

УДК 551.463

*В. В. Поленюк*

Дальневосточный государственный технический  
рыбохозяйственный университет  
Владивосток

## К ВОПРОСУ О ШУМАХ МОРЯ

### **Введение**

Акватория Мирового океана, являющаяся средой обитания гидробионтов, представляет собой сложную систему взаимодействующих физических полей различного происхождения, оказывающих влияние на поведение рыб.

Систематизированные В. Н. Мельниковым [1] способы образования полей были объединены в 3 группы: активные (сами служат источниками физических полей), пассивные (образуют поля, взаимодействуя с внешней средой или с физическими полями других источников) и условные (произвольно выделенный объем или площадь поверхности в водоеме, которые рассматривают как источники различных видов полей).

Необходимо отметить, что шумы моря являются в большей степени результатом всех трех способов образования физических полей. Источниками акустически слышимого и неслышимого шума могут служить любые колебания в твердых, жидких и газообразных средах. К таким источникам относится и морское волнение, являющееся случайным процессом, имеющее, однако, и общие закономерности, связанные с гидрометеоусловиями [2]. Были также отмечены случаи возникновения акустического сигнала, источником которого является электрический разряд, создаваемый биологическим объектом [3].

Анализ спектральных характеристик основных факторов, определяющих природу шумов океана [4], показал, что присутствующие в океане шумы и сигналы биологического и промышленного происхождения в основном сконцентрированы в области низких частот, доступных слуху рыб. Рыбы, в силу своих приспособительных свойств, целенаправленно используют меняющуюся акустическую обстановку, поскольку многие сигналы и шумы несут информационную нагрузку. Именно поэтому шумы моря вызывают интерес как один из основополагающих факторов, воздействующих на поведение рыб, что в дальнейшем может быть успешно использовано в управлении их поведением.

Модель глубокого океана является наиболее предпочтительной, раскрывающей общий механизм формирования фона среды. В работах по регистрации акустического поля шумов использовался мелководный район одной из бухт Японского моря с характерными специфическими особенностями, представляющими практический интерес.

Целью данной работы являются:

– сравнительная оценка (по спектрально-временным характеристикам и интенсивностям) биологически полезного акустического сигнала (сигналы, издаваемые акустическим излучателем АИК [5], звуки приморского гребешка, сигнал от проходящего катера) и зарегистрированных шумов акустического фона акватории;

– оценка влияния сезонных (зима – лето) изменений и погодных (ветровое волнение) условий на амплитудно-частотные характеристики зарегистрированных акустических фоновых сигналов.

Учитывая возможности регистрирующей аппаратуры, мы не рассматривали сигналы инфразвукового диапазона, хотя для полного анализа акустической обстановки, особенно в зимний период, они представляют определенный интерес.

### **Материал и методы исследования**

Исследования по регистрации звуков проводили в морских условиях. В определенном месте на акватории устанавливали контрольный буй, к которому прикрепляли шлюпку с аппаратурой для регистрации акустических сигналов и источником автономного питания. Основное условие эксперимента заключалось в том, что станции измерения акустических сигналов находились в одних и тех же координатных точках, а измерительную аппаратуру использовали в строго установленном одинаковом режиме.

Для регистрации звуковых сигналов использовали откалиброванный акустический тракт, состоящий из керамического гидрофона (диаметр сферы 50 мм) с чувствительным элементом (210 мкВ/Па), переносного промышленного магнитофона японского производства ТС-Д5М и автономного источника питания.

Аналоговый сигнал, записанный на ленте, оцифровывали в лабораторных условиях с использованием компьютерной программы, преобразующей сигнал в 2- и 3-мерное графическое изображение.

Аналоговые выводы сигналов и их частотно-энергетические спектры имеют следующие размерности:

– амплитуда аналоговых мВ сигналов на выходе сигнала из акустического тракта регистрации, время, с;

– для спектров сигнала по оси абсцисс отложена частота, Гц, по оси ординат – энергетические уровни исследуемых сигналов, относительные единицы.

В летний период (август 2005 г.) производили регистрацию фоновой записи шумов исследуемой акватории параллельно с регистрацией акустических сигналов, издаваемых проходящим мимо катером и генерируемых излучающим устройством АИК (звуковые послышки излучателя характеризуются интервалами «молчания», находящимися в пределах 1,3–3 с [5, 6]). Контрольные точки установки гидрофона находились на расстоянии 800 м (точка измерений Б) и 100 м (точка измерений С) от места расположения (точка А) работающего излучателя (рис. 1).

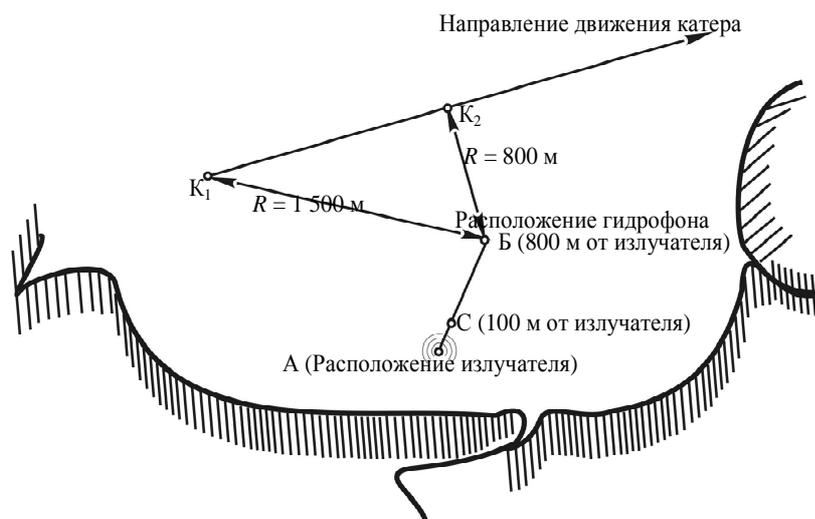


Рис. 1. Схема расположения регистрирующих станций (летний период)

В зимний период (февраль 2006 г.) производили подледную регистрацию фоновой записи шумов исследуемой акватории параллельно с регистрацией акустических сигналов, издаваемых приморским гребешком. Гидрофон устанавливался на глубину 8 м, контрольная точка установки гидрофона соответствовала летней контрольной точке В. В районе регистрации дно бухты заселено гребешком 2-3-летнего возраста.

### Результаты исследований

На рис. 2 представлены полученные нами сонограммы (А–Д) акустических сигналов, состоящие из шумов моря и работающего излучателя АИК (А, Б); шумов моря, работающего излучателя АИК и проходящего катера с подвесным лодочным мотором (В, Г); шумов моря и сигнала, издаваемого приморским гребешком (Д). Данные сонограммы характеризуются тремя параметрами: амплитудой, частотой, временем. Представлена также осциллограмма (Е) интенсивности сигнала приморского гребешком по временному диапазону.

На сонограммах А–Г измерения выполнены в летний период при волнении моря, величина которого доходила до 2 баллов. На сонограмме А основной сигнал акустического излучателя АИК представлен поз. 2. Сигналы (поз. 3, 4), расположенные после этого спектрального наполнения, повторяют его форму, но находятся в диапазоне в 2, 3 и т. д. раз выше по отношению к спектру частот основного звукового сигнала излучателя АИК. По всей вероятности, образование повторяющихся амплитудно-частотных спектров основного сигнала представляет собой гармонические помехи этого сигнала [7].

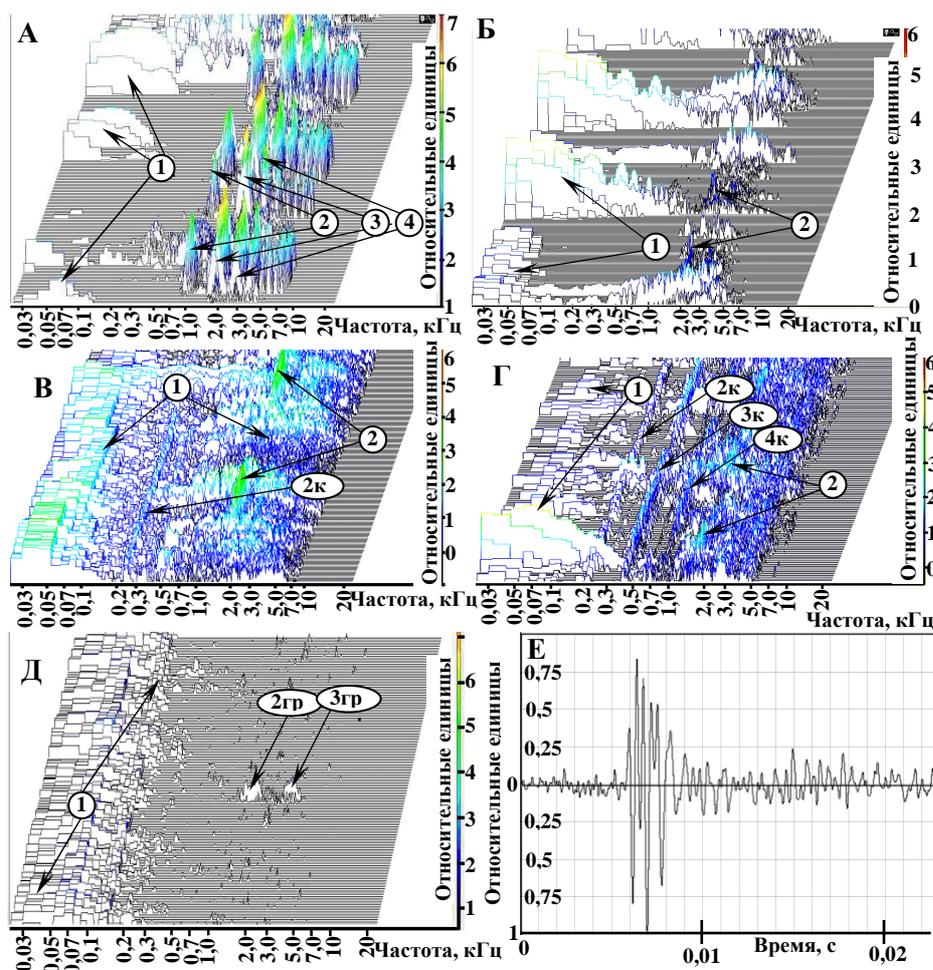


Рис. 2. Сонограмма акустических сигналов шумов моря (1) и излучателя АИК (2, 3, 4): А – расположенного на расстоянии 100 м от регистрирующего устройства (волнение до 1 балла); Б – расположенного на расстоянии 800 м от регистрирующего устройства (волнение до 2 баллов); В – сонограмма сигналов от действующего излучателя АИК (2), сигналов проходящего катера (2к), на фоне шумов моря (1). Расстояние от движущегося катера до гидрофона 1 500 м; Г – сонограмма шумов моря (1), акустических сигналов от действующего излучателя АИК (2) и сигналов от проходящего катера с работающим подвесным лодочным мотором (2к, 3к, 4к) на расстоянии 800 м до гидрофона; Д – сонограмма шумов моря (1) и сигналов гребешка (1гр, 2гр); Е – осциллограмма звуков приморского гребешка

Сигналы, зарегистрированные от различных источников звука, «сопровождаются» сложными сигналами в частотном диапазоне от 1 до 10 кГц, которые возникают в результате суммирования полезного сигнала и сигналов естественного фона (сигналы-шумы), их реверберации и флуктуации. Последние являются результатом рассеивания звука на неоднородностях морской среды и ее границах, возникновения отраженных сиг-

налов от дна и поверхности воды. Многократное отражение этих лучей приводит к появлению множества семейств лучей, каждый из которых выглядит так, как будто лучи выходят из мнимого источника звука [7]. Вышеперечисленные факторы влияют на форму результирующего полезного сигнала. Акустический сигнал, на который оказывают влияние присутствующие шумы, принимает изрезанную форму. Это происходит в результате сложения многократно отраженных лучей рассеивания звуковых волн полезного сигнала и шумов моря [8]. Такой фактор сложения частот и, соответственно, такая форма сигнала присутствуют на всех спектрограммах.

Как видно из рис 2, Б, максимальные величины уровней шумов (поз. 1) соизмеримы или имеют большие величины по отношению к уровню полезного сигнала (поз. 2). В то же время полезный сигнал от излучателя «маскируется» на фоне шумов моря, его можно различить на рисунке по плотности штрихов и более темному окрасу изображения. Особенно хорошо видно преобладание уровней шумов над уровнем полезного сигнала излучателя АИК на сонограммах В, Г. Представленные здесь энергетические уровни полезного сигнала и шумов моря ограничены временными дискретами, предусмотренными программой компьютера.

Сигналы проходящего катера регистрировались с расстояний  $K_1 \div B = 1\ 500$  м и  $K_2 \div B = 800$  м от гидрофона (рис. 1). Образовавшееся звуковое поле включает в себя сложный по спектральному составу сигнал (рис. 2, В, поз. 2к; Г, поз. 2к, 3к, 4к), основными источниками которого являются: работа двигателя (подвесного лодочного мотора), работа гребного винта, акустические шумы от носового буруна, величина которого зависит от скорости проходящего катера. Необходимо также учесть гидродинамический шум, источником которого является вибрация корпуса и жестко закрепленного с ним работающего двигателя.

Наложение совокупности составляющих поля приводит к образованию суммарного звукового поля с расположением максимумов энергетических уровней в полосе звуковых частот, близких к  $F = 200$  Гц, а его интервал колеблется в пределах от 190 до 230 Гц.

На сонограмме Г хорошо просматривается также акустический сигнал (поз. 3к) со спектром частот, кратным значениям основного сигнала с  $F = 200$  Гц (поз. 2к) и близким по значению к  $F = 400$  Гц; его интервал колеблется в пределах от 380 до 460 Гц. Как указывалось выше, зарегистрированные сигналы представляют собой гармоническую помеху основного сигнала.

На сонограмме В акустический сигнал проходящего катера (поз. 2к) просматривается нечетко ввиду значительного расстояния до точки регистрации, а повторяющийся сигнал гармонической помехи «поглощен» звуковым полем шумов акватории (поз. 1). Представленные на сонограммах В, Г акустические сигналы работающего катера (поз. 2к) и шумов моря (поз. 1) позволяют дать сравнительную оценку уровней этих сигналов по отношению к уровню полезного сигнала от излучателя АИК (поз. 2). Сигналы от излучателя мало заметны на фоне шумов, их форма не имеет четкого контура в сравнении с сигналом на сонограмме А (поз. 2).

На сонограмме Д показаны зарегистрированные в зимний период звуковые сигналы: собственные шумы акватории (поз. 1), расположенные в интервале от 0 до 150 Гц; звуковой сигнал приморского гребешка (поз. 2гр.), представляющий собой «щелчки» и расположенный в частотном интервале от 1 300 до 2 000 Гц; гармонические помехи (поз. 3гр.), образованные биологическим источником звука, которые просматриваются в более высоком частотном диапазоне.

Из рис. 2, Д видно, что уровни фона преобладают или равны по интенсивности уровню сигнала, издаваемого приморским гребешком. Однако уровень сигналов, издаваемых гребешком, гораздо выше фоновых акустических сигналов, находящихся в диапазоне частот выше 150 Гц. Таким образом, диапазон частот шумов акватории и частотный диапазон биологических звуков разнесены в интервалах их общего звукового поля и хорошо просматриваются на сонограмме.

На осциллограмме Е показано значение интенсивности биосигнала гребешка с максимальным уровнем, достигающим значения 0,75 отн. ед., временной интервал звучания составляет 0,05 с.

Спектрограммы на рис. 3 характеризуют зависимость уровней сигнал – шум от величины ветрового волнения и расстояния до точки регистрации.

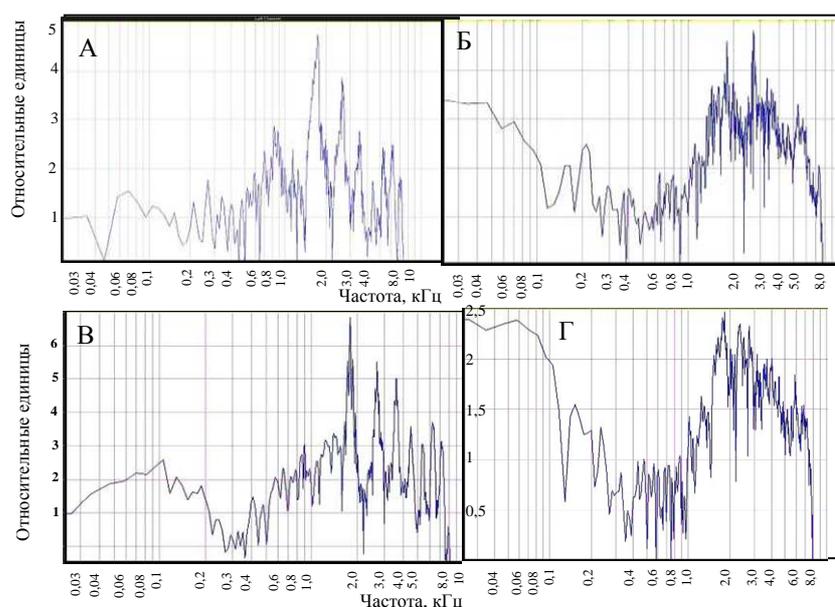


Рис. 3. Амплитудные уровни акустических сигналов, состоящих из шумов моря и работающего излучателя АИК, расположенного на расстоянии 100 м от регистрирующего устройства: А – волнение моря до 1 балла; Б – волнение моря до 3 баллов; В – волнение до 2 баллов; Г – уровни акустических сигналов, состоящих из шумов моря (волнение до 2 баллов) и работающего излучателя АИК, расположенного на расстоянии 80 м от регистрирующего устройства

Из рис. 3 видно, что при увеличении волнения моря от 1 (А) до 3 баллов (Б) происходит увеличение максимальных уровней шумов моря от 1,5 до 3,5 отн. ед. соответственно, а при волнении 2 балла (В, Г) уровень шумов составляет 2,5 отн. ед. Уровни полезного сигнала (А, Б, В) имеют незначительную разницу по величине.

Необходимо отметить, что при увеличении расстояния между излучателем и точкой регистрации со 100 (В) до 800 м (Г) максимальные уровни шумов акватории находятся в пределах до 2,5 отн. ед. Величина же полезного сигнала уменьшается от 6,5 (В) до 2,5 отн. ед. (Г).

Из рис. 3 также видно, что спектр частот полезного сигнала, производимого излучающим устройством АИК, сдвинут в сторону диапазона с более высокими по спектру частотами и находится в интервале от 1 до 5 кГц. Естественный фон собственных шумов моря на спектрограммах преобладает в диапазоне от 0 до 1 000 Гц, поэтому, несмотря на одинаковые уровни шумов и полезного сигнала (Б, Г), на рис. 3 достаточно хорошо просматриваются их спектры. Это позволяет предположить, что, несмотря на низкие уровни полезного сигнала по отношению к уровню шумов, механизм восприятия звуков рыб способен выделить акустический сигнал, несущий полезную для него информацию.

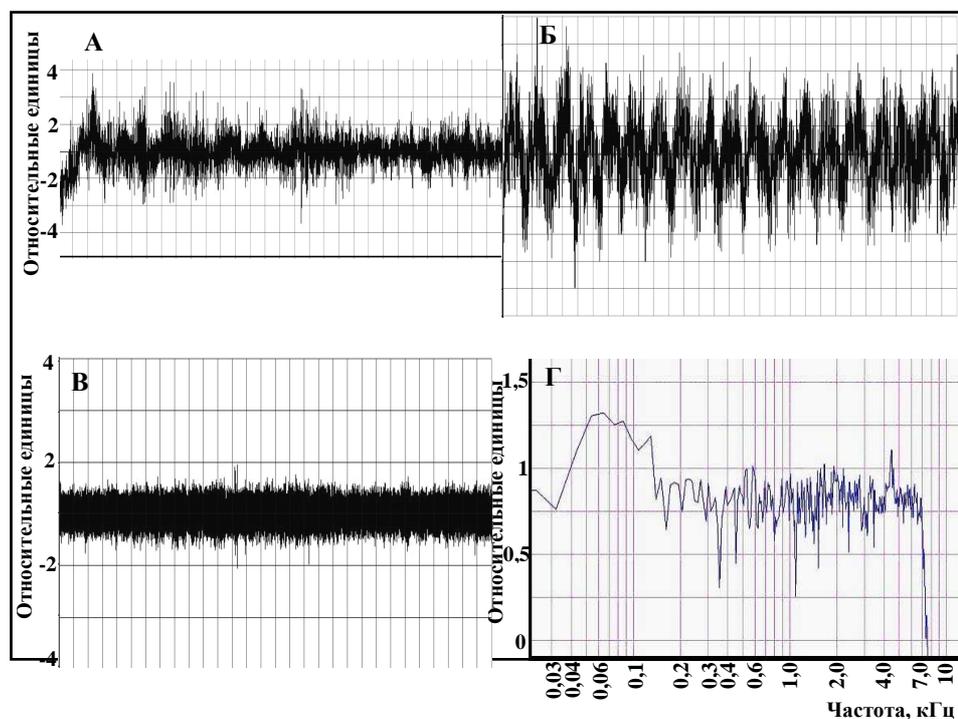


Рис. 4. Осциллограммы шумов моря и зарегистрированных сигналов в точке регистрации «Б»: А – при волнении моря 0–1 балл; Б – при волнении моря до 2 баллов; В – осциллограмма шумов моря, зарегистрированных в точке регистрации «Б» в зимний период; Г – спектрограмма шумов моря, зарегистрированных в точке регистрации «Б» в зимний период

На рис. 4 показаны осциллограммы шумов моря, зарегистрированных в различные времена года. Как видно из рис. 4, зарегистрированные в зимнее время шумы акватории В имеют более равномерное, менее изрезанное заполнение, в летнее время уровень шумов выше в 2–4 раза (А, Б), форма сигнала более изрезанная. На осциллограмме Б хорошо просматриваются повторяющиеся колебания огибающей уровней сигнала, на формирование которой, по-видимому, оказывает влияние раскачивающийся на волнах катер.

На спектрограмме Г зарегистрированные в зимнее время амплитудные значения фона более низких частот незначительно (0,3 отн. ед.) превышают уровень фона более высокого диапазона, начиная с  $F = 150$  Гц до 7 кГц.

К основным источникам, наполняющим звуковое поле в зимнее время, относятся шумы, связанные с течениями, приливами и отливами, биозвуками обитающих животных, шумами, связанными с подвижкой и деформацией льда, влияние оказывают также индустриальные шумы, тепловой шум, вызываемый беспорядочным движением молекул, другие гидрофизические параметры и т. д.

### **Заключение**

Результаты исследований показали:

1. Существует сезонная зависимость интенсивности акустического фона. Уровни шумов моря, зарегистрированных в зимний период, имеют меньшие величины по сравнению с уровнями акустического фона, зарегистрированного летом.

2. Для исследуемой акватории характерным является присутствие повторяющихся акустических сигналов, сопровождающих основной полезный сигнал, имеющих спектр частот выше спектра частот основного сигнала и повторяющих его форму, но с меньшим уровнем интенсивности. По-видимому, эти сигналы представляют собой гармонические помехи.

Наличие гармонических помех связано с тем, что в наших экспериментах измерения шумов моря и полезного сигнала, их спектральных плотностей выполняли регистрирующим трактом, имеющим пределы измерений в широкой полосе пропускания частот интервалом от 20 до 15 000 Гц, а акватория, в которой проводили измерения, отличалась незначительными глубинами (до 20 м).

3. С помощью регистрации акустической активности гребешка можно определять наличие и плотность заселения гребешка на данном участке акватории. Эти данные могут использоваться для рационального ведения рыбохозяйственной деятельности в части воспроизводства и добычи гидробионтов.

4. На основании полученных экспериментальных материалов можно предположить, что рыбы способны распознавать биологически значимые для них сигналы, которые «маскируются» на фоне шумов моря и соизмеримы с уровнем этих шумов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников В. Н. Основы промышленного рыболовства. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1983. – 216 с.
2. Зотов Е. М. Поле естественных низкочастотных звуковых шумов в море // Морской гидрофизический институт: ВИНТИ, 1983. – 13 с.
3. Михайленко Н. А. Орган звукообразования и электрогенерации у черноморского звездочета *Uranoscopus scaber* // Зоологический журнал. – 1973. – Т. 52, вып. 9. – С. 1353–1359.
4. Wenz G. Acoustic ambient noise in the ocean // J. Acoustic Soc. Amer. – 1962. – Vol. 12, N 34. – P. 847–861.
5. Поленюк В. В. Влияние звуковых сигналов, генерируемых излучателем «Корюшка» на поведение рыб в бухте Северной // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – 2000. – Вып. 13. – С. 32–34.
6. Поленюк В. В. Слуховые способности рыб и управление их поведением: Моногр. – Владивосток: ФГУП «ТИНРО-центр», 2005. – 130 с.
7. Справочник по гидроакустике / А. П. Евтютов, А. Е. Колесников, Е. А. Корепин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1988. – 552 с.
8. Акустика океана / Под ред. Л. М. Бреховских. – М.: Наука, 1974. – 208 с.

Получено 1.08.2006

## ABOUT THE PROBLEM OF SEA NOISE

V. V. Polenyuk

Sea noise is one of the basic factors influencing the behavior of fish. The work deals with comparative estimation (under spectral-time characteristics and intensities) of biologically useful acoustic signal (the signals uttered by acoustic radiator AIK, sounds of Japanese scallop, signals from a passing motor-boat) and the registered noise of an acoustic background of water area; estimation of influence of seasonal (winter – summer) changes and weather (wind wave) conditions on amplitude-frequency characteristics of the registered acoustic background signals. It has been found out that the levels of sea noise registered during the winter period are lower than the levels of the acoustic background registered in summer. The presence of repeating acoustic signals accompanying the basic useful signal is typical for the researched water area. Their frequency spectrum is higher than the frequency spectrum of the basic signal, they repeat its form, but with a smaller intensity level.