

УДК 551.463.228

ШУМ ПРИБОЯ ПРИ ШТИЛЕ

© 2002 г. М. Ю. Гуреев, Н. Г. Канев, Е. Ю. Крайнов

Акустический институт им. Н. Н. Андреева РАН

117036 Москва, ул. Шверника 4

E-mail: bvp@akin.ru

Поступила в редакцию 25.12.01 г.

Флуктуирующий шум прибоя создает существенные уровни помех работе гидроакустических средств, используемых вблизи берега, поэтому важно их знание для оптимального выбора характеристик звукоприемных систем. Одновременно шум прибоя несет информацию о структуре береговой черты, прибрежных глубинах и об периоде набегающих волн. Прямых данных об экспериментальных или теоретических исследованиях шума прибоя в литературе последних лет практически нет. По-видимому, физикой шума прибоя впервые заинтересовался В.А. Киршов в середине 60-х годов, некоторые экспериментальные данные о шуме прибоя содержатся в работе В.И. Бардышева [1], в обзоре Р. Урика [2] и в ряде косвенно касающихся этой проблемы работ [3, 4].

Измерения подводного шума были проведены на акватории г. Геленджика. Гидрофон опускался на дно в трех точках на расстоянии 20 м, 100 м и 200 м от береговой линии, при этом велась непрерывная запись сигнала. Спектры усредненного за 10 с. шума для трех точек представлены на рис. 1. Все три спектра имеют одинаковую форму и при-

мерно равный уровень. Характерными особенностями для них являются спад на низких частотах и подъем на частотах 2–5 кГц.

Измерения проводились при довольно спокойной погоде в утренние часы. Скорость ветра была менее 5 м/с с берега, поэтому морская поверхность была практически штилевой. Благодаря этим обстоятельствам, можно считать, что весь шум приходит из двух источников: из моря p_s и от берега p_c . Береговой шум вызывается прибоем от зыби, период которой составлял 3–4 секунды. Эта периодичность характерна для общей картины шума, особенно при малых расстояниях от берега.

Учитывая небольшое увеличение глубины с расстоянием от берега (угол наклона дна составляет примерно 1°), ближнее море можно условно описывать двухмерным волноводом с мягкой и жесткой границами. В таком волноводе без потерь распространяются волны с частотой выше критической $f > f_k = c/4h$, где c – скорость звука, h – глубина волновода. Для точек 20 м, 100 м и 200 м критическая частота в нашем случае со-

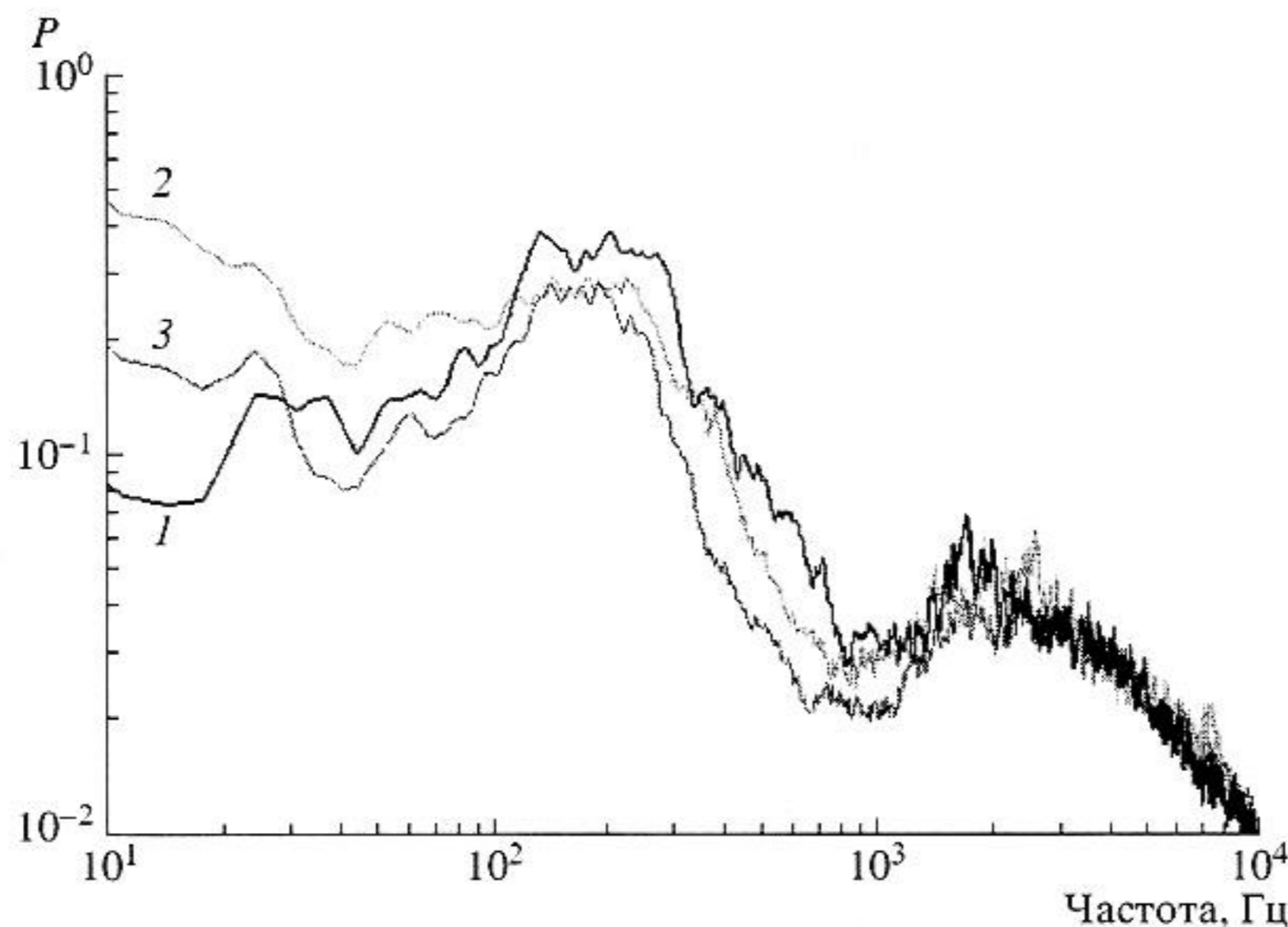


Рис. 1. Спектр уровня шума на различных расстояниях от берега. 1 – 20 метров, 2 – 100 метров, 3 – 200 метров.

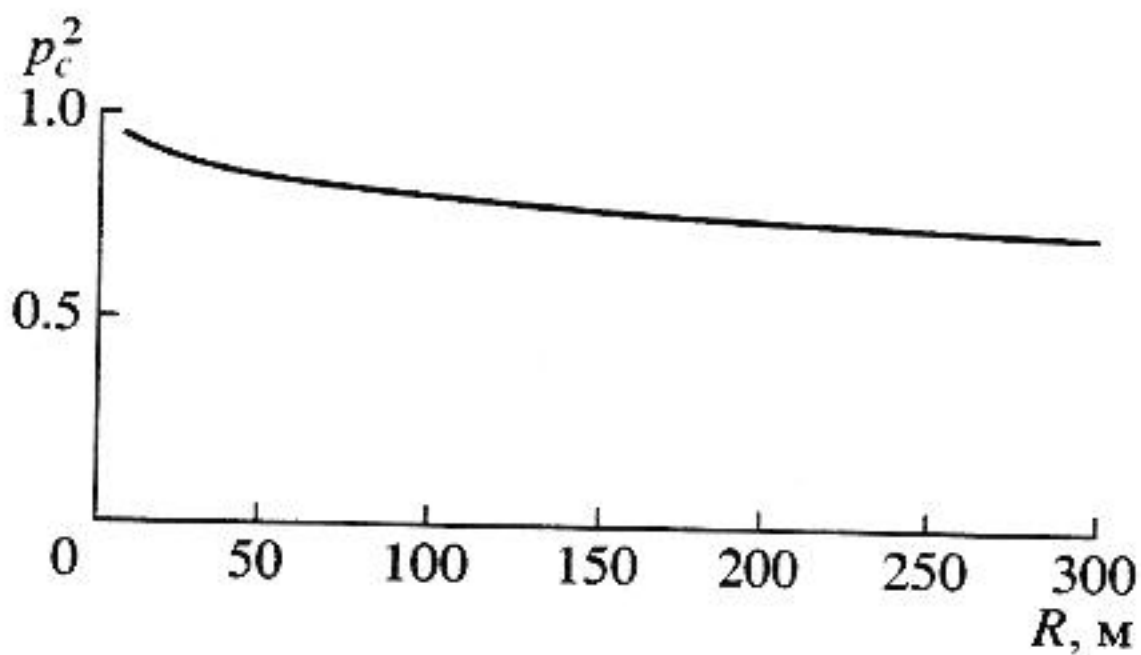


Рис. 2. Зависимость берегового шума от расстояния до берега R .

ставляет примерно 100 Гц. На рис. 1 частоты ниже критических соответствуют спадам в спектре шума.

Энергия звуковой волны от точечного источника в волноводе уменьшается обратно пропорционально расстоянию от берега R . Можно найти звуковое поле p_c^2 всех источников шума, распределенных равномерно вдоль берега длиной L , в зависимости от R :

$$p_c^2 \propto \int_{-L/2}^{L/2} \frac{dx}{\sqrt{R^2 + x^2}} = \operatorname{arsh} \frac{L}{R}.$$

Этот закон уменьшения энергии с расстоянием иллюстрирует рис. 2. Логарифмическая зависимость звукового давления шума p_c от R позволяет считать уровень берегового шума постоянным или слабо убывающим при отдалении от берега. Морской шум p_s , по-видимому, так же можно считать одинаковым для всех трех расстояний. Та-

ким образом, суммарный уровень шума $p_n = p_s + p_c$ практически не меняется в пределах расстояний, на которых проводился эксперимент, это и отражает совпадение спектров на рис. 1.

Накат волны на берег вызывает образование пены (обрушение) и перекатывание мелких камней. Для того, что бы описать береговой шум, необходимо сравнить усредненный за несколько периодов волны спектр со спектром одного наката (рис. 3). Уровень шума для единичного обрушения волны выше на всех частотах. Отношение спектров (см. рис. 3) приведено на рис. 4. Наибольшее превышение уровня звука при накате происходит на высоких частотах. Такое возрастание можно приписать увеличению числа пузырьков воздуха в воде в момент обрушения волны. Пузырьки возбуждаются на резонансных частотах и излучают звук при кавитации в волне. Для оценки вклада звука, излученного пузырьками воздуха, в общую картину шума взаимодействием пузырьков можно пренебречь. Резонансная частота монопольных колебаний одиночного газового пузырька в жидкости определяется хорошо известной формулой [5]:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{3}{a^2 \rho \beta}},$$

где ρ – плотность воды, β – сжимаемость воздуха, a – радиус пузырька. Тогда максимум в спектре на частотах 2–5 кГц соответствует размерам пузырьков от 0.5 до 1.5 мм. А нормальное распределение их радиусов $N(r) = N_0 \exp\left[-\frac{(r-r_0)^2}{2\sigma^2}\right]$ при $r_0 = 1$ мм и $\sigma = 0.5$ мм описывает высокочастотный

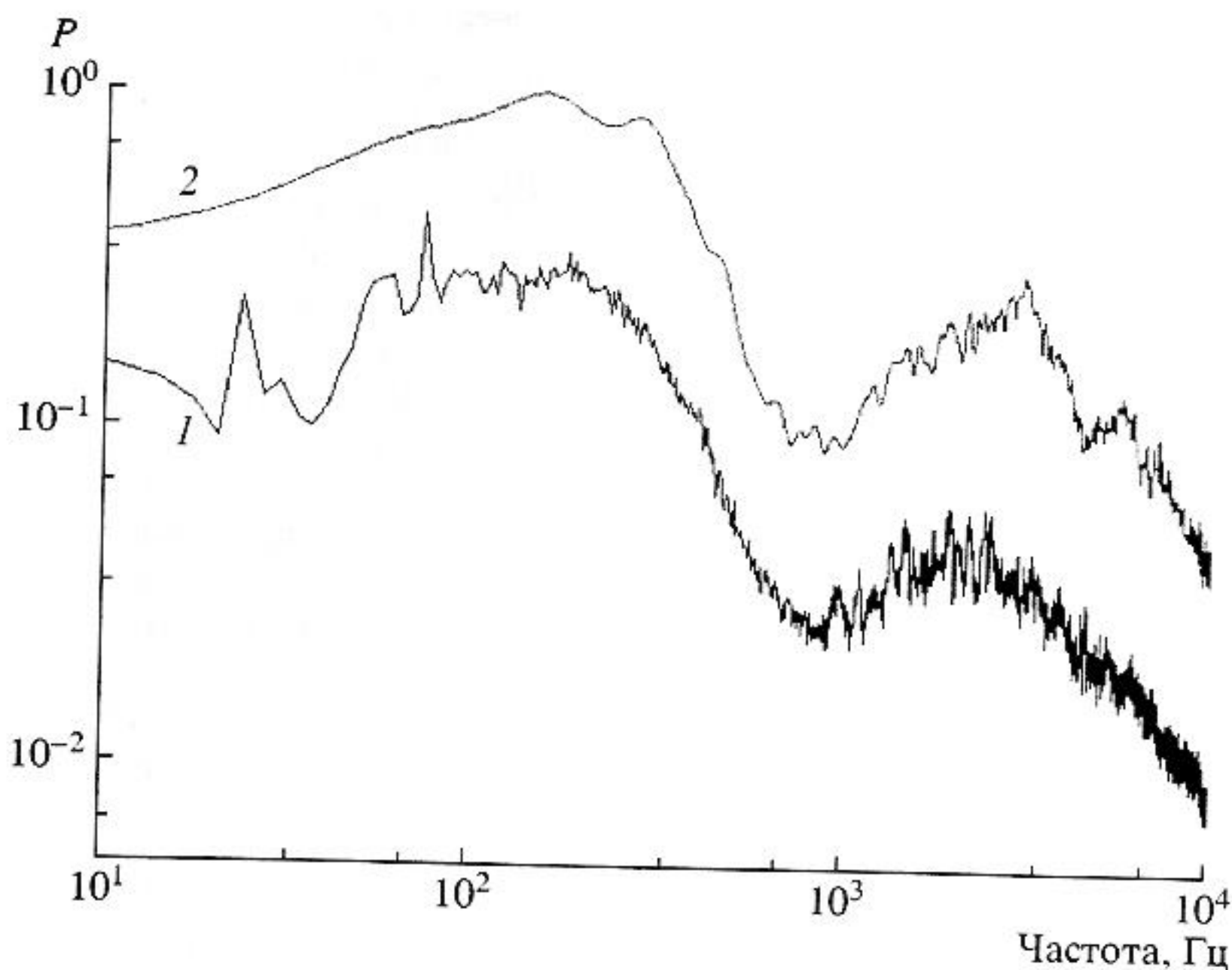


Рис. 3. Сравнение усредненного спектра шума со спектром наката для расстояния от берега 100 метров. 1 – усредненный за 10 секунд спектр, 2 – спектр наката.

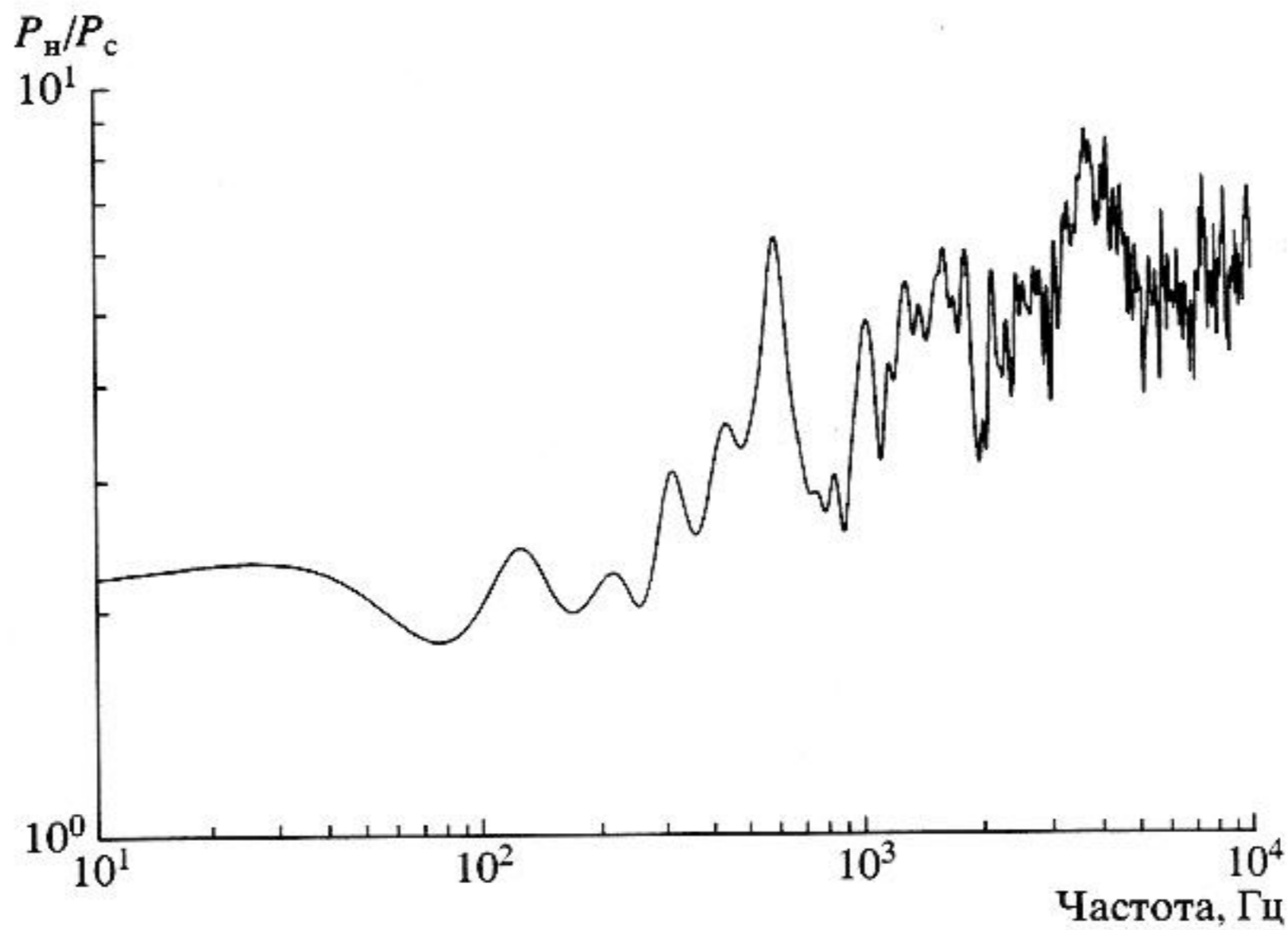


Рис. 4. Отношение спектра шума наката P_n к усредненному спектру шума P_c на расстоянии от берега 20 метров.

максимум. Перекачивание камней также вносит вклад в общую картину шума, однако задача о шумоизлучении движением камней должна быть исследована отдельно.

Качественная картина прибрежного шума при штале имеет отличительные особенности. Изменение погоды и волнения моря должно оказывать существенное влияние не только на уровень шума, но на форму его спектра. Поэтому, представляет интерес провести экспериментальные исследования при различных условиях, влияющих на прибрежный шум и в районах с различной структурой и профилем дна в зоне обрушения волн.

Авторы благодарны Н.Н. Охрименко за помощь в подготовке эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 00-05-64226.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бардышев В.И., Кожелупова Н.Г., Крышный В.И. Исследование законов распределения подводного шума прибрежной зоны моря и океана // Акуст. журн. 1973. Т. 19. № 2. С. 129–132.
2. Urick R.J. Ambient noise in the sea. Peninsula Publ., 1984. 154 p.
3. Smith J.A. Observation of waves and currents near the surf zone. / Proc. Conf. OCEANS-2000. V. 2. P. 781–785.
4. Goodman R.R. et al. Observation of high-frequency sound propagation in shallow water with bubbles due to Storm and surf // IEEE J. Ocean Eng. 2000. V. 25. № 4. P. 501–506.
5. Исакович М.А. Общая акустика. М.: Наука, 1978. 495 с.