

УДК 551.463.21

П.А. Стародубцев¹, Е.Н. Бакланов², А.П. Шевченко¹, М.В. Мироненко³

¹Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова,
690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6

²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

³Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований
Дальневосточного отделения Российской академии,
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25

НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВЗГЛЯДЫ НА ПРОЦЕСС РЕАЛИЗАЦИИ ПРОСВЕТНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ

Рассмотрена методика акустической томографии акватории просветным методом с целью выявления неоднородностей среды различного происхождения. Даны примеры дальнего параметрического измерения характеристик гидрофизических волн движущихся объектов. Сделаны выводы о возможной концепции реализации систем мониторинга.

Ключевые слова: акустическая томография, просветная гидролокация, мониторинг акватории.

P.A. Starodubtcev, E.N. Baklanov, A.P. Shevchenko, M.V. Mironenko SOME CURRENT THEORETICAL VIEWS ON THE PROCESS OF IMPLEMENTATION OF LUMINAL MONITORING SYSTEMS OF THE MARINE ENVIRONMENT HYDROPHYSICAL FIELDS CHARACTERISTICS

The article shows the technique of acoustic tomography of a water area by luminal method in order to detect environmental inhomogeneity of various origins. Examples of long-distance parametric measurement of characteristics of moving objects hydro-physical waves are presented. Conclusions about the possible concept of implementation of the monitoring systems are made.

Key words: acoustic tomography, luminal sonar, water area monitoring.

Введение

История развития и практическая реализация идеи просветных систем мониторинга характеристик гидрофизических полей методом акустической томографии, основанной на высокочастотной и низкочастотной накачке «нелинейной» водной среды, достаточно подробно изложены в работах [1–3].

В них дан общий анализ теории низкочастотного просветного метода гидролокации водной среды, объединяющего закономерности преобразования просветного акустического поля излучениями объектов различной физической природы, а также пространственно развитыми неоднородностями морской среды. И отмечено, что наиболее эффективно проявляются закономерности амплитудно-фазовой модуляции и параметрического преобразования просветных сигналов акустическими и электромагнитными излучениями объектов при их совместном распространении в морской среде.

Основная часть

Такая система мониторинга обладает новизной в своем построении, и в ней в основном измеряются спектральные (или статистические) характеристики флуктуаций амплитуды (фа-

зы) просветных сигналов, обусловленные модуляцией и параметрическим преобразованием просветных сигналов полями движущихся объектов различной физической природы [4–6].

Для пояснения сути процесса реализации мониторинга характеристик измеряемых полей методом акустической томографии на рис. 1 представлена спектрограмма шумов крабовых скоплений.

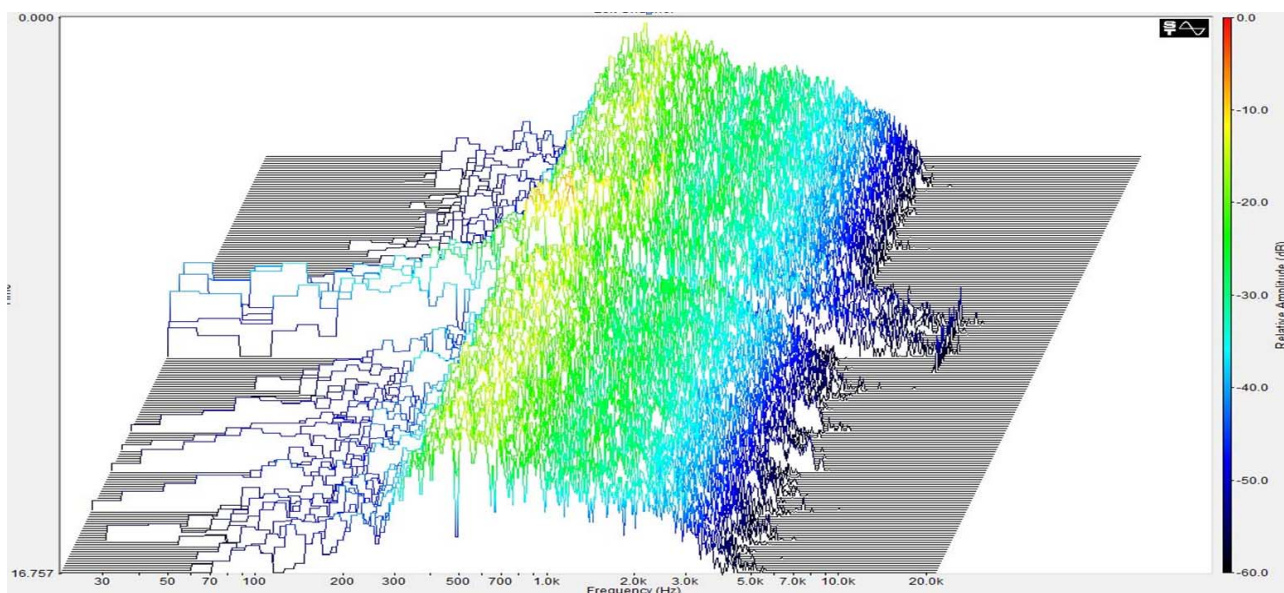


Рис. 1. Спектрограмма шумов крабовых скоплений.

Параметрический прием с низкочастотной и высокочастотной накачкой среды

Fig. 1. Spectrogram of crab clusters noise.

Parametric reception with low and high frequency pumped medium

Далее кратко рассмотрен пример нелинейного взаимодействия трех волн различных по физической природе источников в проводящей морской среде [5], а именно:

- волна с частотой ω_1 от дополнительного источника накачки среды;
- измеряемая (информационная) низкочастотная волна с частотой Ω от источника излучений;
- просветная волна накачки с частотой ω_2 , сформированная с условием $\omega_1 \approx \omega_2$.

Будем считать, что суммарный сигнал от источника, поступающий в область взаимодействия с просветной волной, является амплитудно-модулированным. В случае использования в качестве источника звука шумовых сигналов, модулированных низкочастотным звуком, характер огибающей $A(t)$ будет определяться частотой низкочастотной модуляции. При этом огибающая $A(t)$ по форме будет совпадать с модулирующей функцией $S(t)$, которая описывается гармоническими колебаниями

$$S(t) = S_0 \sin(\Omega t + \psi). \quad (1)$$

Амплитуду модулированного колебания при взаимодействии трех волн можно представить как

$$A(t) = A_0 + K_{ам} S(t) = A_0 + A_m \sin(\Omega t + \psi), \quad (2)$$

где Ω – частота модуляции, определяемая информационной волной; A_0 – амплитуда несущего колебания в отсутствие модуляции; S_0 – амплитуда несущего колебания при наличии модуляции; $K_{ам}$ – коэффициент пропорциональности; A_m – амплитуда изменения огибающей; ψ – начальная фаза огибающей; t – время.

Отношение $A_m / A_0 = m_A$ является коэффициентом модуляции; таким образом, мгновенное значение давления модулирующего колебания можно записать как

$$P(t) = A(t)\sin(\omega_1 t + \varphi) = A_0 [1 + m_A \sin(\Omega t + \psi)] \sin(\omega_1 t + \varphi), \quad (3)$$

где φ – начальная фаза модулирующего колебания; t – время.

Результирующее выражение для давления описывается известной формулой

$$P^*(t) = 0,5P^2 \left\{ J_0(m_p) \cos 2\omega t + J_1(m_p) [\cos(2\omega - \Omega)t - \cos(2\omega + \Omega)t] + \right. \\ \left. + J_2\left(\frac{2A_m}{P}\right) [\cos(2\omega - 2\Omega)t + \cos(2\omega + 2\Omega)t] + J_3\left(\frac{2A_m}{P}\right) [\cos(2\omega - 3\Omega)t - \right. \\ \left. - \cos(2\omega + 3\Omega)t] + \dots \right\}, \quad (4)$$

где $J_n\left(\frac{2A_m}{P}\right) 0,5P^2$ – амплитуды n -х боковых составляющих; n – любое целое число; A_m – амплитуды модулированных волн; m_p – коэффициент модуляции; 2ω – частота нелинейно сформированной волны.

Анализ полученного выражения показывает, что спектр колебаний взаимодействующих волн состоит из большого числа боковых составляющих, расположенных попарно симметрично относительно удвоенной центральной частоты $2\omega \approx \omega_1 + \omega_2$, значения частот которых отличаются от центральной частоты 2ω на величину $n\Omega$. Вклад энергии от различных боковых составляющих спектра в суммарную мощность модулированного колебания определяется величиной $2A_m / P$. При малых значениях коэффициента модуляции m_p спектр колебания состоит приблизительно из гармоник центральной частоты 2ω и двух боковых частот: верхней ($2\omega + \Omega$) и нижней ($2\omega - \Omega$).

Примеры дальнего параметрического измерения характеристик гидрофизических волн движущихся объектов и специальных источников излучения морской среды приведены на рис. 2, 3 [5].

Заключение

На основании такого краткого анализа современных теоретических взглядов на процесс реализации просветных систем мониторинга характеристик гидрофизических полей морской среды необходимо отметить следующее [5].

1. Такая система должна представлять собой:

- многоканальную широкомасштабную систему с низкочастотной подсветкой (накачкой) среды;
- приемная часть такой системы может быть сформирована на базе многолучевой параметрической антенны с низкочастотной накачкой;
- принцип компоновки и функционирования системы в целом должен полностью реализовывать метод гидролокации на просвет с низкочастотной накачкой контролируемой среды.

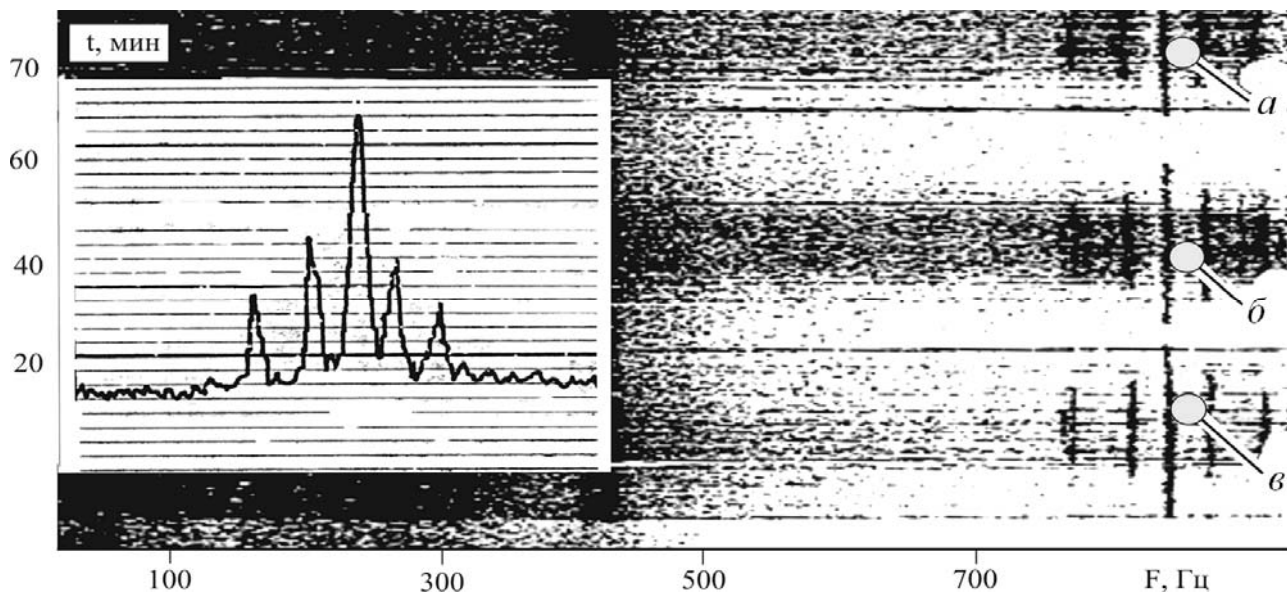


Рис. 2. «Тройное» нелинейное взаимодействие волн: а – просветных акустических (386 Гц); б – электромагнитного поля морского судна (400 Гц); в – вально-лопастного ряда движущегося судна
 Fig. 2. «Triple» nonlinear interaction of waves: а – luminal acoustic waves (386 Hz); б – electromagnetic field of a marine vessel (400 Hz); в – shaft-propeller group of moving ship

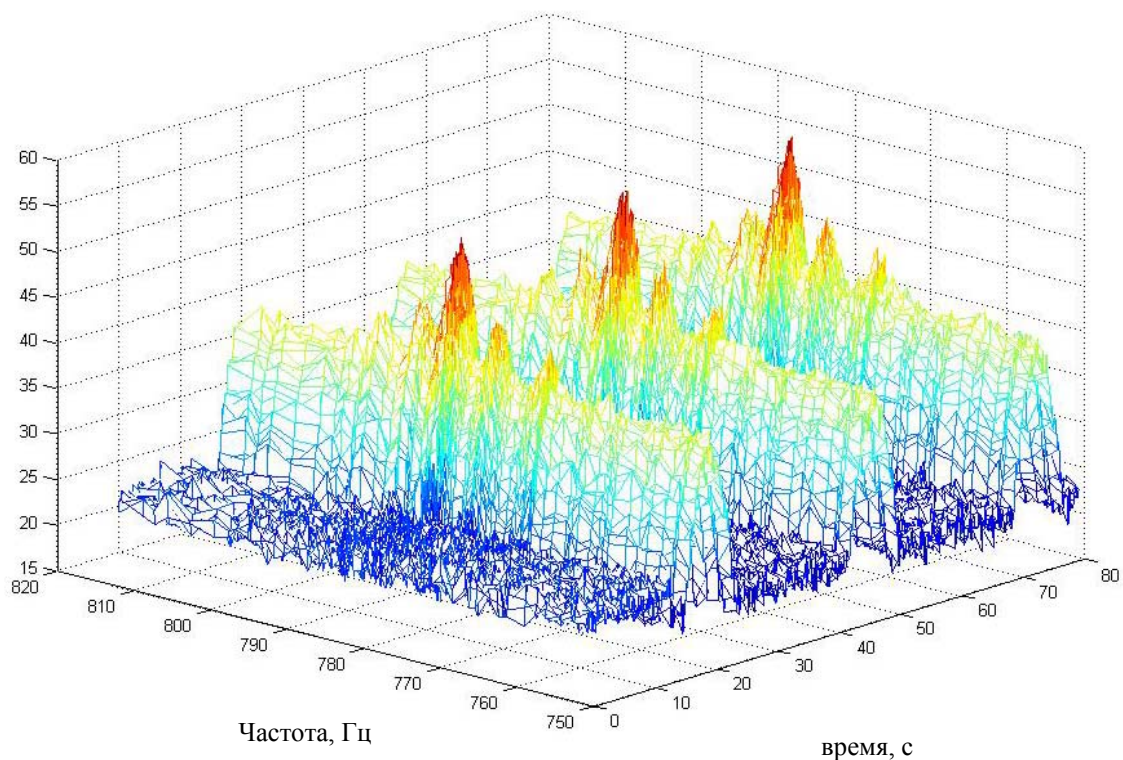


Рис. 3. Спектр предвестника землетрясения. Очаг землетрясения в районе о-вов Курильской гряды, прием – мыс Анива, о. Сахалин
 Fig. 3. The spectrum of earthquake precursors. The earthquake is located in the Kuril Islands area, reception – cape Aniva, Sakhalin Island

2. Важная роль в создании таких широкомасштабных систем контроля и мониторинга характеристик морской среды может быть отведена научно-техническим разработкам радио-гидроакустических средств морского приборостроения СКБ САМИ ДВО РАН.

С использованием этих разработок может быть эффективно реализован дальний параметрический прием гидрофизических волн морской среды в широком диапазоне частот с последующей передачей информации в Единый региональный информационно-аналитический центр анализа и управления.

Список литературы

1. Стародубцев, П.А. Теоретические и экспериментальные исследования возможности применения просветных сигналов в системах применения гидроакустической томографии / П.А. Стародубцев. – Владивосток: ТОВМИ им. С.О. Макарова, 2003. – 258 с.
2. Мироненко, М.В. Метод низкочастотной гидроакустической томографии и измерительная система контроля морских акваторий / М.В. Мироненко, П.А. Стародубцев, А.М. Мироненко // Акустика океана: сб. тр. 11 сессии РАО. – М.: ГЕОС, 2001. – Т.2. – С.7–10.
3. Мироненко, М.В. Помехоустойчивость приема информации при реализации просветного метода гидролокации морских акваторий / М.В. Мироненко, С.В. Шостак // Акустика океана. 12 сессия РАО, 9 школа-семинар им. Л.М. Бреховских. – М.: ГЕОС, 2002. – С. 381–386.
4. Шостак, С.В. Амплитудно-фазовая модуляция акустических волн при их взаимодействии в морской среде / С.В. Шостак, М.В. Мироненко // Сб. ст. ТОВМИ им. С.О. Макарова. – Владивосток, 2001. – Вып. 22. – С. 82–88.
5. Мироненко, М.В. Глубоководный автономный радиогидроакустический комплекс измерения гидрофизических полей морской среды, передачи информации по каналам связи / М.В. Мироненко, Л.Э. Карачун, А.Е. Малашенко // Морские исследования и технологии изучения природы Мирового океана: сб. ст. – Владивосток: СКБ САМИ ДВО РАН, 2005. – Вып. 1. – С.125–128.
6. Шостак, С.В. Современные теоретические объяснения процесса влияния гидроакустического канала на зондирующий сигнал и алгоритм его обработки с целью выделения гармонического эхо-сигнала / С.В. Шостак, Е.Н. Бакланов, П.А. Стародубцев, А.П. Шевченко // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. – Т. 33. – С. 35–40.
7. Шевченко, А.П. Гидроакустическая мультистатическая схема дальнего приема сигналов «малых амплитуд» от сейсмических и синоптических процессов / А.П. Шевченко, П.А. Стародубцев, Е.Н. Бакланов // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. – Т. 33. – С. 24–34.

Сведения об авторах:

Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор,
e-mail: spa1958@mail.ru;

Бакланов Евгений Николаевич, доцент, e-mail: baklanoven@mail.ru;

Шевченко Александр Петрович, e-mail: vunc-vmf-tovmi@mail.ru;

Мироненко Михаил Владимирович, ведущий сотрудник, доктор технических наук,
профессор, e-mail: professor@mail.primorye.ru.