}}{c_{\text{П}}}$$

где $c_{\text{А}}$ и $c_{\text{П}}$ — скорость звука на горизонте антенны и у поверхности соответственно.

Разность приведенных пространственных спектров при угле скольжения 0° совпадает по величине с измеренной амплитудой флуктуаций уровня шума на выходе канала горизонтально ориентированного лепестка диаграммы направленности антенны. Расчеты выполнены без учета пространственного изменения глубины термоклина на окружающей акватории, однако, несмотря на это, они интерпретируют результат эксперимента, что подтверждает возможность измерения внутренних волн по данным о шумовом поле, идея которого была высказана в работе [8]. Очевидно, что угол α_0 ограничивает область углов рефракционного минимума в характеристкие анизотропии шумового поля. Уровень шума внутри этого минимума для глубокого океана определяется лишь шумом, рассеянным на объемных неоднородностях и звукорассеивающих слоях биологическо-

го происхождения [11]. Изменение угла α_0 при прохождении внутренней волны определяет в первом приближении модуляцию принимаемого горизонтально направленной антенной шума. При этом эффект модуляции может быть мал в условиях, когда антенна имеет высокую чувствительность в области боковых лепестков, или когда рефракционный минимум сильно «засвечен» рассеянным в толще сигналом. Для условий обсуждаемого эксперимента $\alpha_0=\pm4{,}5°$ для профиля скорости звука, соответствующего кривой *1* на рис. 3, *а*; для нижнего положения термоклина $\alpha_0\sim0{,}5°$; таким образом, для использовавшейся антенны с раскрывом главного лепестка порядка 5° сравнительно малая величина флуктуаций уровня шума определялась значительной чувствительностью в зоне боковых лепестков антенны. Оценка засветки области рефракционного минимума, наблюдавшимися звукорассеивающими слоями (в соответствии с [11]) подтвердила этот вывод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акустика океана/Под ред. Бреховских Л. М.: М.: Наука, 1974.
2. *Крышний В. И., Курьянов Б. Ф.* Исследование зависимости интенсивности шумов океана от скорости ветра // VIII Всесоюз. акуст. конф. (докл. секция Н). М.: Акуст. ин-т, 1973. С. 104–107.
3. *Фурдуев А. В.* Спектры шумов океана и псевдозвуковые помехи звукоприему // Вопр. судостроения. Акустика. 1978. Вып. 10. С. 41–51.
4. *Wenz G. M.* Review of underwater acoustics research: noise // J. Acoust. Soc. Amer. 1972. V. 51. № 6. P. 1010–1054.
5. *Аредов А. А., Фурдуев А. В.* О связи уровня подводного шума со скоростью ветра и размерами акватории, определяющей шумовое поле // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1979. Т. 15. № 1. С. 92–98.
6. *Anon B.* Ocean ambient noise used to measure wind speed // J. Acoust. Soc. Amer. 1980. V. 68. № 6. P. 1221–1223.
7. *Hill W.* A generation of WOTAN underwater wind-recoprding instruments // Oceans'84. Conference Sponsored Marine Technology Society IEEE. Wash. D. C. September 10–12. 1984. V. 1. P. 31–36.
8. *Охрименко Н. Н., Фурдуев А. В.* О некоторых особенностях анизотропии поля шумов океана // Тр. АКИНа. 1970. Вып. 13. С. 125–135.
9. *Ермаков И. Н.* О влиянии рассеяния на внутренних волнах на характеристики низкочастотного шумового поля // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 3. С. 484–487.
10. *Белов Д. В.* Малогабаритный автономный блок формирования диаграммы направленности акустической системы // Судостроительная пром. Сер. Акустика. 1988. № 3. С. 75–78.
11. *Аредов А. А., Охрименко Н. Н., Фурдуев А. В.* Анизотропия шумового поля в океане (эксперимент и расчет) // Акуст. журн. 1988. Т. 34. № 2. С. 215–221.

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

Поступила в редакцию
04.12.89

A. A. Aredov, G. M. Dronov, A. V. Furduev

WIND AND INTERNAL WAVES INFLUENCE ON AMBIENT NOISE IN THE OCEAN

Results of experiments in the deep ocean, which were carried out in order to reveal the influence of a wind velocity and an amplitude of internal waves upon an intensity of dynamic noise, are presented. Measurements of a wind velocity, internal waves and sound velocity profiles were synchronous with measurements of noise received by a nondirectional hydrophone and by vertical array. The measurement results and those of calculations in the limits of a ray model were found to be in a good agreement. Thus measurements of internal waves parameters based on noise field data proved to be quite possible.