

---

---

# ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

---

---

УДК 551.463.21

**Е.Н. Бакланов<sup>1</sup>, Е.П. Стародубцев<sup>2</sup>, П.А. Стародубцев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

<sup>2</sup>Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота «Военно-морская академия  
имени адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (филиал, г. Владивосток),  
690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6

## **ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДА ДАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СФОРМИРОВАННЫХ РЫБНЫХ КОСЯКОВ**

*Рассматривается возможность применения низкочастотного просветного метода для дальнего обнаружения рыбных скоплений. Анализируется теоретическое предположение о характере взаимодействия слабого низкочастотного просветного сигнала с неоднородностями среды вокруг рыбного косяка, в результате которого возникает фазовая модуляция принимаемого сигнала, являющаяся информационным признаком.*

***Ключевые слова:** просветный метод, рыбное скопление, фазовая модуляция, нелинейное взаимодействие, дальнее обнаружение.*

**E.N. Baklanov, E.P. Starodubtcev, P.A. Starodubtcev**

## **PHYSICAL MODEL OF LONG-RANGE DETECTION OF FORMED FISH SCHOOLS**

*The possibility of using low-frequency transmission-range method for detection of fish schools considered. We analyze the theoretical assumption about the nature of the interaction of a weak low-frequency signal with environment irregularities around a fish school, as a result of which there is a phase modulation of the received signal as an information sign.*

***Key words:** transmissive method, fish aggregation, phase modulation, nonlinear interaction, distant detection.*

Физический принцип формирования низкочастотного просветного метода основан на подсветке (накачке) всей контролируемой среды (или рубежа) одним низкочастотным просветным сигналом, что отличает его от классических параметрических устройств и обеспечивает возможность получения дополнительных положительных эффектов. Несмотря на существенные различия классических устройств от такой просветной низкочастотной системы, в ней остаются общими закономерности параметрического преобразования малой интенсивности низкочастотных просветных сигналов на возмущениях, созданных перемещением рыбного косяка (РК) в направленное низкочастотное излучение, и, наоборот, преобразование низкочастотной сигнальной волны в просветный сигнал на приемниках [1].

Физическая сущность нелинейного взаимодействия низкочастотного просветного сигнала и возмущений от РК, формирования составляющих комбинационных волн суммарной и разностной частот при их совместном распространении в нелинейной среде заключается во взаимной модуляции фронта одной волны другой, в результате чего фазовая скорость их распространения в среде взаимно преобразуется. Это приводит к фазовой модуляции принимаемого низкочастотного просветного сигнала, которая является информационным признаком полезного сигнала с дальнейшим выделением его в трактах обработки приемной системы [2].

Данное теоретическое предположение можно объяснить на примере сигналов, получаемых в результате взаимодействия низкочастотного просветного акустического гармонического колебания  $P_{нес} = P_0 \cos(\omega t + \varphi)$  и  $s(t)$  (низкочастотных составляющих спектра РК), изменяющих фазу просветного сигнала  $\varphi$ . Амплитуда  $P_0$  в дальнейших рассуждениях как бы остается неизменной, хотя при взаимодействии просветного сигнала и высокочастотных составляющих спектра РК присутствуют все виды модуляции: амплитудная, частотная и фазовая [3–4].

Так как аргумент гармонического колебания  $\psi(t) = \omega t + \varphi$  называется полной фазой и определяет текущее значение фазового угла, такие сигналы получили название сигналов с угловой или фазовой модуляцией. Предположим вначале, что полная фаза  $\psi(t)$  связана с сигналом  $s(t)$  зависимостью

$$\psi(t) = \omega_0 t + m_G \cdot s(t), \quad (1)$$

где  $\omega_0$  – значение частоты в отсутствии полезного сигнала;  $m_G$  – некоторый коэффициент пропорциональности.

Фазовая модуляция описывается выражением [5]

$$P_{\Phi M}(t) = P_0 \cos[\omega_0 t + m_G s(t)]. \quad (2)$$

Если сигнал  $s(t) = 0$ , то  $\Phi M$ -колебание является простым гармоническим колебанием. С увеличением значений сигнала  $s(t)$  полная фаза растет во времени быстрее, чем по линейному закону. При уменьшении значений модулирующего сигнала происходит спад скорости роста  $\psi(t)$  во времени. В моменты времени, когда сигнал  $s(t)$  достигает экстремальных значений, абсолютный фазовый сдвиг между  $\Phi M$ -сигналом и немодулированным гармоническим колебанием оказывается наибольшим. Предельное значение этого фазового сдвига называют девиацией фазы  $\Delta\psi$ . В общем случае, когда сигнал  $s(t)$  изменяет знак, принято различать девиацию фазы вверх  $\Delta\psi_u = m_G S_{\max}$  и девиацию фазы вниз  $\Delta\psi_d = m_G S_{\min}$ .

На векторной диаграмме, изображающей вектор постоянной длины, он будет совершать вращение с непостоянной угловой скоростью. Мгновенная частота  $\omega(t)$  сигнала с угловой модуляцией определяется как первая производная от полной фазы по времени:

$$\omega(t) = \frac{d\psi}{dt}. \quad (3)$$

Так что

$$\psi(t) = \int_{-\infty}^t \omega(\tau) d\tau + const. \quad (4)$$

Аналитическая форма записи однотонального  $\Phi M$ -сигнала представляется формулой [6]

$$P_{\Phi M}(t) = P_0 \cos[\omega_0 t + m \sin \Omega(t)], \quad (5)$$

где

$$m = \Delta\omega / \Omega \quad (6)$$

– индекс однотональной фазовой модуляции, представляющий собой девиацию фазы сигнала, выраженную в радианах, или коэффициент модуляции основных спектральных состав-

ляющих низкочастотного просветного акустического сигнала ( $\omega$ ) высокочастотными составляющими возмущений от РК [7].

При фазовой модуляции индекс  $m$  пропорционален амплитуде высокочастотного сигнала независимо от его частоты. Как следствие этого, девиация частоты при фазовой модуляции в соответствии с формулой (6) линейно увеличивается с ростом частоты. Задачу о представлении ФМ-сигналов с фазовой модуляцией посредством суммы гармонических колебаний не сложно решить в случае, когда  $m \ll 1$ . Колебания, характеризуемые условием  $m \ll 1$ , принято называть узкополосными. Для этого преобразуем формулу (3) следующим образом [8]:

$$P(t) = P_0[\cos \omega_0 t + m \sin \Omega(t)] = P_0 \cos(m \sin \Omega t) - P_0 \sin(m \sin \Omega t) \sin \omega_0 t. \quad (7)$$

Поскольку индекс угловой модуляции мал, воспользуемся приближенными равенствами  $\cos(m \sin \Omega t) \approx 1$ ;  $\sin(m \sin \Omega t) \approx m \sin \Omega t$ . На основании этого из равенства (3) получаем:

$$P(t) \approx P_0 \cos \omega_0 t + \frac{mP_0}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t - \frac{mP_0}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t. \quad (8)$$

Таким образом, показано, что при  $m \ll 1$  в спектре сигнала с фазовой модуляцией содержатся несущее колебание и две боковые составляющие (верхняя и нижняя) на частотах  $\omega_0 + \Omega$  и  $\omega_0 - \Omega$ . Индекс  $m$  играет здесь такую же роль, как коэффициент амплитудной модуляции  $M_A$ . Для спектрограммы, построенной по формуле (3), характерно то, что нижнее боковое колебание имеет дополнительный фазовый сдвиг на  $180^\circ$ . Как следствие этого, сумма векторов, отображающих оба боковых колебания, всегда перпендикулярна вектору  $\bar{P}_{HEC}$ . С течением времени вектор  $\bar{P}_\Sigma$  будет «качаться» вокруг центрального положения. Незначительные изменения длины этого вектора обусловлены приближенным характером анализа, и при очень малых  $m$  ими можно пренебречь.

Можно уточнить полученный результат, воспользовавшись двумя членами ряда в разложении гармонических функций малого аргумента. При этом формула (6) будет выглядеть так [9]:

$$P(t) \approx P_0 \left(1 - \frac{1}{2} m^2 \sin^2 \Omega t\right) \cos \omega_0 t - P_0 \left(m \sin \Omega t - \frac{1}{6} m^3 \sin^3 \Omega t\right) \sin \omega_0 t. \quad (9)$$

Несложные тригонометрические преобразования приводят к результату:

$$P(t) = P_0 \left(1 - \frac{m^2}{4}\right) \cos \omega_0 t + U_m m \left(1 - \frac{m^2}{8}\right) \times \begin{bmatrix} \cos(\omega_0 + \Omega)t - \\ \cos(\omega_0 - \Omega)t \end{bmatrix} + P_0 \left(\frac{m^2}{8}\right) \times \begin{bmatrix} \cos(\omega_0 + 2\Omega)t + \cos(\omega_0 - 2\Omega)t \\ \cos(\omega_0 + 3\Omega)t - \\ \cos(\omega_0 - 3\Omega)t \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Формула (10) свидетельствует о том, что в спектре низкочастотного просветного сигнала помимо известных составляющих содержатся также верхние и нижние боковые колебания, соответствующие гармоникам фазовой модуляции от возмущений РК [10].

Возникновение новых спектральных составляющих приводит к перераспределению энергии по спектру. Так, из формулы (10) видно, что с ростом  $m$  амплитуда боковых состав-

ляющих увеличивается, в то время как амплитуда несущей просветного сигнала уменьшается пропорционально множителю  $(1 - m^2/4)$ . Для простейшего случая однотонового ФМ просветного сигнала можно найти общее выражение спектра, справедливое при любом значении индекса модуляции  $m$ . В разделе математики, посвященном специальным функциям, доказывается, что экспонента  $\exp(jm \sin x)$  с мнимым показателем специального вида, периодическая на отрезке  $-\pi \leq x \leq \pi$ , разлагается в комплексный ряд Фурье [11]:

$$e^{jm \sin x} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m) e^{jkx}, \quad (11)$$

где  $m$  – любое вещественное число;  $J_k(m)$  – функция Бесселя  $k$ -го индекса от аргумента  $m$ .

Сравнивая формулы (8) и (9), а также подставляя  $x = \Omega t$ , перепишем последнюю из указанных формул так:

$$P(t) = P_0 \operatorname{Re}(e^{j\omega_0 t} e^{jm \sin \Omega t}) = P_0 \operatorname{Re}(e^{j\omega_0 t} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m) e^{jk\Omega t}). \quad (12)$$

Отсюда получаем следующую математическую модель ФМ-сигнала с любым значением индекса модуляции:

$$P(t) = P_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m) \cos(\omega_0 + k\Omega)t. \quad (13)$$

Спектр ФМ низкочастотного просветного сигнала в общем случае будет содержать бесконечное число составляющих, частоты которых равны  $\omega_0 \pm k\Omega$ ; амплитуды этих составляющих пропорциональны значениям  $J_k(m)$ . В теории функций Бесселя доказывается, что функции с положительными и отрицательными индексами связаны между собой:  $J_{-k}(m) = (-1)^k J_k(m)$ . Поэтому начальные фазы боковых колебаний с частотами  $\omega_0 + k\Omega$  и  $\omega_0 - k\Omega$  и совпадают, если  $k$  – четное число, и отличаются на  $180^\circ$ , если  $k$  – нечетное число. Для детального анализа и построения спектральных диаграмм необходимо знать поведение функций Бесселя  $J_k(m)$  при различных значениях  $m$  в зависимости от  $k$ . Можно отметить следующее: чем больше индекс функции Бесселя, тем протяженнее область аргументов, при которых эта функция очень мала. Этот факт позволяет построить типичные спектральные диаграммы ФМ просветного сигнала при не слишком больших значениях индекса  $m$ . Важно отметить, что с ростом индекса модуляции расширяется полоса частот, занимаемая просветным сигналом. Большая широкополосность ФМ просветных сигналов обуславливает их применимость для целей акустического мониторинга и обнаружения возмущений морской среды, потому что именно широкополосность приводит к гораздо большей помехоустойчивости ФМ просветных сигналов. Чем шире полоса сигнала, тем уже спектр.

Интересная особенность колебаний с фазовой модуляцией проявляется в случае, когда модулирующий сигнал не является гармоническим, что будет особенно характерно при взаимодействии малой интенсивности низкочастотного просветного сигнала с возмущений от РК. Сам процесс с точки зрения математических законов очень сложный, поэтому рассмотрим для простоты сигнал, промодулированный лишь двумя частотами возмущений РК:

$$\begin{aligned}
 P(t) &= P_0 \cos(\omega_0 t + m_1 \sin \Omega_1 t + m_2 \sin \Omega_2 t) = \\
 &= P_0 \cos(m_1 \sin \Omega_1 t + m_2 \sin \Omega_2 t) \cos \omega_0 t - P_0 \sin(m_1 \sin \Omega_1 t + m_2 \sin \Omega_2 t) \sin \omega_0 t.
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Положим, что парциальные индексы модуляции  $m_1$  и  $m_2$  малы настолько, что можно пользоваться приближенными выражениями для косинуса и синуса:  $\cos \approx 1 - x^2/2$ ;  $\sin x \approx x$ . Выполним несколько громоздкие, но вполне элементарные тригонометрические преобразования, и представим исходный сигнал в виде суммы:

$$\begin{aligned}
 P(t) &= P_0 \left[ 1 - (m_1^2 + m_2^2) / 4 \right] \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} m_1 P_0 [\cos(\omega_0 + \Omega_1)t - \cos(\omega_0 - \Omega_1)t] + \\
 &+ \frac{1}{2} m_2 P_0 [\cos(\omega_0 + \Omega_2)t - \cos(\omega_0 - \Omega_2)t] + \frac{1}{8} m_1^2 P_0 [\cos(\omega_0 + 2\Omega_2)t + \cos(\omega_0 - 2\Omega_2)t] + \\
 &+ \frac{1}{2} m_1 m_2 P_0 \left[ \begin{aligned} &\cos(\omega_0 + \Omega_1 - \Omega_2)t + \cos(\omega_0 - \Omega_1 + \Omega_2)t - \\ &-\cos(\omega_0 + \Omega_1 + \Omega_2)t - \cos(\omega_0 - \Omega_1 - \Omega_2)t \end{aligned} \right].
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Следует обратить внимание на то, что в спектре рассматриваемого просветного сигнала, помимо ранее отмеченных комбинационных частот  $\omega_0 \pm \Omega_1$ ,  $\omega_0 \pm \Omega_2$  [12], присутствуют частоты  $\omega_0 \pm \Omega_1 \pm \Omega_2$  с четырьмя возможными знаками. Можно показать, что в общем случае, когда фазовая модуляция осуществляется группой высокочастотных колебаний возмущений от РК с частотами  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N$  соответственно, спектральное представление просветного сигнала в однородной безграничной среде таково:

$$\begin{aligned}
 P(t) &= P_0(t) \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} \dots \sum_{k_N=-\infty}^{\infty} J_{k_1}(m_1) J_{k_2}(m_2) \dots \\
 &J_{k_N}(m_N) \times \cos(\omega_0 + k_1 \Omega_1 + k_2 \Omega_2 + \dots + k_N \Omega_N)t.
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Так как в процессе взаимодействия малой интенсивности низкочастотного просветного сигнала и возмущений от РК достаточно сложно отделить процесс фазовой модуляции от параметрического взаимодействия данных сигналов, то промодулированный одной волной возмущений от РК просветный сигнал представляет фазомодулированную волну, давление в которой с учетом условий распространения сигнала может быть определено по формуле (12) [1, 12] (первая половина формулы – проявление модуляционных эффектов, вторая половина – параметрических):

$$P_S \left( \frac{L_n}{c_0}, \theta_{N, m_i} \right) = \left[ P_0 \cdot \left( \sum_{k=1}^4 J_k(m_i) \right) \cdot \cos \omega_0 \cdot \left( t_N - \frac{L_n}{c_0} \right) + k \Omega_N (1 - \cos \theta_N) t_N \cdot m_i \right] \pm P_{\pm S}, \tag{17}$$

где  $t_N$  – суммарное время распространения низкочастотного просветного сигнала от излучателя к приемнику с учетом водной среды;  $\frac{L_n}{c_0}$  – время модуляционного (параметрического) взаимодействия просветного сигнала с возмущениями от РК;  $k$  – любое вещественное число;  $m_i$  – индекс фазовой модуляции,

$$m_i = \left[ \frac{(\gamma - 1 + \cos \theta_N) \cdot P_o(t)}{2\rho_0(c_0)^3 \cdot P_\Omega(\Omega_N, L_n)} \cdot \frac{\sin \left[ \pi \frac{L_n}{\Omega_N} (1 - \cos \theta_N) \right]}{\pi \frac{L_n}{\Omega_N} (1 - \cos \theta_n)} \right] \cdot \frac{\Delta\omega}{\Omega_N}; \quad (18)$$

$J_k(m_i)$  – функция Бесселя  $k$ -го индекса от аргумента  $m_i$ , показывающая зависимость коэффициента модуляции от амплитуды модулирующего сигнала;  $\omega_0$  – несущая частота просветного сигнала;  $\Delta\omega$  – изменение частоты просветного сигнала;  $\Omega_N$  – колебания возмущений от РК с частотами  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N$  соответственно;  $P_0$  – звуковое давление в просветном сигнале;  $L_n$  – проекция плоскости сечения области взаимодействия (в том числе и параметрического с появлением комбинационных волн разностной и суммарной частот) просветного сигнала с составляющими от РК на линию, соединяющую излучатель и приемник;  $\theta_N$  – угол между взаимодействующими сигналами;  $\gamma$  – параметр нелинейности среды, для морской воды равен 3,5 (РК он может достигать величин 10–15 единиц);  $\pm P_{\pm S}$  – давление волн комбинационных частот суммарной и разностной частот.

Если  $\sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m_i) \cdot \cos \omega_0 \cdot \left( t_N - \frac{L_n}{c_0} \right) + k\Omega_N(1 - \cos \theta_N)t_N \cdot m_i = \Psi_{PF}$  назвать коэффициентом

пространственно-фазового взаимодействия низкочастотного просветного сигнала с гармоническими составляющими возмущений от РК, то с учетом поправок, рассчитанных на объем, взаимодействия и расстояние от места области взаимодействия до точки приема измененного просветного сигнала формулу (8) можно представить в следующем виде [4, 11]:

$$P_{\Sigma S} \left( \frac{L_n}{c_0}, \theta_N, m_i, V_g \right) = P_0 \cdot \int_{n_i=1}^{m_j} \Psi_{PF} \cdot \frac{V_g}{c_0 \cdot R_S^2} \pm P_{\pm S}(N), \quad (19)$$

где  $V_g$  – объем среды взаимодействия волн, в том числе и параметрического;  $R_S$  – расстояние от области взаимодействия до точки приема просветного сигнала в френелевских пределах физического луча;  $i, j$  – номера мод, возбужденные излучателем и областью взаимодействия соответственно.

Как видно из приведенных выражений, давление волн и индекс фазовой модуляции в этом случае аналогичны классической зависимости. Общий набег фазы по физическому лучу может быть рассчитан с учетом общего времени распространения. Основным недостатком формулы (19) является то, что она не дает в полной мере возможность оценить влияние параметрических эффектов на суммарный сигнал, принятый приемником, ввиду низкой эффективности чисто параметрического преобразования просветного сигнала и возмущений от РК, особенно суммарной частоты. Экспериментально наблюдались ситуации, когда отдельные волны уменьшали или увеличивали суммарное давление принятого на приемнике просветного сигнала: увеличивали обычно волны разностной частоты, уменьшали – суммарной.

Общий эффект усиления нелинейного взаимодействия при реализации низкочастотного просветного метода следующий: фазовая модуляция и образования комбинационных волн в этом случае может достигать порядка 7 и 1 % соответственно.

На основании этого можно сделать следующий вывод: физическая модель метода дальнего обнаружения сформированных РК основывается на следующих явлениях:

- фазовой модуляции с появлением в спектре просветного сигнала, помимо комбинационных частот  $\omega_0 \pm \Omega_1$ ,  $\omega_0 \pm \Omega_2$ ,  $\omega_0 \pm 2\Omega_1$ ,  $\omega_0 \pm 2\Omega_2$ , частот  $\omega_0 \pm \Omega_1 \pm \Omega_2$  с четырьмя возможными знаками; увеличением амплитуды боковых составляющих, уменьшением амплитуды несущего колебания пропорционально множителю  $(1 - \frac{m_i^2}{4})$  с увеличением  $m_i$ ;

- параметрическом взаимодействии просветного сигнала с наиболее интенсивными составляющими возмущений от РК.

В качестве основного вывода можно отметить следующее. Механизм взаимодействия слабых низкочастотных просветных сигналов с возмущениями от РК выражается в их нелинейном взаимодействии с образованием в модуляционных боковых полосах просветного сигнала большого количества дополнительных гармоник.

Наличие крупномасштабных турбулентных температурных неоднородностей совместно с пузырьковой областью РК приводит к интенсивному рассеиванию просветных сигналов и позволяет применять при их обнаружении низкочастотную подсветку среды. При этом за счет рефракции и рассеяния лучей можно получить высокую эффективность искажения просветных сигналов пузырьковой областью РК [12].

### Список литературы

1. Шевченко Е.В. Процесс формирования установившихся биологических скоплений: Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2006. – Вып. 16. – С. 25–28.

2. Стародубцев П.А., Мироненко М.В. Исторический процесс теоретического становления метода гидролокации на просвет на Дальнем Востоке // История науки и техники. – 2003. – № 5. – С. 9–14.

3. Стародубцев П.А. Способ обнаружения малозумных подводных объектов с низкой гидролокационной заметностью // Проблемы транспорта Дальнего Востока: сб. материалов 5-й Междунар. науч.-практ. конф. 1-3 октября 2003 г. – Владивосток: Дальневосточное отделение Российской академии транспорта; администрация Приморского края; Морской гос. ун-т им. адм. Г.И. Невельского, 2003. – С. 303–311.

4. Стародубцев П.А. Измерительные технологии акустического «просветного» метода гидролокации в решении задач мониторинга и освоения морских акваторий // Вестн. Бурятского гос. ун-та. Сер. 9. Физика и техника. – Улан-Удэ, 2003. – Вып. 3. – С. 16–24.

5. Стародубцев, П.А. Метод низкочастотной гидроакустической томографии и измерительная система контроля морских акваторий / П.А. Стародубцев, М.В. Мироненко // Вестн. ДВО РАН. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – № 1. – С. 36–41.

6. Стародубцев, П.А. Метод согласованной невзаимности в низкочастотной акустической томографии / П.А. Стародубцев, А.М. Василенко // Сб. тр. XIII сессии РАО (политематической), посвященной 250-летию Моск. гос. ун-та им. М. В. Ломоносова, 70-летию физического факультета МГУ и 50-летию Акустического института им. акад. Н.Н. Андреева. – М.: ГЕОС, 2003. – С. 708–709.

7. Стародубцев, П.А. Дальнее обнаружение косяков рыбы и скоплений морских организмов «быстроразворачиваемыми» просветными системами / П.А. Стародубцев, М.В. Мироненко, Н.Ф. Поляков // Региональная конф. по судовой радиоэлектронике: сб. стат. – Владивосток: ДВГМА, 1997. – Ч.2. – С. 111–117.

8. Стародубцев П.А. Применение просветных акустических сигналов для обнаружения морских биологических объектов // Проблемы транспорта Дальнего Востока: сб. пленарных докладов 5-й Междунар. науч.-практ. конф. 1–3 октября 2003 г. – Владивосток: Дальневосточ-

ное отделение Российской академии транспорта; администрация Приморского края; Морской гос. ун-т им. адм. Г.И. Невельского, 2003. – С. 113–124.

9. Стародубцев П.А. Низкочастотный просветный метод в решении задач освоения биологических запасов и мониторинга морских акваторий // Проблемы транспорта Дальнего Востока: сб. мат. 5-й Междунар. науч.-практ. конф. 1–3 октября 2003 г. – Владивосток: Дальневосточное отделение Российской академии транспорта; администрация Приморского края; Морской гос. ун-т им. адм. Г.И. Невельского, 2003. – С. 78–80.

10. Стародубцев П.А. Измерительные технологии акустического просветного метода гидролокации в решении задач мониторинга и освоения запасов морских акваторий // Инновации в рыбопереработке: сб. докл. регион. науч. конф. 27 июня 2003 г. – Владивосток: Дальневосточное инновационное агентство; Дальневосточная гос. академия экономики и управления; администрация Приморского края; 2003. – С. 15–22.

11. Стародубцев П.А. Измерительная система контроля морских акваторий на основе низкочастотной гидроакустической томографии // Инновации. Раздел «Биржа технологий и контактов». – СПб., 2003. – № 1. – С. 89–91.

12. Стародубцев П.А. К вопросу возможности применения просветных акустических сигналов для обнаружения морских биологических объектов // Изв. ТИНРО. – Владивосток, 2004. – Т.136. – С. 339–350.

**Сведения об авторах:** Бакланов Евгений Николаевич, доцент,  
e-mail: baklanoven@mail.ru;  
Стародубцев Евгений Павлович, e-mail: spa1958@mail.ru;  
Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор,  
e-mail: spa1958@mail.ru.