

УДК 551.463.21

**А.П. Шевченко<sup>1</sup>, П.А. Стародубцев<sup>1</sup>, Е.Н. Бакланов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова,  
690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6<sup>2</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ МУЛЬТИСТАТИЧЕСКАЯ СХЕМА  
ДАЛЬНОГО ПРИЕМА СИГНАЛОВ «МАЛЫХ АМПЛИТУД»  
ОТ СЕЙСМИЧЕСКИХ И СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

*Рассматриваются закономерности и измерительные технологии низкочастотной нелинейной просветной гидроакустики, а также научно-технические разработки средств морского приборостроения. Обосновываются практические пути их реализации в создании широкомасштабных радиогидроакустических систем контроля сейсмической и синоптической обстановки, комплексного мониторинга полей различной физической природы (акустических, электромагнитных, гидродинамических) на протяженных акваториях. Анализируются результаты морских испытаний экспериментальных просветных систем мониторинга, обеспечивших дальний параметрический прием волн искусственных и естественных источников, сейсмических и синоптических явлений на линиях протяженностью десятки – сотни километров в диапазоне частот, охватывающем сотни – десятки – единицы – доли герца.*

**Ключевые слова:** просветная гидроакустика, контроль сейсмической обстановки, мониторинг акустических полей, дальний параметрический приём, многолучевое распространение, «волны-убийцы».

**A.P. Shevchenko, P.A. Starodubtcev, E.N. Baklanov****MULTISTATIC SONAR SCHEME FOR DISTANT RECEPTION  
OF «SMALL AMPLITUDE» SIGNALS OF SEISMIC AND SYNOPTIC PROCESSES**

*The main regularities and measuring technologies of the low-frequency nonlinear luminal hydroacoustics, as well as scientific researches of the facilities of the marine instrumentation are described. The practical ways to implement them in the making of large-scale radio-acoustic control systems of seismic and synoptic situation, integrated monitoring of fields of different physical nature (acoustic, electromagnetic, hydrodynamic) over the extended water area are justified. There were analyzed the results of sea trials of experimental luminal monitoring systems ensuring further parametric receiving waves of natural and artificial sources, seismic and synoptic phenomena on lines for tens – hundreds of kilometers in the frequency range covering hundreds – dozens – units – fraction of a hertz.*

**Key words:** luminal hydroacoustics, monitoring of seismic conditions, monitoring acoustic fields, long-distance parametric reception, multipath propagation, «killer waves».

Проведенный анализ существующих «измерительных» технологий, используемых при широкомасштабном мониторинге океанской среды, показал, что их реализация в просветной гидроакустике возможна при учете многолучевого распространения акустических волн в гидроакустическом канале, имеющем переменные характеристики среды. В такой «измерительной» технологии обычно осуществляется пространственно-угловое или временное разделение многолучевого сигнала и регистрация его наиболее энергонесущих, в раскрыв приемной акустической антенны, приходов.

В таком случае в точке приёма следует выделять только те сигналы, которые провзаимодействовали с измеряемыми информационными, сформированными искусственными и

естественными источниками, сейсмическими и синоптическими процессами морской среды. Ввиду обычно сложной помеховой обстановки в точках приема таких взаимодействующих сигналов для увеличения помехозащищенности просветных систем необходимо использовать лучи просветного поля как пространственно развитые параметрические антенны бегущей волны [1–3].

Просветная система мониторинга будет представлять собой пространственную многолучевую параметрическую антенну, обеспечивающую возможность дальнего приема волн «малых амплитуд» в диапазоне частот десятки – единицы – доли герца.

Теоретические оценки возможности разделения многолучевости распространения сигналов, проведенные авторами, показывают, что, если их прием ведется на вертикально или горизонтально развитые антенные системы, размещенные на больших глубинах в стабильных условиях, то лучи как кластеры удастся разделить на дистанциях до 500 км [2, 4]. Разработки самой бестелесной параметрической антенны бегущей волны, основанной на высокочастотной накачке водной среды, были изложены в работах ИПФ РАН еще в 80-х гг. [5]. Развитие и реализация этой идеи – в низкочастотном просветном методе гидролокации, объединяющем закономерности преобразования просветного поля излучениями и полями объектов различной физической природы (акустическими, электромагнитными, гидродинамическими), а также пространственно развитыми неоднородностями морской среды.

Порядок практической реализации параметрической антенны в условиях многолучевого распространения просветных сигналов на протяженных трассах не требует строгого обоснования. В этом случае каждый отдельный акустический луч, вышедший из точки излучения и принятый в точке приема, представляет собой параметрическую антенну бегущей волны. Проведем обоснование возможности использования этих закономерностей в просветных системах гидролокации. Считаем, что сигнал на антенне в вертикальной плоскости формируется двумя кластерами, которые приходят в точку приема сверху, снизу и имеют вид [1-3]

$$P \exp(j\omega_0 t) = S(t). \quad (1)$$

В соответствии с принципом суперпозиции на антенне формируется сигнал

$$U(t) = S_1(t) + S_2(t), \quad (2)$$

где  $S_1(t)$  и  $S_2(t)$  – сигналы первого и второго кластеров соответственно.

Примем, что  $S_1(t)$  – опорный сигнал, имеющий наименьшее время распространения. Представители кластеров  $S_1(t)$  и  $S_2(t)$  отличаются углами падения на антенну и, кроме того, относительным временем прихода к антенне. С учетом этого выражение (2) представим в виде

$$\begin{aligned} U(t, z) &= \alpha_1 P \exp \left[ j\omega_0 \left( t - \frac{z}{c} \sin \theta_1 \right) \right] + \alpha_2 P \exp \left[ j\omega_0 \left( t - \frac{z}{c} \sin \theta_2 - \tau \right) \right] = \\ &= P_1 \exp \left[ j\omega_0 \left( t - \frac{z}{c} \sin \theta_1 \right) \right] + P_2 \exp \left[ j\omega_0 \left( t - \frac{z}{c} \sin \theta_2 - \tau \right) \right], \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты затухания кластеров;  $\theta_1, \theta_2$  – углы прихода кластеров на антенну;  $\tau$  – относительная временная задержка второго кластера относительно первого;  $z$  – пространственная вертикальная составляющая акустического поля.

Возьмем преобразование Фурье по  $t$  от выражения (3)

$$V(\omega, z) = P \frac{\sin[(\omega - \omega_0)0,5T]}{[0,5T(\omega - \omega_0)]} \times \left\{ a_1 \exp\left(-j\omega_0 \frac{z}{c} \sin \theta_0\right) + a_2 \exp\left[-j\omega_0 \left(\frac{z}{c} \sin \theta_2 + \tau\right)\right] \right\}, \quad (4)$$

где выражение (4) можно представить в виде

$$V(\omega, z) = S(\omega) \cdot H(\omega, z), \quad (5)$$

где  $S(\omega) = F\{P \exp(j\omega_0 t)\}$  – преобразование Фурье от  $S(t)$ .

$$S(\omega) = P \cdot \frac{\sin[0,5T(\omega - \omega_0)]}{0,5T(\omega - \omega_0)}, \quad (6)$$

$$H(\omega, z) = a_1 \exp\left(-j\omega_0 \frac{z}{c} \sin \theta_0\right) + a_2 \exp\left[-j\omega_0 \left(\frac{z}{c} \sin \theta_2 + \tau\right)\right], \quad (7)$$

где  $H(\omega, z)$  – частотно-пространственная характеристика канала распространения.

Спектральная плотность мощности  $U(t, z)$  находится из выражения

$$|U(\omega, z)|^2 = |S(\omega)|^2 \cdot |H(\omega, z)|^2. \quad (8)$$

Как видно из выражения (4),  $|S(\omega)|^2 = P^2 \cdot \frac{\sin^2[0,5T \cdot (\omega - \omega_0)]}{[0,5T(\omega - \omega_0)]^2}$ . Показано, что

$$|H(\omega, z)|^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos \varphi,$$

где 
$$\varphi = \frac{\omega_0}{c} [z(\sin \theta_1 - \sin \theta_2) - \tau]. \quad (9)$$

В зависимости от величины  $\varphi$   $|H(\omega, z)|^2$  может принимать различные значения. Если  $\varphi = 0,2\pi$ , то  $|H(\omega, z)|^2_{\min} = (a_1 - a_2)^2$ . В общем случае значение  $V(\omega, z)$  в выражении (5) можно считать случайной величиной, равномерно распределенной в интервале от 0 до  $2\pi$ . Поэтому, усредняя (9) по  $\varphi$ , получим  $\overline{|H(\omega, z)|^2} = a_1^2 + a_2^2$ . Из приведенных рассуждений видно, что спектральная плотность мощности на выходе антенной системы имеет нестабильный характер, зависящий от  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $\sin \theta_1$ ,  $\sin \theta_2$  и  $\tau$ , вследствие чего и мощность выходного сигнала также будет флюктуировать, так как

$$P_{\text{вых}} = \int_{-\infty}^{\infty} |V(\omega, z)|^2 d\nu = \int_{-\infty}^{\infty} |S(\omega)|^2 \cdot |H(\omega, z)|^2 d\omega. \quad (10)$$

Получим спектральную плотность от функции  $V(\omega, z)$  по переменной  $z$ , т.е. частотно-волновой спектр сигнала  $U(t, z)$ . В результате чего

$$V(\omega, z) = S(\omega) \left\{ \begin{array}{l} a_1 \frac{\sin[0,5L(K_0 \sin \theta_1 - \vartheta)]}{0,5L(K_0 \sin \theta_1 - \vartheta)} + \\ + a_2 \frac{\sin[0,5L(K_0 \sin \theta_2 - \vartheta)]}{0,5L(K_0 \sin \theta_2 - \vartheta)} \exp(-j\omega_0 \tau) \end{array} \right\} = S(\omega) \cdot H(\omega, \vartheta), \quad (11)$$

где  $\vartheta$  – частота;  $L$  – размеры антенной решетки в вертикальной плоскости.

Из выражения (11) видно, что на плоскости  $(\omega, z)$  пространственные и временные значения частоты связаны линейной зависимостью с углами наклона луча к плоскости антенны, определяемыми выражениями  $(K_0 \sin \theta_1)$  и  $(K_0 \sin \theta_2)$ .

Спектр сигнала на выходе антенны будет представлять собой сумму его составляющих как сигналов кластеров с одинаковой по времени частотой  $\omega_0$  и разными фазовыми членами  $\vartheta_1 = (\beta\omega_0 / c) \sin \theta_1$  и  $\vartheta_2 = (\omega_0 / c) \sin \theta_2$ . Вследствие этого можно оценить  $\sin \theta_1$  и  $\sin \theta_2$ . Поэтому, рассчитывая  $\tau$  по известной методике, можно оценить  $\tilde{H}(\omega, z)$  и затем найти  $|\tilde{H}(\omega, z)|^2$ . Разделив выражение (6) на выражение  $|\tilde{H}(\omega, z)|^2$ , находим

$$\frac{|V(\omega, z)|^2}{|\tilde{H}(\omega, z)|^2} = |S(\omega)|^2 \cdot \frac{|H(\omega, z)|^2}{|\tilde{H}(\omega, z)|^2}. \quad (12)$$

Подставляя (12) в (10), получим, что мощность сигнала на выходе антенны определяется интегральным значением спектральной плотности принимаемых сигналов и пространственными параметрами волновода как канала распространения [4, 6].

$$P_{\text{вых}} = \int_{-\infty}^{\infty} |S(\omega)|^2 \cdot \frac{|H(\omega, z)|^2}{|\tilde{H}(\omega, z)|^2} d\omega. \quad (13)$$

В полученном выражении прямая зависимость характеристик сигналов от параметров среды практически отсутствует. Она учтена в его модуляционных пространственно-частотных характеристиках, отражающих пространственно-волновые параметры канала распространения акустических волн. Рассмотрим результаты морских испытаний низкочастотной просветной системы как параметрической антенны бегущей волны. Параметрический прием акустических сигналов «малых амплитуд» в этих системах основан на нелинейном взаимодействии принимаемой низкочастотной волны с интенсивной низкочастотной волной подсветки среды на пути их совместного распространения. Физическая сущность нелинейного взаимодействия просветных волн и формирования параметрических составляющих комбинационных волн суммарной и разностной частоты при их совместном распространении в нелинейной среде заключается во взаимной модуляции фронта одной волны другой, в результате чего фазовая скорость их распространения взаимно преобразуется. Это приводит к амплитудно-фазовой модуляции просветной волны, которая может быть выражена через ам-

плитуду или индекс фазовой модуляции. Комплексные амплитуды  $P_{\pm}$  сформированных комбинационных волн суммарной и разностной частот и индекса фазовой модуляции  $\Delta\varphi$  для просветных параметрических систем выражаются аналитическими зависимостями [1–3].

$$P_{\pm} = \frac{\varepsilon\omega_1\omega_2 p_1 p_2}{\rho_0 c_0^4} \cdot \Delta V \cdot \cos\theta; \quad \Delta\varphi = \frac{(\gamma + 1) \cdot \omega_c P_c V}{2\rho_0 (c_0)^3 R^2}, \quad (14)$$

где  $\varepsilon$  – параметр нелинейности среды;  $p_1, p_2$  – комплексные амплитуды волн накачки и принимаемого сигнала;  $\rho_0, c_0$  – плотность, скорость звука в среде;  $\omega_1, \omega_2$  – частоты волн принимаемой и накачки соответственно;  $\theta$  – угол между фронтами взаимодействующих волн;  $\Delta V$  – объем среды распространения и взаимодействия волн [6, 7].

Экспериментальные исследования по реализации просветной параметрической системы как параметрической были проведены в Татарском проливе Японского моря. В качестве приемной базы использовались радиогидроакустические буи (РГБ), связанные по радиоканалу с лабораторией судна. В качестве излучающей базы использовался излучатель, буксируемый другим судном, который озвучивал среду сигналами стабильной частоты 400 Гц. В этом эксперименте выполнены измерения спектральных характеристик инфранизкочастотных шумов на шельфовой зоне о. Монерон, формируемых техническими объектами, расположенными в береговой зоне о. Сахалин. Спектрограмма шумов и их усредненная амплитудная характеристика по трассе измерения приведены на рис.1. Протяженность просветной линии составляла около 310 км. Спектрограмма гидродинамических возмущений морской среды за время прохождения циклона дана на рис. 2, спектрограмма предвестника землетрясения – на рис. 3.

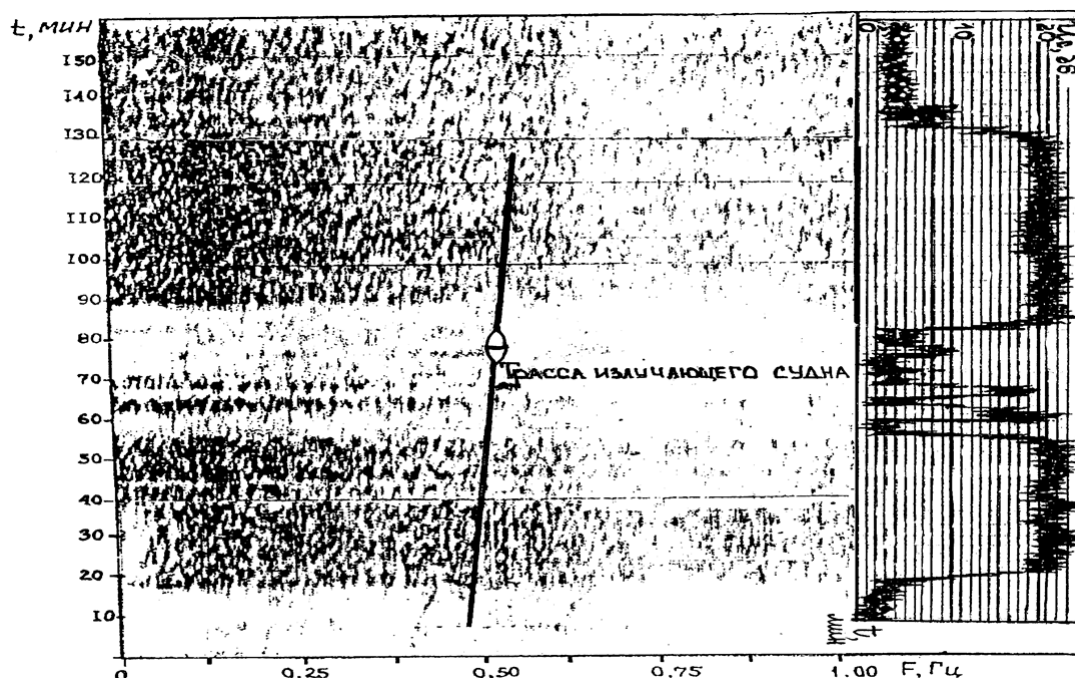


Рис. 1. Спектрограмма шумов и их амплитудная характеристика. Измерения на трассе 310 км. о. Сахалин – побережье Приморья

Fig. 1. Spectrogram of noise and its amplitude characteristic. Measurements are made on the track 310 km Sakhalin Island – coast of Primorye

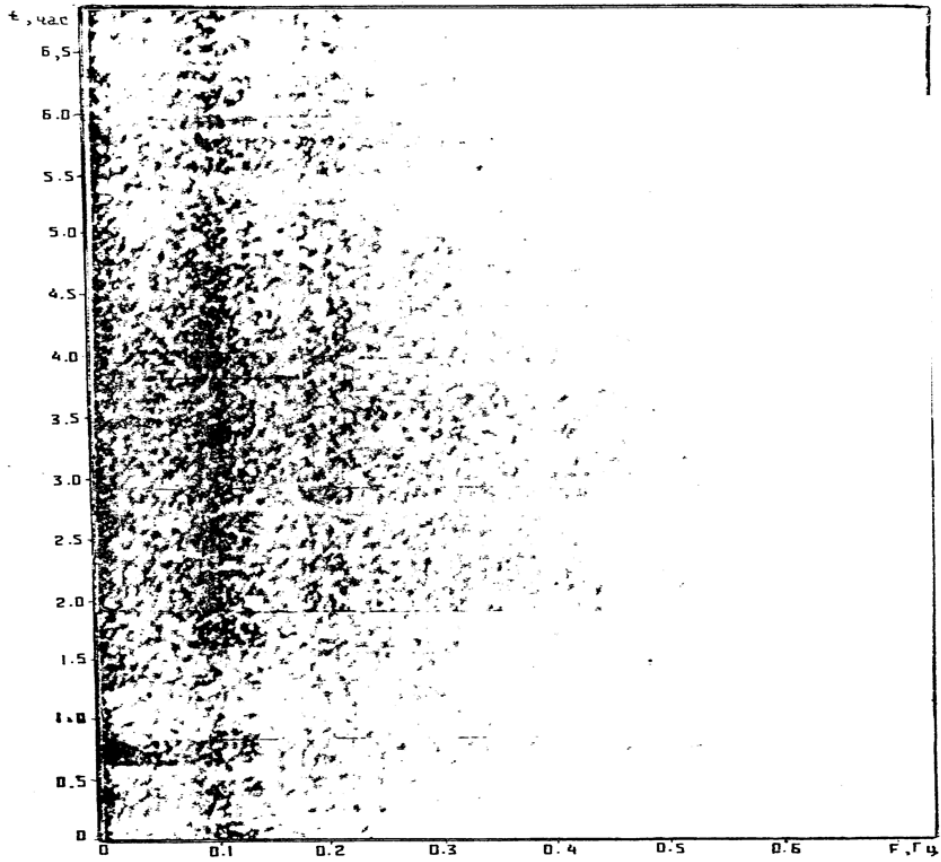


Рис. 2. Спектрограмма гидродинамических возмущений морской среды за время прохождения циклона

Fig. 2. Spectrogram of hydrodynamic perturbations of marine environment during the passage of a cyclone

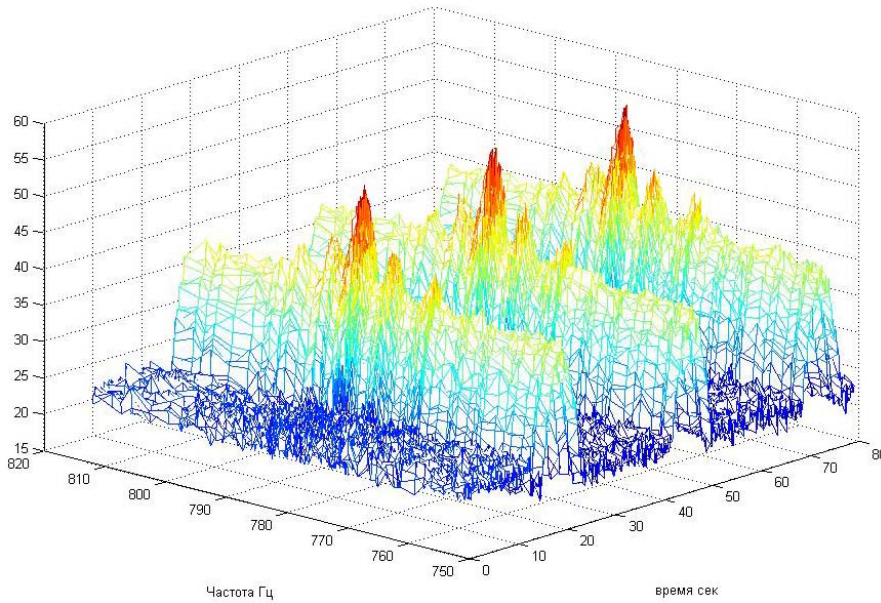


Рис. 3. Спектрограмма предвестника землетрясения, Охотское море

Fig. 3. Spectrogram of earthquake precursors, the Sea of Okhotsk

### Регистрация «волн-убийц» в южной части Охотского моря

В 2010 г. в ходе экспедиционных работ, проводимых Специальным конструкторским бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, были проведены исследования по регистрации процессов зарождения и протекания волнения морской среды в зал. Анива (южная часть о. Сахалин). Экспериментальные данные были обработаны по методике выделения anomalously высоких волн, называемых «волнами-убийцами» (моменты, когда высота волны более чем в 2 раза превышает среднюю высоту остальных волн). Для этого региона существование «волн-убийц» ранее не отмечалось. Было проведено изучение данных, полученных в 2009 г., которое показало, что имеется около 100 выбросов, удовлетворяющих амплитудному критерию формирования «волн-убийц» (рис. 4, 5).

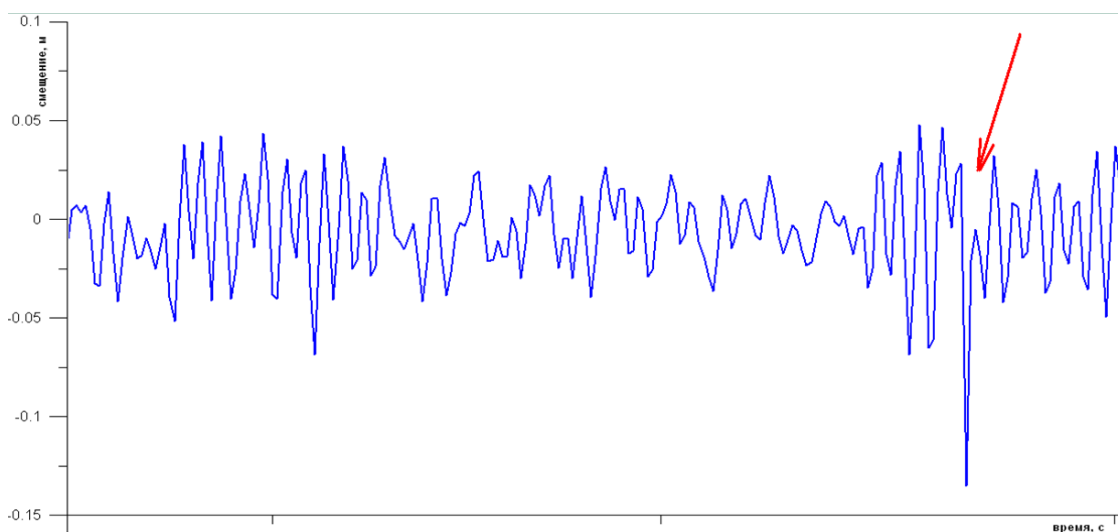


Рис. 4. Регистрация «волны-убийцы» в районе мыса Анива о. Сахалин  
 Fig. 4. Registering of "killer waves" in the area of Cape Aniva, Sakhalin Island

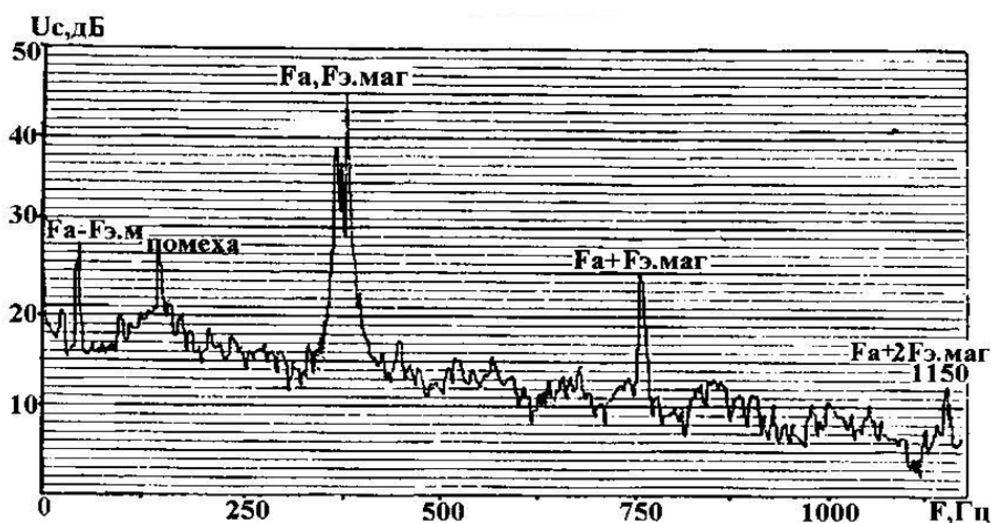


Рис. 5. Спектр излучений морского судна. Параметрический прием электромагнитных и акустических полей судна на просветной линии протяженностью 45 км  
 Fig. 5. The emission spectrum of a marine vessel. Parametric reception of electromagnetic and acoustic fields of a vessel on the 45 km luminal line



Создаваемая система контроля и мониторинга полей объектов и явлений формируется как радиогидроакустическая, и в этой связи в ней используются как необходимые элементы радиогидроакустические измерительные комплексы, разрабатываемые и серийно создаваемые в Специальном конструкторском бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, рис. 6, 7. Экспериментальные образцы макетов систем мониторинга, сформированные на основе радиогидроакустических средств морского приборостроения, прошли испытания в различных районах дальневосточных морей и подтвердили свою высокую эксплуатационную эффективность и надежность. Особым преимуществом использования радиогидроакустических систем морского приборостроения является возможность их вхождения по каналам радиосвязи, включая космические, в Региональный информационно-аналитический центр. Это преимущество обеспечивает также практическую возможность формирования системы контроля и мониторинга как масштабируемой из пространственно разнесенных подсистем, размещенных в районах Морской экономической зоны Дальневосточного региона.

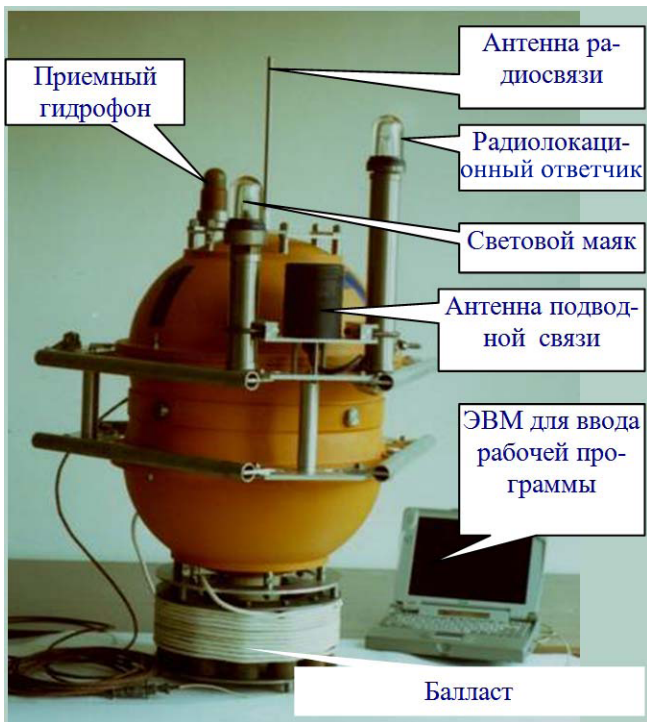


Рис. 6. Радиогидроакустический комплекс  
Fig. 6. Radio-sonar complex

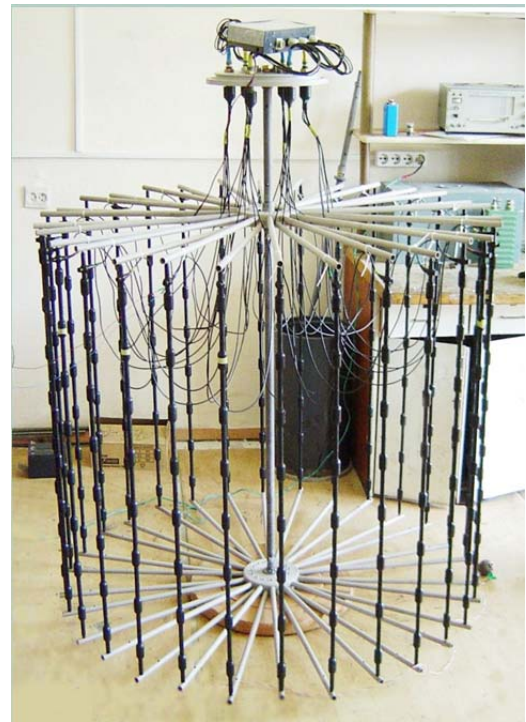


Рис. 7. Приемная звукопрозрачная антенна  
Fig. 7. Receiving sound-permeable antenna

Морской эксперимент подтвердил эффективную работу просветной системы как многолучевой параметрической антенны, соизмеримой с протяженностью контролируемой трассы. Подтверждены высокие измерительные возможности просветной системы на линиях протяженностью десятки–сотни километров. Просветные параметрические системы обеспечивают дальний прием информационных волн различной физической природы технических и естественных источников процессов и опасных явлений среды в диапазоне частот, охватывающем сотни – десятки – единицы – доли герца.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями, а также испытаниями научно-технических разработок просветной гидроакустики в морских условиях обосновано и под-



тверждено, что она эффективно реализуется на основе закономерностей нелинейного взаимодействия и параметрического преобразования низкочастотных просветных акустических волн с измеряемыми информационными волнами различной физической природы в морской среде. При этом пространственно-временная амплитудно-фазовая структура просветного акустического поля модулируется информационными излучениями морских объектов и возбуждаемых неоднородностей морской среды. Научно-технические разработки классической нелинейной акустики и их реализация в гидроакустических системах мониторинга гидрофизических и геофизических полей морских акваторий обусловили необходимость применения нового, уточняющего названия. В этом случае ее целесообразно называть нелинейной просветной гидроакустикой (НЛПГА), в которой используется низкочастотная (десятки – сотни герц) подсветка (накачка) контролируемой среды, обеспечивающая дальний параметрический прием волн различной физической природы (акустических, электромагнитных и гидродинамических), формируемых искусственными и естественными источниками морской среды в диапазоне частот сотни – десятки – единицы – доли герц [1–3].

Измерительные технологии нелинейной просветной гидроакустики включают выполнение следующей последовательности операций [4, 5]. Излучатель и приемные блоки гидроакустической системы размещают на противоположных границах акватории, облучают ее низкочастотными акустическими сигналами. Формируют в среде рабочую зону нелинейного взаимодействия просветных и измеряемых волн, как многолучевую параметрическую антенну. Далее преобразованные просветные сигналы принимают и усиливают в полосе параметрического преобразования, переносят их частотно-временной масштаб в высокочастотную область. Проводят узкополосный спектральный анализ и выделяют верхнюю и (или) нижнюю боковую полосу преобразованных просветных сигналов, по которым с учетом параметрического и частотно-временного преобразования определяют характеристики принимаемых информационных полей объектов и среды [6, 7].

Использование операции активной низкочастотной подсветки контролируемой среды (на частотах десятки герц – сотни герц) обеспечивает возможность дальнего обнаружения акустически слаботемных объектов и неоднородностей среды по признакам их полей. При этом низкочастотные просветные сигналы делают метод практически нечувствительным к мелкомасштабным изменениям гидрологических характеристик морской среды. Характеристики полей шумового излучения, а также электромагнитные и гидродинамические поля в этом случае измеряются (выделяются) путем спектрального или корреляционного анализа принимаемых нелинейно преобразованных просветных сигналов.

Реализация в просветной гидроакустике закономерностей параметрического приема волн различной физической природы обеспечивает возможность измерения характеристик полей объектов и среды низкочастотного и инфранизкочастотного диапазонов частот антеннами малых волновых размеров. При этом эффективно реализуется возможность дальнего параметрического приема волн «малых амплитуд», что является практически неразрешаемой задачей для классических станций обнаружения объектов по признакам их полей различной физической природы.

Метод низкочастотной просветной гидроакустики практически не зависит от отражающих характеристик объектов и в меньшей степени зависит от уровня сигналов излучаемых ими полей. Он реализуется на низких просветных акустических сигналах, но не требует обязательного применения крупногабаритных направленных приемных антенн, а также сложных трактов формирования, приема и обработки сигналов. Реализующие метод гидроакустические системы могут быть сформированы из существующих штатных гидроакустических изделий и радиотехнических приборов. Рассматриваемые просветные системы мониторинга могут быть созданы на основе средств морского приборостроения пре-

имущественно автономных радиогидроакустических комплексов, а также звукопрозрачных цилиндрических антенн, создаваемых в ФГБУН «СКБ САМИ» ДВО РАН [2]. Образцы таких систем как мобильных и быстро разворачиваемых прошли испытания и подтвердили высокую эффективность. Экспериментальными исследованиями показано, что просветная параметрическая система мониторинга, сформированная в быстро разворачиваемом (преимущественно корабельном или авиационно-поисковом) вариантах, позволяет решать совокупность задач мониторинга полей различной физической природы атмосферы, океана и земной коры. В совокупности с авиационными и спутниковыми радиотехническими средствами связи, сбора и обработки информации такая система может быть использована также в интересах прогнозирования землетрясений, обнаружения волн цунами и других опасных явлений [1, 2].

В отличие от классических параметрических устройств просветная система контроля морских акваторий, основанная на реализации закономерностей нелинейной гидроакустики, может быть сформирована как многоканальная широкомасштабная параметрическая с низкочастотной подсветкой (накачкой) контролируемой среды. Параметрическое взаимодействие просветных сигналов, а также преобразование их полями объектов, а также сейсмических и синоптических явлений, происходит на всем пути их совместного распространения в морской среде. В этой связи, давление сформированных комбинационных волн и индекс фазовой модуляции аналогичны классическим, но в этом случае возрастет полезная фазовая модуляция взаимодействующих волн, что обусловлено усилением взаимодействия волн в протяженном объеме среды с повышенной нелинейностью как пространственно развитой многолучевой параметрической антенны бегущей волны. Характеристика направленности просветной параметрической антенны для каждого луча определяется длиной просветной волны и протяженностью контролируемой трассы [1, 3]. Обоснование закономерностей нелинейного взаимодействия и параметрического преобразования упругих просветных волн принимаемыми информационными волнами различной физической природы в морской среде проведено на основе уравнений гидродинамики для вязкой теплопроводной среды применительно к их реализации в просветных системах мониторинга полей различной физической природы морских источников [1–4]. Испытания макетов просветных параметрических систем в решении дальнего параметрического приема акустических и электромагнитных волн морских объектов, а также сейсмических и синоптических явлений проводились на протяженных трассах Японского и Охотского морей. Испытания подтвердили эффективность измерительных технологий нелинейной просветной гидроакустики, а также практические пути их реализации средствами морского приборостроения, разрабатываемыми и создаваемыми в Специальном конструкторском бюро средств автоматизации морских исследований (СКБ САМИ) ДВО РАН [3–7].

В заключение отметим следующее. Низкочастотная просветная гидроакустическая система контроля морской обстановки и мониторинга полей контролируемых акваторий эффективно реализуется как пространственно развитая многолучевая параметрическая антенна, соизмеримая с протяженностью контролируемой среды. Просветная система обеспечивает дальний и сверхдальний параметрический прием гидрофизических волн морских объектов, а также волн сейсмических и синоптических явлений на дистанциях десятки – сотни километров в диапазоне частот, составляющем сотни – десятки – единицы – доли герца.

Научно-технические разработки нелинейной просветной гидроакустики и их реализация средствами морского приборостроения обеспечивают возможность построения широкомасштабных систем контроля морской обстановки, комплексного мониторинга полей различной физической природы, формируемых искусственными и естественными источниками, процессами и явлениями протяженных морских акваторий.

### Список литературы

1. Мироненко М.В., Малашенко А.Е., Карачун Л.Э., Василенко А.М. Низкочастотный просветный метод дальней гидролокации гидрофизических полей морской среды: монография. – Владивосток: ДВО РАН, 2006. – 173 с.
2. Малашенко А.Е., Мироненко М.В., Карачун Л.Э., Халаев Н.Л. Создание и эксплуатация радиогидроакустических систем комплексного мониторинга гидрофизических полей морских акваторий на основе разработок средств морского приборостроения: монография. – Владивосток: Изд. дом ДФУ, 2012. – 264 с.
3. Мироненко М.В., Василенко А.М., Бахарев С.А., Стародубцев П.А., Пятакович В.А. Нелинейная гидроакустика в системах мониторинга гидрофизических и геофизических полей: монография. – Владивосток: МО РФ, ВМА, 2013. – 324 с.
4. Стародубцев П.А., Мироненко М.В. и др. Теоретические основы формирования просветных систем и перспективы развития морского приборостроения на Дальнем Востоке. – Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2006. – 178 с.
5. Мироненко М.В., Короченцев В.И. Закономерности взаимодействия упругих и электромагнитных волн в морской воде // Подводные технологии – 2000: Междунар. симп. – Япония, Токио, 2000. – С. 105–109.
6. Мироненко М.В., Василенко А.М., Малашенко А.Е., Карачун Л.Э. Технологии активно-пассивного и параметрического метода гидролокации // Сб. тр. акуст. конф. – Н. Новгород, 2002. – С. 67–70.
7. Способ параметрического приема волн различной физической природы в морской среде: пат. 2453930 РФ / Мироненко М.В., Малашенко А.Е., Карачун Л.Э., Василенко А.М. – Заявл. 20.06.2013.
8. Гидроакустическая система параметрического приема волн различной физической природы в морской среде: пат. 2472116 РФ / Мироненко М.В., Малашенко А.Е., Карачун Л.Э., Корытко А.С. – Заявл. 10.01.2013.
9. Мироненко М.В. Физико-математические основы метода «гидролокации на просвет» // Сб. ст. Всерос. межвуз. НТК. – Владивосток: ТОВВМУ им. С.О.Макарова, 1996. – Вып.3. – С. 88–92.

**Сведения об авторах:** Шевченко Александр Петрович, e-mail: vunc-vmf-tovmi@mail.ru;  
Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор,  
e-mail: spa1958@mail.ru;  
Бакланов Евгений Николаевич, доцент, e-mail: baklanoven@mail.ru.