II. ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

УДК 639.2.081.001.57

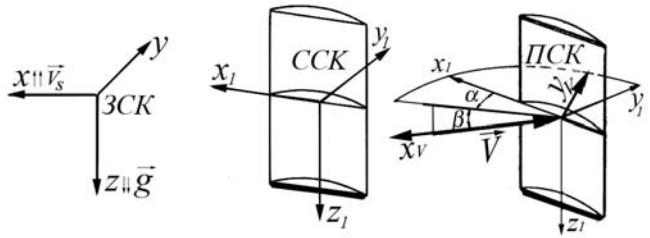
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАЛОВОЙ ДОСКИ С УЧЕТОМ ТЕЧЕНИЯ

В.И. Габрюк; В.В. Кудакаев; В.В. Чернецов, Дальрыбвтуз, Владивосток

В работе приведены основные уравнения связи между характеристиками траловых досок, полученные из геометрических условий, условий равновесия и устойчивости равновесия для двух случаев, когда траление осуществляется параллельно течению и под углом к течению.

Системы координат, используемые в механике траловых досок, и связь между ними

При исследовании траловых досок используют три системы координат (Габрюк, 2005): земную ($x\,y\,z$), связанную ($x_1 y_1 z_1$) и поточную ($x_V y_V z_V$), рис. 1.



а б в

Рис. 1. Системы координат траловой доски:
а – земная (ЗСК); б – связанная (ССК); в – поточная

Ось x земной системы координат выбирается параллельно скорости судна, т.е. $x \uparrow\uparrow \vec{V}_S$, а ось z направлена по отвесу $z \downarrow\downarrow \vec{g}$. Ось x_V поточной системы координат антипараллельна скорости потока, т.е. $x_V \uparrow\downarrow \vec{V}$, а ось y_V лежит в плоскости стрингеров доски ($x_1 y_1$). Поточная система

координат ($x_V y_V z_V$) используется для задания гидродинамических сил, действующих на доску. Связанная с доской система ($x_1 y_1 z_1$) используется для задания положения точек крепления к доске ваера и кабелей, а также положения центра масс доски и центра давления.

Для определения характеристик траловых досок (площади в плане, массы доски, координат точек крепления ваера и лапок к доске; проекций сил, действующих на доску) необходимо установить связь между этими системами координат.

Связь между базисами поточной ($x_V y_V z_V$) и связанной ($x_1 y_1 z_1$) систем координат

От поточной к связанной системе можно перейти путем двух поворотов на углы α и β.

Эти повороты описываются матричным уравнением

$$\begin{pmatrix} \vec{i}_v \\ \vec{j}_v \\ \vec{k}_v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha\cos\beta; & -\sin\alpha\cos\beta; & \sin\beta \\ \sin\alpha; & \cos\alpha; & 0 \\ -\cos\alpha\sin\beta; & \sin\alpha\sin\beta; & \cos\beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{i}_1 \\ \vec{j}_1 \\ \vec{k}_1 \end{pmatrix}. \qquad (1)$$

Связь между базисами связанной ($x_1 y_1 z_1$) и земной ($x\ y\ z$) систем координат

От земной к связанной системе можно перейти путем трех поворотов на углы $\lambda, \beta_1, \alpha_1$ (рис. 2):

$$xyz \ \frac{\lambda}{x, x'} x'y'z' \frac{\beta_1}{y', y''} x''y''z'' \frac{\alpha_1}{z'', z_1} x_1 y_1 z_1 .$$

Эти повороты описываются матричным уравнением (Габрюк, 1995).

$$\begin{pmatrix} \vec{i}_1 \\ \vec{j}_1 \\ \vec{k}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha_1\cos\beta_1; & \sin\alpha_1\cos\lambda + \cos\alpha_1\sin\beta_1\sin\lambda; & \sin\alpha_1\sin\lambda - \cos\alpha_1\sin\beta_1\cos\lambda \\ -\sin\alpha_1\cos\beta_1; & \cos\alpha_1\cos\lambda - \sin\alpha_1\sin\beta_1\sin\lambda; & \cos\alpha_1\sin\lambda + \sin\alpha_1\sin\beta_1\cos\lambda \\ \sin\beta_1; & -\cos\beta_1\sin\lambda; & \cos\beta_1\cos\lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{i} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{pmatrix}. \qquad (2)$$

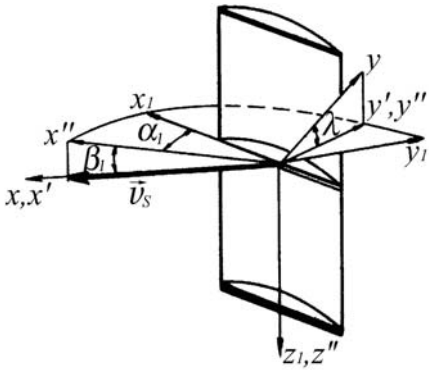


Рис. 2. Углы $\alpha_1, \beta_1, \lambda$, задающие ориентацию связанной с доской системы координат $x_1 y_1 z_1$ относительно земной системы $x\,y\,z$

Связь между базисами поточной и земной систем координат

Подставляя (2) в (1) и выполняя умножение матриц, получим матричную связь между базисами поточной ($x_V y_V z_V$) и земной систем координат ($x\,y\,z$)

$$\begin{pmatrix} \vec{i}_v \\ \\ \vec{j}_v \\ \\ \vec{k}_v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\beta_1\cos(\alpha-\alpha_1); & -\cos\lambda\sin(\alpha-\alpha_1)+\sin\beta_1\sin\lambda\cos(\alpha-\alpha_1); & -\sin\lambda\sin(\alpha-\alpha_1)-\sin\beta_1\cos\lambda\cos(\alpha-\alpha_1) \\ \cos\beta_1\sin(\alpha-\alpha_1); & \cos\lambda\cos(\alpha-\alpha_1)+\sin\beta_1\sin\lambda\sin(\alpha-\alpha_1); & \sin\lambda\cos(\alpha-\alpha_1)-\sin\beta_1\cos\lambda\sin(\alpha-\alpha_1) \\ \sin\beta_1; & -\cos\beta_1\sin\lambda; & \cos\beta_1\cos\lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{i} \\ \\ \vec{j} \\ \\ \vec{k} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Выражение углов $\alpha_1, \beta_1, \lambda$ через проекции скорости течения $\vec{V}_{st}$

Проецируя уравнение $\vec{V} = \vec{V}_{st} - \vec{V}_s = -V\vec{i}_V$ на оси земной системы координат и учитывая, что

$$\vec{i}_V = \cos\beta_1\cos(\alpha_1-\alpha)\vec{i} + \left[\cos\lambda\sin(\alpha_1-\alpha)+\sin\beta_1\,\sin\lambda\,\cos(\alpha_1-\alpha)\right]\vec{j} +$$
$$+\left[\sin\lambda\,\sin(\alpha_1-\alpha)-\sin\beta_1\cos\lambda\cos(\alpha_1-\alpha)\right]\vec{k},$$

получим:

$$\left.\begin{aligned}
&-V\cos\beta_1\cos(\alpha_1-\alpha)=V_{Stx}-V_S;\\
&-V\left[\cos\lambda\sin(\alpha_1-\alpha)+\sin\beta_1\sin\lambda\cos(\alpha_1-\alpha)\right]=V_{Sty};\\
&-V\left[\sin\lambda\sin(\alpha_1-\alpha)-\sin\beta_1\cos\lambda\cos(\alpha_1-\alpha)\right]=V_{Stz};
\end{aligned}\right\}\Rightarrow \qquad (4)$$

$$\sin(\alpha-\alpha_1)=(V_{Sty}\cos\lambda+V_{Stz}\sin\lambda)/V;$$

$$tg\beta_1=(V_{Sty}\sin\lambda-V_{Stz}\cos\lambda)/(V_{Stx}-V_S);$$

$$\vec{V}=\vec{V}_{St}-\vec{V}_S;V^2=\left(V_{Stx}-V_S\right)^2+V_{Sty}^2+V_{Stz}^2;$$

$$\sin\alpha_1=A\sin\alpha-B\cos\alpha;\qquad A=(V_S-V_{Stx})/V\cos\beta_1;$$

$$\cos\alpha_1=A\cos\alpha+B\sin\alpha;\qquad B=(V_{Sty}\cos\lambda-V_{Stz}\sin\lambda)/V;$$

$$d(tg\,\beta_1)/d\lambda=-tg\,(\alpha-\alpha_1)/\cos\beta_1;$$

$$d\,(\cos\beta_1)/d\lambda=\sin\beta_1\cos\beta_1\,tg\,(\alpha-\alpha_1);$$

$$d(\sin\beta_1)/d\lambda=-\cos^2\beta_1\,tg(\alpha-\alpha_1);$$

$$d(\sin\alpha_1)/d\lambda=-\sin\beta_1\cos\alpha_1;$$

$$d(\cos\alpha_1)/d\lambda=\sin\beta_1\sin\alpha_1;\qquad d(\sin\alpha_1)/d\alpha=\cos\alpha_1;$$

$$d(\cos\alpha_1)/d\alpha=-\sin\alpha_1.$$

$$\cos\lambda_1=\vec{j}_1\cdot\vec{k}=\cos\alpha_1\sin\lambda\,(1+tg\,\alpha_1\sin\beta_1\,ctg\,\lambda).$$

Здесь V_{St},V_S – скорость течения и скорость судна; V_{Stx},V_{Sty},V_{Stz} – проекции скорости течения на оси земной системы координат.

Векторные уравнения равновесия доски

Так как траловая доска является твердым телом, то для нее выполняются условия равновесия твердого тела, т.е. геометрическая сумма всех внешних, действующих на доску сил, и сумма моментов этих сил относительного произвольного полюса должны равняться нулю:

$$\vec{T}_0 + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{R} + \vec{Q} = \vec{0}; \tag{5}$$

$$\vec{M}_0\left(\vec{T}_1\right) + \vec{M}_0\left(\vec{T}_2\right) + \vec{M}_0\left(\vec{R}\right) + \vec{M}_0\left(\vec{Q}\right) = \vec{0}. \tag{6}$$

Уравнения равновесия доски в проекциях на оси земной системы координат (x y z)

Когда траление осуществляется под углом к течению. При этом скорость потока не параллельна оси x. В этом случае условия равновесия имеют вид:

$$T_0 = \left|0{,}5R_x^T + R_x^D\right| / \dot{x}_0; \tag{7}$$

$$S = \frac{\tilde{T}_1 \sin\nu_1 + \tilde{T}_2 \sin\nu_2 - \dot{y}_0 / \dot{x}_0}{C_Y^D - C_X^D \dot{y}_0 / \dot{x}_0} \cdot \frac{0{,}5\left|R_X^T\right|}{0{,}5\rho V^2} = \tilde{S}\frac{0{,}5\left|R_X^T\right|}{0{,}5\rho V^2}; \tag{8}$$

$$Q_z^D = [-(1 + \left|C_{XV}^D\right|\tilde{S})\dot{z}_0 / \dot{x}_0 - tg\theta - C_z^D \tilde{S}] \cdot 0{,}5\left|R_x^T\right| = \tilde{Q}0{,}5\left|R_X^T\right|; \tag{9}$$

$$\left.\begin{aligned} \dot{x}_0 &= \cos\alpha_0 \cos\gamma \cos\psi - \sin\alpha_0 \cos\gamma(\sin\psi \cos\varphi_0 + \sin\varphi_0 tg\gamma); \\ y_0 &= \sin\alpha_0 \sin\varphi_0 \cos\gamma - \sin\alpha_0 \cos\varphi_0 \sin\gamma \sin\psi + \cos\alpha_0 \sin\gamma \cos\psi; \\ \dot{z}_0 &= -\sin\alpha_0 \cos\varphi_0 \cos\psi - \cos\alpha_0 \sin\psi; \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

$$\sin\psi = (V_{Stz} - V_{Dz})/V; \; tg\gamma = (V_{Sty} - V_{Dy})/(V_{Stx} - V_{Dx});$$

$$C_X^D = C_{XV}^D \cos\beta_1 \cos(\alpha - \alpha_1) + C_{YV}^D \cos\beta_1 \sin(\alpha - \alpha_1) + C_{ZV}^D \sin\beta_1;$$

$$C_Y^D = -C_{XV}^D \left[\cos\lambda \sin(\alpha - \alpha_1) - \sin\beta_1 \sin\lambda \cos(\alpha - \alpha_1)\right] +$$

$$+ C_{YV}^D \left[\cos\lambda \cos(\alpha - \alpha_1) + \sin\beta_1 \sin\lambda \sin(\alpha - \alpha_1)\right] - C_{ZV}^D \cos\beta_1 \sin\lambda;$$

$$C_Z^D = -C_{XV}^D \left[\sin\lambda \sin(\alpha - \alpha_1) + \sin\beta_1 \cos\lambda \cos(\alpha - \alpha_1)\right] +$$

$$+ C_{YV}^D \left[\sin\lambda \cos(\alpha - \alpha_1) - \sin\beta_1 \cos\lambda \sin(\alpha - \alpha_1)\right] + C_{ZV}^D \cos\beta_1 \cos\lambda \; .$$

Здесь $C_{XV}^D, C_{YV}^D, C_{ZV}^D$ – коэффициенты силы сопротивления, подъемной и боковой сил доски; V_{DX}, V_{DY}, V_{DZ} – проекции скорости доски на оси земной системы координат.

Моментные уравнения равновесия доски

Проецируя уравнение (6) на оси связанной с доской системы координат, получим

$$\sum M_{Z1}\left(\vec{F}_k\right)=0 \Rightarrow a_2 x_0 - a_1 y_0 = b_1;$$

$$\sum M_{Y1}\left(\vec{F}_k\right)=0 \Rightarrow a_3 x_0 - a_1 z_0 = b_2; \qquad (11)$$

$$\sum M_{X1}\left(\vec{F}_k\right)=0 \Rightarrow a_3 y_0 - a_2 z_0 = b_3.$$

$$a_i = \tilde{T}_{1i} + \tilde{T}_{2i} + \tilde{R}_i + \tilde{Q}_i; \qquad i \in (1;2;3);$$

$$b_1 = \tilde{T}_{12} x_1 - \tilde{T}_{11} y_1 + \tilde{T}_{22} x_2 - \tilde{T}_{21} y_2 + x_D \tilde{R}_2 - y_D \tilde{R}_1 + x_C \tilde{Q}_2 - y_C \tilde{Q}_1;$$

$$b_2 = \tilde{T}_{13} x_1 - \tilde{T}_{11} z_1 + \tilde{T}_{23} x_2 - \tilde{T}_{21} z_2 + x_D \tilde{R}_3 - z_D \tilde{R}_1 + x_C \tilde{Q}_3 - z_C \tilde{Q}_1;$$

$$b_3 = \tilde{T}_{13} y_1 - \tilde{T}_{12} z_1 + \tilde{T}_{23} y_2 - \tilde{T}_{22} z_2 + y_D \tilde{R}_3 - z_D \tilde{R}_2 + y_C \tilde{Q}_3 - z_C \tilde{Q}_2,$$

где (x_0, y_0, z_0; x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2) – координаты точек крепления ваера, верхней и нижней лапок к доске в связанной системе координат; $x_D, y_D, z_D; x_C, y_C, z_C$ – координаты центра давления и центра тяжести доски; $T_{11}, T_{12}, T_{13}; T_{21}, T_{22}, T_{23}$ – проекции натяжений верхнего $\vec{T}_1$ и нижнего $\vec{T}_2$ кабелей на оси связанной системы координат; $R_1, R_2, R_3; Q_1, Q_2, Q_3$ – проекции гидродинамической силы $\vec{R}$ и веса доски в воде $\vec{Q}$ на оси связанной с доской системы координат.

Условие совместности моментных уравнений равновесия доски

Моментные уравнения равновесия доски (14) являются системой линейных алгебраических уравнений. Эта система только тогда совместна (непротиворечива) и имеет решение, когда выполняются условия теоремы Кронекера-Капелли, т.е. когда ранг расширенной матрицы *B* равен рангу матрицы *A* из коэффициентов при неизвестных. Здесь *A* и *B* следующие матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} a_2; -a_1; 0 \\ a_3; 0; -a_1 \\ 0; a_3; -a_2 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} a_2; -a_1; 0; b_1 \\ a_3; 0; -a_1; b_2 \\ 0; a_3; -a_2; b_3 \end{pmatrix}.$$

Ранг матрицы *A* равен двум. Действительно, приведенный ниже минор второго порядка этой матрицы отличен от нуля

$$|A| = 0; \quad \begin{vmatrix} -a_1; 0 \\ 0; -a_1 \end{vmatrix} = a_1^2 = T_{01}^2 \neq 0 \Rightarrow rang\ A = 2\,.$$

Здесь T_{01} – проекция натяжения ваера у доски $\bar{T}_0$ на продольную ось доски x_1, которая всегда отлична от нуля.

Ранг матрицы *B* равен двум, если все миноры третьего порядка этой матрицы равны нулю, т.е.

$$\begin{vmatrix} a_2; -a_1; b_1 \\ a_3;\ 0;\ \ b_2 \\ 0;\ a_3;\ \ b_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_2;\ 0;\ b_1 \\ a_3; -a_1;\ b_2 \\ 0;\ -a_2;\ b_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -a_1; 0;\ b_1 \\ 0;\ -a_1;\ b_2 \\ a_3; -a_2;\ b_3 \end{vmatrix} = a_i(a_1 b_3 + b_1 a_3 - a_2 b_2) = 0.$$

Откуда следует условие совместности моментных уравнений равновесия доски

$$(a_1 b_3 + b_1 a_3 - a_2 b_2) = 0,$$

раскрывая которое, получим

$$\begin{aligned} &(a_3\tilde{T}_{12} - a_2\tilde{T}_{13})x_1 + (a_1\tilde{T}_{13} - a_3\tilde{T}_{11})y_1 + (a_2\tilde{T}_{11} - a_1\tilde{T}_{12})z_1 + \\ &+ (a_3\tilde{T}_{22} - a_2\tilde{T}_{23})x_2 + (a_1\tilde{T}_{23} - a_3 T_{21})y_2 + (a_2\tilde{T}_{21} - a_1\tilde{T}_{22})z_2 + \\ &(a_3\tilde{R}_2 - a_2\tilde{R}_3)x_D + (a_1\tilde{R}_3 - a_3\tilde{R}_1)y_D + (a_2\tilde{R}_1 - a_1\tilde{R}_2)z_D + \\ &+ (a_3\tilde{Q}_2 - a_2\tilde{Q}_3)x_C + (a_1\tilde{Q}_3 - a_3\tilde{Q}_1)y_C + (a_2\tilde{Q}_1 - a_1\tilde{Q}_2)z_C = 0. \end{aligned} \tag{12}$$

Таким образом, координаты точек крепления верхней и нижней лапок к доске ($x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2$) удовлетворяют уравнению (12). Поэтому нельзя произвольно выбирать положения точек крепления верхней и нижней лапок к доске. Они должны выбираться так, чтобы выполнялось условие (12).

Так как ранг матрицы *A* равен двум, то из трех уравнений системы (14) только два независимы, а третье является их линейной комбинацией. В системе (11) любые два уравнения независимы. Таким образом, система моментных уравнений (11) и уравнение совместности (15) дают три уравнения для определения девяти координат точек крепления ваера и лапок к доске.

Обычно точки крепления верхней и нижней лапок к доске располагаются на прямой, параллельной оси z_1, поэтому выполняются условия: $x_1 = x_2, \quad y_1 = y_2$.

Условия устойчивости равновесия доски

Равновесие траловой доски будет устойчивым, если выполняются следующие условия (Габрюк, 2000):

- $\beta = 0$ – вектор скорости потока параллелен стрингерам доски;
- $\alpha < \alpha_{kp}$ – угол атаки доски меньше критического;
- $\partial M_1/\partial\lambda = M_1^{\lambda} < 0$, $\partial M_3/\partial\alpha = M_3^{\alpha} < 0$ – производные от главных моментов всех сил, действующих на доску, отрицательны:

$$M_1^{\lambda} = (y_C - y_0)\tilde{Q}_3^{\lambda} - (z_C - z_0)\tilde{Q}_2^{\lambda} + (y_1 - y_0)\tilde{T}_{13}^{\lambda} - (z_1 - z_0)\tilde{T}_{12}^{\lambda} +$$

$$+(y_2 - y_0)\tilde{T}_{23}^{\lambda} - (z_2 - z_0)\tilde{T}_{22}^{\lambda} < 0;$$

$$M_3^{\alpha} = (x_D - x_0)\tilde{R}_2^{\alpha} - (y_D - y_0)\tilde{R}_1^{\alpha} + \tag{13}$$

$$+(x_C - x_0)\tilde{Q}_2^{\alpha} - (y_C - y_0)\tilde{Q}_1^{\alpha} + (x_1 - x_0)\tilde{T}_{12}^{\alpha} - (y_1 - y_0)\tilde{T}_{11}^{\alpha} +$$

$$+(x_2 - x_0)\tilde{T}_{22}^{\alpha} - (y_2 - y_0)\tilde{T}_{21}^{\alpha} + x_D^{\alpha}\tilde{R}_2 - y_D^{\alpha}\tilde{R}_1 < 0.$$

Для определения входящих в (11), (12) и (13) проекций сил, действующих на доску на оси связанной системы координат, воспользуемся соотношениями:

$$\vec{Q} = Q\,\vec{k} = (Q_1, Q_2, Q_3)\begin{pmatrix}\vec{i}_1\\ \vec{j}_1\\ \vec{k}_1\end{pmatrix};\ \vec{R} = (R_{XV}, R_{YV}, R_{ZV})\begin{pmatrix}\vec{i}_V\\ \vec{j}_V\\ \vec{k}_V\end{pmatrix} = (R_1, R_2, R_3)\begin{pmatrix}\vec{i}_1\\ \vec{j}_1\\ \vec{k}_1\end{pmatrix};$$

$$\vec{T}_i = -T_i\vec{\tau}_i = -T_i(\cos\nu_i\cos\Theta_i;\ \sin\nu_i; -\cos\nu_i\sin\Theta_i)\begin{pmatrix}\vec{i}\\ \vec{j}\\ \vec{k}\end{pmatrix} = \tag{14}$$

$$= (T_{i1}, T_{i2}, T_{i3})\begin{pmatrix}\vec{i}_1\\ \vec{j}_1\\ \vec{k}_1\end{pmatrix};\quad i \in (1;\ 2).$$

Подставляя в (14) матричные уравнения (1-3) и выполняя перемножение матриц, получим выражение проекций сил для двух случаев, приведенных ниже.

Траление осуществляется параллельно течению ($\vec{V}_S$ // $\vec{V}_{St}$):

$$\tilde{Q}_1 = \tilde{Q}\sin\alpha\sin\lambda; \tilde{Q}_2 = \tilde{Q}\cos\alpha\sin\lambda; \tilde{Q}_3 = \tilde{Q}\cos\lambda;$$

$$\tilde{R}_1 = \tilde{S}(-\left|C_{XV}^D\right|\cos\alpha + C_{YV}^D\sin\alpha); \tilde{R}_2 = \tilde{S}(\left|C_{XV}^D\right|\sin\alpha + C_{YV}^D\cos\alpha); \tilde{R}_3 = \tilde{S}\cdot C_{ZV}^D;$$

$$\tilde{T}_{i1} = \tilde{T}_i(-\cos\nu_i\cos\theta_i\cos\alpha - \sin\nu_i\sin\alpha\cos\lambda + \cos\nu_i\sin\theta_i\sin\alpha\sin\lambda),$$

$$\tilde{T}_1 = \sin(\theta_2 - \theta)/\cos\theta\cos\nu_1\sin(\theta_2 - \theta_1);$$

$$\tilde{T}_{i2} = \tilde{T}_i(\cos\nu_i\cos\theta_i\sin\alpha - \sin\nu_i\cos\alpha\cos\lambda + \cos\nu_i\sin\theta_i\cos\alpha\sin\lambda),$$

$$\tilde{T}_2 = \sin(\theta_1 - \theta)/\cos\theta\cos\nu_2\sin(\theta_2 - \theta_1);$$

$$\tilde{T}_{i3} = \tilde{T}_i(\sin\nu_i\sin\lambda + \cos\nu_1\sin\theta_i\cos\lambda), \qquad i \in (1;2).$$

Траление осуществляется под углом к течению:

$$\tilde{Q}_1 = \tilde{Q}(\sin\alpha\sin\lambda - \cos\alpha_1\sin\beta_1\cos\lambda); \tilde{Q}_2 = \tilde{Q}(\cos\alpha_1\sin\lambda + \sin\alpha_1\sin\beta_1\cos\lambda);$$

$$\tilde{Q}_3 = \tilde{Q}\cos\beta_1\cos\lambda;$$

$$\tilde{R}_1 = \tilde{S}(C_{XV}\cos\alpha + C_{YV}\sin\alpha); \tilde{R}_2 = \tilde{S}(-C_{XV}\sin\alpha + C_{YV}\cos\alpha); \tilde{R}_3 = \tilde{S}C_{ZV};$$

$$\tilde{T}_{i1} = \tilde{T}_i\begin{bmatrix} -\cos\nu_i\cos\theta_i\cos\alpha_1\cos\beta_1 - \sin\nu_i(\sin\alpha_1\cos\lambda + \cos\alpha_1\sin\beta_1\sin\lambda) + \\ +\cos\nu_i\sin\theta_i(\sin\alpha_1\sin\lambda - \cos\alpha_1\sin\beta_1\cos\lambda) \end{bmatrix};$$

$$\tilde{T}_{i2} = \tilde{T}_i\begin{bmatrix} \cos\nu_i\cos\theta_i\sin\alpha_1\cos\beta_1 - \sin\nu_i(\cos\alpha_1\cos\lambda - \sin\alpha_1\sin\beta_1\sin\lambda) + \\ +\cos\nu_i\sin\theta_i(\cos\alpha_1\sin\lambda + \sin\alpha_1\sin\beta_1\cos\lambda) \end{bmatrix};$$

$$\tilde{T}_{i3} = \tilde{T}_i(-\cos\nu_i\cos\theta_i\sin\beta_1 + \sin\nu_i\cos\beta_1\sin\lambda + \cos\nu_i\sin\theta_i\cos\beta_1\cos\lambda); \; i = (1;2).$$

Проекции полной гидродинамической силы доски $\vec{R}$ на оси земной системы координат (x y z) легко получить, используя соотношения:

$$\vec{R} = (R_{XV}, R_{YV}, R_{ZV}) \begin{pmatrix} \vec{i}_V \\ \vec{j}_V \\ \vec{k}_V \end{pmatrix} = (R_1, R_2, R_3) \begin{pmatrix} \vec{i}_1 \\ \vec{j}_1 \\ \vec{k}_1 \end{pmatrix} = (R_X, R_Y, R_Z) \begin{pmatrix} \vec{i} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{pmatrix}, \qquad (15)$$

$$\vec{C}_R = (C_{XV}, C_{YV}, C_{ZV}) \begin{pmatrix} \vec{i}_V \\ \vec{j}_V \\ \vec{k}_V \end{pmatrix} = (C_1, C_2, C_3) \begin{pmatrix} \vec{i}_1 \\ \vec{j}_1 \\ \vec{k}_1 \end{pmatrix} = (C_X, C_Y, C_Z) \begin{pmatrix} \vec{i} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{pmatrix}. \qquad (16)$$

Подставляя в (15) и (16) соотношения (1-3), получим значения проекций гидродинамической силы для двух вариантов.

Траление осуществляется параллельно течению ($\vec{V}_S \,//\, \vec{V}_{St}$):

$$R_X = (R_{XV}\cos\alpha + R_{YV}\sin\alpha)\cos\alpha + (R_{XV}\sin\alpha - R_{YV}\cos\alpha)\sin\alpha;$$

$$R_Y = (R_{XV}\cos\alpha + R_{YV}\sin\alpha)\sin\alpha\cos\lambda -$$

$$-(R_{XV}\sin\alpha - R_{YV}\cos\alpha)\cos\alpha\cos\lambda\ ;$$

$$R_Z = R_{ZV}\cos\lambda.$$

Траление осуществляется под углом к течению:

$$R_x = R_1\cos\alpha_1\cos\beta_1 - R_2\sin\alpha_1\cos\beta_1 + R_3\sin\beta_1;$$

$$R_y = R_1(\sin\alpha_1\cos\lambda + \cos\alpha_1\sin\beta_1\sin\lambda) +$$

$$+ R_2(\cos\alpha_1\cos\lambda - \sin\alpha_1\sin\beta_1\sin\lambda) - R_3\cos\beta_1\sin\lambda;$$

$$R_z = R_1(\sin\alpha_1\sin\lambda - \cos\alpha_1\sin\beta_1\cos\lambda) +$$

$$+ R_2(\cos\alpha_1\sin\lambda + \sin\alpha_1\sin\beta_1\cos\lambda) + R_3\cos\beta_1\cos\lambda.$$

Коэффициент распорной силы доски

Траление осуществляется параллельно течению ($\vec{V}_S \,//\, \vec{V}_{St}$):

$$C_y = C_{yV}\cos\lambda - C_{zV}\sin\lambda\,.$$

Траление осуществляется под углом к течению:

$$C_y = \left(C_{xV}\cos\alpha + C_{yV}\sin\alpha\right)\left(\sin\alpha_1\cos\lambda + \cos\alpha_1\sin\beta_1\sin\lambda\right) +$$

$$+\left(-C_{xV}\sin\alpha + C_{yV}\cos\alpha\right)\left(\cos\alpha_1\cos\lambda + \sin\alpha_1\sin\beta_1\sin\lambda\right) - C_{zV}\cos\beta_1\sin\lambda.$$

Производные от проекций сил по углам α и λ

Траление осуществляется параллельно течению ($\vec{V}_S \,//\, \vec{V}_{St}$):

$$\tilde{Q}_1^{\alpha} = \tilde{Q}\cos\alpha\sin\lambda;\ \tilde{Q}_2^{\alpha} = -\tilde{Q}\sin\alpha\cos\alpha;\ \tilde{Q}_2^{\lambda} = \tilde{Q}\cos\alpha\cos\lambda;\ \tilde{Q}_3^{\lambda} = -\tilde{Q}\sin\lambda;$$

$$\tilde{R}_1^{\alpha} = \tilde{S}(\left|C_{XV}\right|\sin\alpha - \left|C_{XV}^{\alpha}\right|\cos\alpha + C_{YV}\cos\alpha + C_{YV}^{\alpha}\sin\alpha);$$

$$\tilde{R}_2^{\alpha} = \tilde{S}(\left|C_{XV}\right|\cos\alpha - \left|C_{XV}^{\alpha}\right|\sin\alpha - C_{YV}\sin\alpha + C_{YV}^{\alpha}\cos\alpha);$$

$$\tilde{T}_{i1}^{\alpha} = \tilde{T}_i(\cos\nu_i\cos\theta_i\sin\alpha - \sin\nu_i\cos\alpha\cos\lambda + \cos\nu_i\sin\theta_i\sin\alpha\sin\lambda);$$

$$\tilde{T}_{i2}^{\alpha} = \tilde{T}_i(\cos\nu_i\cos\theta_i\cos\alpha + \sin\nu_i\sin\alpha\cos\lambda - \cos\nu_i\sin\theta_i\sin\alpha\sin\lambda);$$

$$\tilde{T}_{i2}^{\lambda} = \tilde{T}_i(\sin\nu_i\cos\alpha\sin\lambda + \cos\nu_i\sin\theta_i\cos\lambda);$$

$$\tilde{T}_{i3}^{\lambda} = \tilde{T}_i(\sin\nu_i\cos\lambda - \cos\nu_i\sin\theta_i\sin\lambda);\quad i \in (1;2).$$

Траление осуществляется под углом к течению:

$$\tilde{Q}_1^{\alpha} = \tilde{Q}(\sin\lambda\cos\alpha_1 + \sin\beta_1\cos\lambda\sin\alpha_1);$$

$$\tilde{Q}_2^{\alpha} = \tilde{Q}(-\sin\lambda\cos\alpha_1 + \sin\beta_1\cos\lambda\sin\alpha_1);$$

$$\tilde{R}_1^{\alpha} = \tilde{S}(C_{XV}^{\alpha}\cos\alpha - C_{XV}\sin\alpha + C_{YV}^{\alpha}\sin\alpha + C_{YV}\cos\alpha);$$

$$\tilde{R}_2^{\alpha} = \tilde{S}(-C_{XV}^{\alpha}\sin\alpha - C_{XV}\cos\alpha + C_{YV}^{\alpha}\cos\alpha - C_{YV}\sin\alpha);$$

$$\tilde{T}_{i1}^{\alpha} = \tilde{T}_i[\cos\nu_i\cos\Theta_i\cos\beta_1\sin\alpha_1 - \sin\nu_i(\cos\lambda\cos\alpha_1 - \sin\beta_1\sin\lambda\sin\alpha_1) +$$

$$+\cos\nu_i\sin\Theta_i(\sin\lambda\cos\alpha_1 + \sin\beta_1\cos\lambda\sin\alpha_1)];$$

$$Q_2^{\lambda} = \tilde{Q}\cos\lambda\cos\alpha_1\cos^2\beta_1\left[1 - tg\alpha_1 tg(\alpha - \alpha_1)\right];$$

$$Q_3^{\lambda} = \tilde{Q}\cos\beta_1\left[\sin\beta_1 tg(\alpha - \alpha_1) - \sin\lambda\right];$$

$$\tilde{T}_{i2}^{\lambda} = \tilde{T}_i\{-\cos\nu_i\cos\theta_i\sin\beta_1\cos\beta_1[\cos\alpha_1 - \sin\alpha_1 tg(\alpha - \alpha_1)] +$$

$$+(\sin\nu_i\sin\lambda + \cos\nu_i\sin\theta_i\cos\lambda)[\cos\alpha_1\cos^2\beta_1 - \cos^2\beta_1\sin\alpha_1 tg(\alpha - \alpha_1)]\}$$

$$\tilde{T}_{i3}^{\lambda} = \tilde{T}_i\cos\nu_i\cos\beta_i\{\cos\theta_i\cos\beta_1 tg(\alpha - \alpha_1) + tg\nu_i\sin\beta_1\sin\lambda tg(\alpha - \alpha_1) +$$

$$+tg\nu_i\cos\lambda + \sin\theta_i[\sin\beta_1 t(\alpha - \alpha_1)\cos\lambda - \sin\lambda]\}; \quad i = (1;2).$$

В работе получены основные уравнения связи между характеристиками траловых досок, вытекающие из геометрических условий, условий равновесия и устойчивости равновесия, когда траление осуществляется под углом к течению. Эти уравнения позволяют определять площадь траловой доски в плане, ее массу, координаты точек крепления к доске ваера и лапок, а также обеспечивать устойчивое движение траловых досок, а значит и всей траловой системы.

Описанная выше математическая модель может быть использована для оптимальной промысловой настройки траловых систем с учетом течений.

Библиографический список

1. *Габрюк В.И., Габрюк А.В., Осипов Е.В., Чернецов В.В.* Механика траловой рыболовной системы. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2005. С. 28.

2. *Габрюк В.И.* Компьютерные технологии в промышленном рыболовстве. М.: Колос, 1995. С. 224.

3. *Габрюк В.И., Кулагин В.Д.* Механика орудий рыболовства и АРМ промысловика. М.: Колос, 2000. С. 218.

УДК 597.08.632.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИМ-ТРАЛА ДЛЯ ПРЯМЫХ УЧЕТНЫХ РАБОТ

А.Н. Вдовин; М.А. Мизюркин, ТИНРО-Центр;
А. Пак, Дальрыбвтуз, Владивосток

Рассмотрены результаты учетных работ, проведенных бим-тралом. Установлено, что бим-трал лучше облавливает молодь рыб и малоподвижных животных, а донный трал – крупных подвижных рыб. Определено, что применение двух тралов на донных траловых съемках существенно расширяет возможности учетных работ.

При оценке запасов гидробионтов методами прямого учета часто используется учетная траловая съемка (Аксютина, 1968; Никольский, 1974). В последние годы в нашей стране метод прямого учета становится безальтернативным из-за заметного ухудшения качества промысловой статистики (Тарасюк, 2000).

Методики оценки запасов гидробионтов на основе траловых учетных съемок также во многом несовершенны и зачастую приводят к искаженным величинам (Вдовин, Дударев, 2000). Среди множества субъективных ошибок существуют чисто методические: издержки в работе трала, характер вероятностного распределения рассчитываемых параметров и т.д. (Трещев, 1983; Юданов, 1995). Одним из субъективно определяемых параметров является горизонтальное раскрытие трала, которое в настоящее время инструментально не измеряется, что существенно сказывается на оценке численности учитываемых объектов (Волвенко, 1998).

Этот недостаток отсутствует у бим-трала, конструктивной особенностью которого является его распорный бим, с его помощью задается постоянное горизонтальное раскрытие трала, не меняющееся при любых режимах траления (рис. 1). Тем не менее это орудие лова ранее не применялось при учетных работах, скорее всего, потому, что редко используется на промысле отечественными рыбаками и только с маломерных судов.

В период проведения экспериментальных работ использовались бим-тралы двух размеров, горизонтальное раскрытие которых задавалось бимами трех размеров. Общий вид бим-трала показан на рис. 1.

Из-за конструктивных особенностей и принципа действия бим-тралы не применяются на больших судах и больших глубинах. Однако используются для промысла гидробионтов.

Целью данной работы является оценка возможностей бим-трала как учетного орудия лова и сравнение его эффективности с донным тралом, применяемым в учетных съемках зал. Петра Великого.

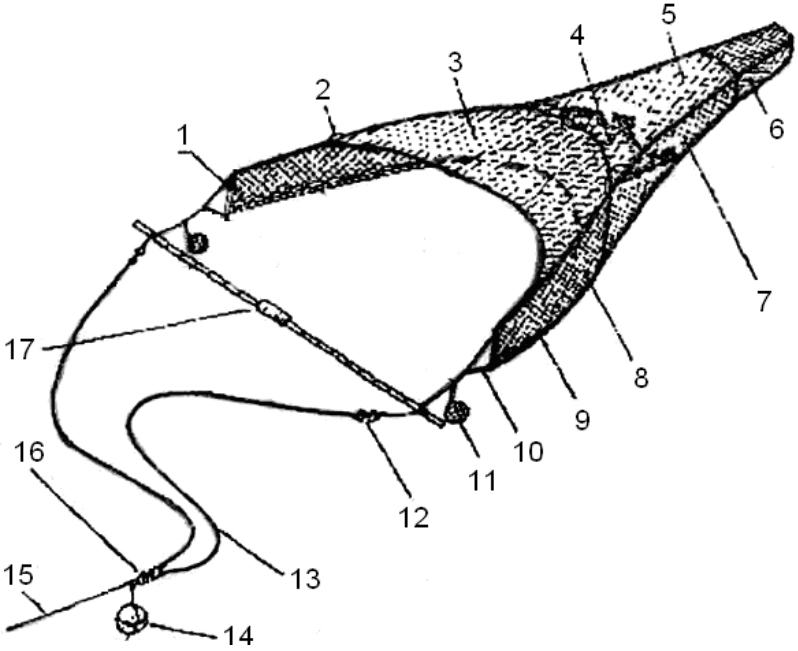


Рис. 1. Трал с бамбуковым бимом: 1 – клячевка; 2 – верхняя подбора; 3 – сквер; 4 – фартук; 5 – мотня; 6 – траловый мешок; 7 – сетная пластина; 8 – крыло; 9 – нижняя подбора; 10, 13 – шкентель; 11, 14 – груз-углубитель; 12, 16 – вертлюг; 15 – ваер;17 – бамбуковый бим

Работы проводились на судне МРБ «Пионер» с мощностью силовой установки 54,5 кВт, длиной 14 м и водоизмещением в полной загрузке 20,0 т. Максимальная осадка судна составляла 0,9 м. Промысловая палуба МРБ «Пионер» была оснащена кормовым ролом и ваерной лебедкой с тяговым усилием до 900 кгс. На барабан лебедки был намотан стальной трос диаметром 12 мм и длиной 200 метров. Траление выполнялось бим-тралами двух конструкций. Первый трал был рассчитан на работу с 5-6-метровым бимом, а второй – 3-метровым.

Достоинством бим-тралов является их мобильность. Они готовы к работе сразу после того, как раскрываются в кильватерной струе в непосредственной близости от кормы.

В процессе проведения экспериментальных работ были проведены исследования по определению режимов траления, оснастки бима грузами-углубителями и длины вытравленного ваера в зависимости от глубины лова. Работы проводились на глубинах 2-52 м. В качестве грузов-углубителей использовали грунтропные катушки весом по 10 кг каждая, и общая загрузка составляла 20 или 40 кг.

Скорость в отдельно взятом тралении изменялась от 0,5 до 1,75 м/с. Длина вытравленного ваера в зависимости от глубины лова изменялась в соотношении 3/1-10/1.

Улов разбирался с полной идентификацией видового состава. У каждого вида подсчитывалось количество особей и определялся общий вес. Полученные значения количества особей и биомассы видов пересчитывались на час траления. У всех экземпляров рыб измеряли длину.

Для корректного сравнения количественных характеристик вылова гидробионтов тралами разных конструкций величины уловов пересчитывались на плотность:

$$Pn = Cn(1000000 / S), \quad (1)$$

где Pn – удельная численность (биомасса), экз./км^2 (кг/км^2); Cn – улов на час траления в численном, экз., или весовом, кг, выражении; S – площадь облова тралом, м^2 за часовое траление, которая соответственно определялась по формуле

$$S = L \cdot b, \quad (2)$$

где L – пройденное расстояние, b – горизонтальное раскрытие трала.

Запасы определялись методом площадей (1, 2):

$$N = \frac{S \cdot C}{s \cdot k}, \quad (3)$$

где N – оценка запаса в штучном или весовом выражении; C – средний улов вида (на час траления) в штучном или весовом выражении; S – площадь исследованной акватории; s – средняя площадь часового траления; k – коэффициент уловистости.

Для сопоставимости данных нами были использованы те же коэффициенты уловистости, что и при съемке, выполненной МРС-5005.

Величины k приняты на основе имеющихся литературных данных с некоторой корректировкой из-за особенностей распределения и размеров рыб в зал. Петра Великого (Борец, 1985, 1985а; Гаврилов и др., 1988). Параметры уловистости изменялись в зависимости от введенных градаций по весу рыб: при среднем весе 100 г и более – искомая величина k соответствует максимальному значению для конкретного вида (табл. 1); при весе от 30 до 100 г k уменьшался на 0,1; при весе от 10 до 30 г – на 0,15-0,2; при весе менее 10 г – на 0,5-0,3.

Работы проводились в центральной части зал. Петра Великого в период с 4 июля по 17 октября 2007 г. (рис. 2). Общее количество рабочих судосуток составило 30. Было выполнено 113 тралений и промерено 4183 экземпляров рыб.

Таблица 1

Коэффициент уловистости

Таксон	> 100 г	30-100 г	< 30 г
Pleuronectidae	0,5	0,4	0,3
Hexagrammidae (кроме Pleurogrammus azonus)	0,5	0,4	0,3
Pleurogrammus azonus	0,3	0,2	0,1
Eleginus gracilis	0,4	0,3	0,2
Cyprinidae	0,3	0,2	0,1
Osmeridae	0,3	0,2	0,1
Остальные	0,5	0,4	0,3

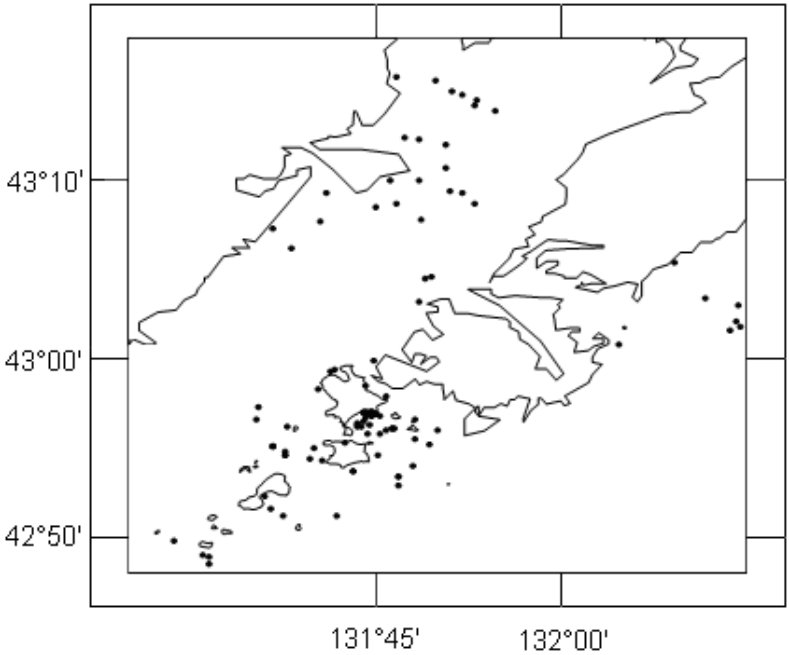


Рис. 2. Схема работ МРБ «Пионер» в центральной части зал. Петра Великого в июле-октябре 2007 г.

В период с 4 июля по 17 октября 2007 г. в центральной части зал. Петра Великого в диапазоне глубин 2-52 м было зарегистрировано 67 видов и подвидов рыб, относящихся к 19 семействам (табл. 2). Для такого небольшого района исследований и относительно узкого диапазона глубин такое видовое разнообразие является довольно высоким.

Таблица 2

Видовой состав траловых уловов в рейсе МРБ «Пионер» в зал. Петра Великого с 4 июля по 17 октября 2007 г.

№	Таксон	№	Таксон
I	CYPRINIDAE	34	*Brachyopsis segaliensis*
1	*Tribolodon brandti*	35	*Occa dodecaedron*
II	OSMERIDAE	36	*Pallasina barbata*
2	*Hypomesus japonicus*	37	*Tilesina gibbosa*
3	*Hypomesus olidus*	XI	LIPARIDAE
4	*Mallotus villosus socialis*	38	*Liparis ochotensis*
III	GADIDAE	XII	TRICHODONTIDAE
5	*Eleginus gracilis*	39	*Arctoscopus japonicus*
6	*Theragra chalcogramma*	XIII	BATHYMASTERIDAE
IV	SYNGNATIDAE	40	*Bathymaster derjugini*
7	*Syngnathus schlegeli*	XIV	CRYPTOCANTHODIDAE
V	MULLIDAE	41	*Cryptacanthoides bergi*
8	*Upeneus bensasi*	XV	PHOLIDIDAE
VI	SCORPAENIDAE	42	*Pholis pictus*
9	*Sebastes minor*	XVI	STICHAEIDAE
10	*Sebastes owstoni*	43	*Alectrias alecrolophus benjamini*
11	*Sebastes schlegeli*	44	*Acantholumpenus mackayi*
12	*Sebastes trivittatus*	45	*Ascoldia variegata*
VII	HEXAGRAMMIDAE	46	*Chirolophis japonicus*
13	*Hexagrammos octogrammus*	47	*Ernogrammus hexagrammus*
14	*Hexagrammos stelleri*	48	*Kasatkia memorabilis*
15	*Pleurogrammus azonus*	49	*Lumpenus sagitta*
VIII	COTTIDAE	50	*Neozoarces steindachneri*
16	*Alcichthys elongatus*	51	*Opisthocentrus ocellatus*
17	*Argyrocottus zanderi*	52	*Opisthocentrus zonope*
18	*Artediellus dydymovi*	53	*Pholidapus dybowskii*
19	*Bero elegans*	54	*Stichaeus grigorjewi*
20	*Cottiusculus gonez*	55	*Stichaeus nozavae*
21	*Cottiusculus schmidti*	XVII	HYPOPTYCHIDAE
22	*Enophrys diceraus*	56	*Hypoptychus dybowskii*
23	*Gymnacanthus herzensteini*	XVIII	GOBIIDAE
24	*Gymnacanthus pistilliger*	57	*Acanthogobius flavimanus*
25	*Hemilepidotus gilberti*	58	*Acentrogobius pflaumi*
26	*Myoxocephalus brandti*	XIX	PLEURONECTIDAE
27	*Myoxocephalus jaok*	59	*Acanthopsetta nadeshnyi*
28	*Myoxocephalus polyacanthocephalus*	60	*Cleisthenes herzensteini*
29	*Myoxocephalus stelleri*	61	*Glyptocephalus stelleri*
30	*Porocottus allisi*	62	*Hippoglossoides dubius*
31	*Triglops jordani*	63	*Limanda aspera*
IX	HEMITRIPTERIDAE	64	*Limanda punctatissima*
32	*Blepsias cirrhosus*	65	*Liopsetta pinnifasciata*
33	*Hemitripterus villosus*	66	*Pseudopleuronectes herzensteini*
X	AGONIDAE	67	*Pseudopleuronectes yokohomae*

В целом, видовой состав является довольно типичным для донных траловых съемок зал. Петра Великого (Вдовин и др., 2004). Наибольшим видовым разнообразием отличалось семейство рогатковых *Cottidae* – 16 видов. На втором месте по видовому разнообразию находится семейство стихеевых *Stichaeidae* – 13 видов, на третьем семейство камбаловых *Pleuronectidae* – 9 видов. На семейства морских лисичек *Agonidae* и скорпеновых *Scorpaenidae* приходилось по 4 вида, а на семейства корюшковых *Osmeridae* и терпуговых *Hexagrammidae* – по 3. На семейства тресковых *Gadidae*, волосатых рогаток *Hemitripteridae* и бычков-колобней *Gobiidae* приходилось по 2 вида, а на остальные 9 семейств – по одному.

Впервые в траловых уловах в зал. Петра Великого были зарегистрированы бахромчатый бычок *Porocottus allisi*, бычок ацентрогобиус *Acentrogobius pflaumi*, краснобрюхая барабуля *Upeneus bensasi* и шестилинейный стихей *Ernogrammus hexagrammus*. Бахромчатый бычок и краснобрюхая барабуля характеризовались единичными экземплярами. Бычок ацентрогобиус ранее не встречался в уловах, возможно, потому, что траления на глубинах менее 5 м не выполнялись. На глубинах 2-4 м за два десятиминутных траления было поймано 11 экземпляров этой рыбы. Шестилинейный стихей также два раза встречался в уловах, и общее количество выловленных особей составило 12. Обе станции были выполнены на илистых грунтах, где нередко проводили научные траления донным тралом. По нашему мнению, это связано с тем, что нижняя подбора бим-трала, имеющая другую оснастку, плотнее прилегала к грунту.

Из видов, редко встречающихся в зал. Петра Великого, можно отметить серебристого *Argyrocottus zanderi* и усатого *Blepsias cirrhosus* бычков, которые также были отмечены в съемке зал. Петра Великого, выполненной МРС-5005 в 2007 г. В обоих рейсах было зарегистрировано по единичному экземпляру серебристого бычка. Усатый бычок в уловах МРС-5005 также отмечался единичными экземплярами. На МРБ «Пионер» данный вид являлся обычным.

Часто встречались рыбы, которые в уловах донных тралов считались редкими либо не встречались вообще. Это объясняется тем, что бим-трал характеризуется другой селективностью лова.

Для сравнения работы донного трала и бим-трала была проведена серия тралений на семи станциях. В целом, уловы донного трала на МРС-5005 по рыбам были выше, чем бим-тралом на МРБ «Пионер», а по беспозвоночным, напротив, ниже. Вероятно, из-за меньших размеров и другой оснастки нижней подборы бим-трал плотнее прилегал к грунту и эффективнее облавливал малоподвижных животных, в частности иглокожих (морских звезд и кукумарию).

По всем интегральным показателям, характеризующим уловы рыб, донный трал превосходил бим-трал (табл. 3). Следует обратить внимание и на то, что средние размеры рыб в бим-трале были, в целом, в 1,5 раза меньше чем в донном. При анализе размерного состава было обраще-

но внимание на то, что донный трал лучше облавливает крупных рыб, а бим-трал – мелких. В какой-то степени различия в уловистости мелких рыб могут быть обусловлены различным шагом ячеи в кутцах разных тралов: 30 мм у донного и 10 мм у бим-трала. Но, возможно, это не является главной причиной. В уловах донного трала присутствует молодь тех же размеров и видов, что и в уловах бим-трала, в том числе и молодь длиной 15-20 см, которая уже не должна отцеживаться через 30-миллимитровую ячею. Видимо, это связано с тем, что молодь больше взрослых рыб предпочитает укрытия и убежища (Никольский, 1974а). Ранее одному из авторов статьи (Вдовину А.Н.) при подводных погружениях удалось заметить, что у молоди камбал и бычков тяготение к небольшим углублениям на дне и подножию небольших возвышенностей выражено гораздо больше, чем у взрослых рыб. В будущем планируется проверка данного предположения с помощью подводных видеосъемок.

В уловах бим-трала крупных рыб, наоборот, меньше, что, вероятнее всего, связано с меньшими размерами его вертикального и горизонтального раскрытия, чем у донного трала. Заметим, что в параллельных тралениях в бим-тралe отсутствовали такие подвижные рыбы, как мелкочешуйная красноперка *Tribolodon brandtii*, южный одноперый терпуг *Pleurogrammus azonus* и крупная навага *Eleginus gracilis*, которые были зарегистрированы в уловах донного трала. Следует сказать, что в отдельных уловах бим-трала указанные рыбы регистрировались единичными экземплярами.

Исходя из вышесказанного, совершенно очевидно, что донный трал и бим-трал характеризуются различной селективностью, благодаря которой должны различаться оценки запасов рыб по данным прямых учетов этими орудиями лова.

И донный трал, и бим-трал имеют свои преимущества, которые могут дополнять друг друга при оценке запаса. Несомненно, донный трал лучше облавливает крупных рыб, если речь идет об уловах одного и того же вида. И в съемках Амурского залива средний вес большинства видов в уловах МРС-5005 был выше, чем в уловах МРБ «Пионер». Однако у некоторых видов, оценки запасов которых по нашим данным были значительно выше, чем при съемке МРС-5005, средний вес рыб был или сопоставим, или даже выше в уловах МРБ «Пионер». Из массовых видов к ним относятся полосатая и желтоперая *Limanda aspera* камбалы, снежный керчак и колючий люмпен. Можно предположить, что существует и видовая специфика уловистости различных тралов. Некоторые рыбы, предпочитающие илистые грунты, несомненно, облавливаются лучше бим-тралом, в частности полосатая камбала, колючий и стреловидный люмпены.

Как правило, запасы рыб в траловых съемках всегда не учитываются полностью. Поэтому в параллельных съемках логичнее считать более достоверными максимальные оценки (Вдовин, Дударев, 2000; Вдовин, 2005). При сложении таких оценок ихтиомасса Амурского залива в летне-осенний период должна составить порядка 20 тыс. т. Это

самый простой способ, позволяющий оценить общее состояние запасов на определенной акватории. Кроме того, обновляются данные по видовому составу. В съемке МРС-5005 было зарегистрировано 58 видов, а в съемке МРБ «Пионер» – 49. Общее количество видов составило 71.

Разумеется, уточняются данные и по размерному составу, что позволяет предметно корректировать оценки запасов по отдельным видам. Суть этой корректировки следующая: необходимо взять максимальные оценки численности в каждой размерной группе. На наш взгляд, такой подход является вполне логичным, хотя бы потому, что в обобщенный размерный ряд включаются размерные группы, отсутствующие в одном или другом ряду.

Следует отметить, что бим-трал можно использовать в прибрежной зоне со сложной орографией берегов и других местах, где участки для тралового обследования ограничены по размерам. Таким образом, бим-трал может обследовать большее количество участков, доступных для тралений, что, несомненно, позволит обогатить данные не только по видовому и размерному составам, но и по распределению гидробионтов.

Резюмируя вышесказанное, можно отметить, что совместное использование донного трала и бим-трала позволит существенно расширить возможности прямых траловых учетов. При этом корректируются данные по видовому и размерному составам гидробионтов и корректируются оценки запасов в сторону существенного увеличения. Кроме того, бим-тралом можно обследовать участки, недоступные для донного трала по техническим причинам, что также даст дополнительную информацию не только по видовому и размерному составам, но и по распределению гидробионтов.

Библиографический список

1. *Аксютина Э.М.* Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: Пищ. пром-сть, 1968. 289 с.

2. *Борец Л.А.* Состав и современное состояние сообщества рыб Карагинского залива // Изв. ТИНРО. 1985. Т. 110. С. 20-28.

3. *Борец Л.А.* Состав донных рыб на шельфе Охотского моря // Биология моря. 1985. № 4. С. 54-59.

4. *Вдовин А.Н.* Изучение состояния запасов основных промысловых рыб в водах Приморья // Изв. ТИНРО. 2005. Т. 141. С. 74-102.

5. *Вдовин А.Н., Дударев Д.А.* Сравнительная оценка количественных учетов рыбной сырьевой базы Приморья // Вопр. рыболовства. 2000. Т. 1. № 4. С. 46-57.

6. *Вдовин А.Н., Измятинский Д.В, Соломатов С.Ф.* Основные результаты исследований ихтиофауны морского прибрежного комплекса Приморья // Изв. ТИНРО. 2004. Т. 138. С. 168-190.

7. *Волвенко И.В.* Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловой съемки // Изв. ТИНРО. 1998. Т. 124. С. 473-500.

8. *Гаврилов Г.М., Пушкарева Н.Ф., Стрельцов М.С.* Состав и биомасса донных и придонных рыб экономической зоны СССР Японского моря // Изменчивость состава ихтиофауны, урожайности поколений и методы прогнозирования запасов рыб в северной части Тихого океана. Владивосток: ТИНРО, 1988. С. 37-53.

9. *Никольский Г.В.* Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации и воспроизводства рыбных ресурсов. М.: Пищ. пром-сть, 1974. 447 с.

10. *Никольский Г.В.* Экология рыб. М.: Высш. шк., 1974. 367 с.

11. *Тарасюк С.* Использование результатов донных траловых съемок для оценки запасов гидробионтов // Рыб. хоз-во. 2000. № 1. С. 38-40.

12. *Трещев А.И.* Интенсивность рыболовства. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. 236 с.

13. *Юданов. К.И.* Результативность учетных съемок // Рыб. хоз-во. 1995. № 4. С. 48-49.

УДК 639.2

ТРАЛОВЫЕ ДОСКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МИРОВОМ РЫБОЛОВСТВЕ

В.В. Кудакаев, Дальрыбвтуз, Владивосток

Горизонтальное и вертикальное раскрытие устья тралов обеспечивается распорными устройствами. В статье представлен обзор распорных устройств, используемых для горизонтального раскрытия устья тралов, а именно траловых досок.

Горизонтальное раскрытие устья трала обеспечивается распорными устройствами, которые бывают жесткими (ЖРУ) с неизменяемой геометрией и гибкими (ГРУ) с изменяемой геометрией (Габрюк, Кулагин, 2000). Дерево распорных устройств для обеспечения горизонтального раскрытия трала приведено на рис. 1.

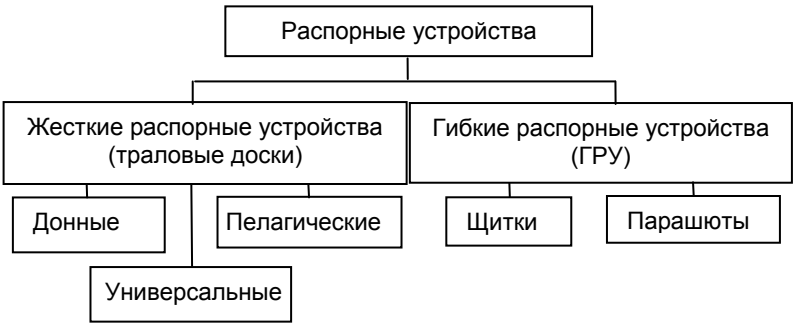


Рис. 1. Дерево распорных устройств

К жестким распорным устройствам относятся траловые доски. По конструкции траловые доски бывают прямоугольные; прямоугольные цилиндрические; круглые сферические; овальные; овальные цилиндрические; щелевые; крыловидные; V-образные; композитные и т.д. С точки зрения механики трала, функция траловых досок состоит в создании сил, приложенных к концам крыльев тралов, противодействующих составляющим натяжений в подборах, стремящихся сжать их и привести в состояние безразличного равновесия. Одновременно распорные доски, обладая достаточно большой массой, исполняют функцию устройства, стремящегося заглубить трал, степень которого определяется изменением их крена.

Впервые траловые доски были применены рыбаками Шотландии в 90-х годах XIX в. (Информационная поисковая система Корабел.ру, 2007). Одна из первых траловых досок была изготовлена из стального каркаса и дерева и представляла плоскую прямоугольную конструкцию. Вариант такой доски представлен на рис. 2.

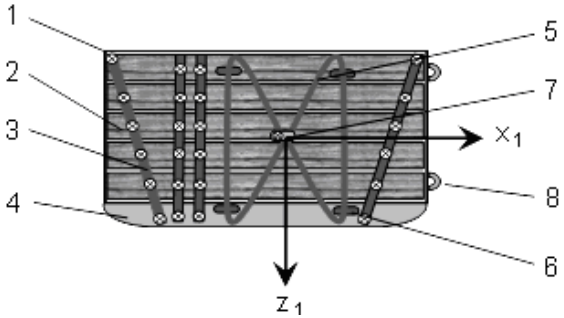


Рис. 2. Плоская деревянная траловая доска: 1 – стальная рама; 2 – деревянные вставки; 3 – киль; 4 – металлические пластины для обвязки; 5 – треугольные дуги; 6 – скоба для крепления дуги; 7 – скоба для крепления ваера; 8 – кольцо для крепления лапки досок

Такие доски являются классическими и, по утверждению компании «Poly-Ice», до сих пор используются в некоторых странах. Они очень удобны в изготовлении и ремонте, но несовершенны с точки зрения экономии топлива. Эти доски показывали максимальную производительность по распорной силе при соприкосновении с морским дном. Эффективность распорных досок чаще всего выражается коэффициентом распорной силы C_{y_V}. На рис. 3 показан коэффициент распорной силы для плоской деревянной траловой доски (информация предоставлена группой компаний «Hampydjan Group»). Максимальное значение коэффициента C_{y_V} = 0,93 у деревянной доски достигается на угле атаки 32°.

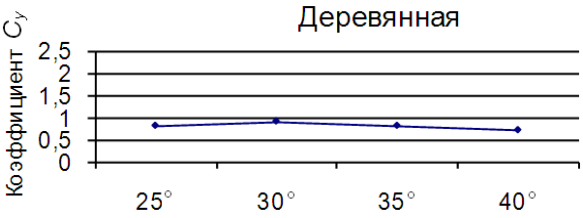


Рис. 3. Гидродинамический коэффициент распорной силы для деревянной доски

История отечественных траловых досок берет свое начало с 1894 г., когда на смену бим-тралам пришли оттер-тралы, имевшие траловые доски непосредственно на крыльях. Так же, как и шотландские траловые доски, они изготавливались из деревянных брусьев толщиной 10-15 см и имели прямоугольную форму. Низ доски окантовывался листовым железом (отдел научно-технической информации СПКТБ «Дальрыба», 1976). Немного позже между траловой доской и крылом трала появились кабели длиной 100 метров. Такая система (Виньерон-Даля) позволила увеличить раскрытие тралов и соответственно площадь облова.

Наиболее широко разработкой отечественных траловых досок занимались в СССР следующие ученые, инженеры и конструкторы: И.Р. Матросов, В.С. Калиновский, П.А. Старовойтов, М.П. Поляков, Э.М. Рыкунов, В.К. Саврасов.

Качество траловых досок, помимо вышеуказанного коэффициента распорной силы C_{y_V}, оценивают по коэффициенту лобового сопротивления C_{x_V}, а также отношению C_{y_V}/C_{x_V}, которое называют коэффициентом качества траловой доски. Эти коэффициенты были получены при проецировании гидродинамической силы $\overline{R}$ на оси x_V, y_V, z_V, где x_V совпадает с вектором скорости потока, y_V лежит в плоскости стрингеров доски. Проекции полной гидродинамической силы $\overline{R}$ на оси x_V, y_V, z_V записываются в форме

$$R_{x_V} = C_{x_V}\frac{\rho V^2}{2}S, \quad R_{y_V} = C_{y_V}\frac{\rho V^2}{2}S, \quad R_{z_V} = C_{z_V}\frac{\rho V^2}{2}S,$$

где ρ – массовая плотность воды, кг/м^3; V – скорость потока, м/с; S – площадь доски в плане, м^2.

В связи с тем, что заглубляющая сила R_{z_V} очень мала, при расчете траловых досок коэффициент C_{z_V} просто опускают.

В табл. 1 указаны максимальные коэффициенты распорных сил, углы атаки, при которых они возникают, а также соответствующие коэффициенты лобового сопротивления и качества различных типов отечественных досок в пелагическом варианте траления, эти данные были предоставлены Э.М. Рыкуновым в 1969 г.

Таблица 1

Гидродинамические характеристики отечественных траловых досок

Тип доски	Угол атаки α, град	Коэффициент распорной силы C_{y_V}	Коэффициент лобового сопротивления C_{x_V}	Коэффициент качества C_{x_V} / C_{y_V}
Прямоугольные плоские доски	40	1,2	1,05	1,1
Овальные однощелевые конструкции Матросова	40	1,3	1,0	1,3
Прямоугольные V-образные	45	1,1	1,2	1,0
Круглые сферические конструкции Рыкунова-Калиновского	33	1,73	1,25	1,5
Прямоугольные цилиндрические конструкции Зюберкрюба	20	1,1	0,35	3,4
Овальные безщелевые траловые доски	37	1,35	1,0	1,3

Для рассмотрения современных зарубежных траловых досок воспользуемся информацией, любезно предоставленной известной в Европе группой компаний «Hampydjan Group». Эта группа была основана в 1934 г. в Исландии. Среди российских рыбаков она более известна по самораскрывающимся разноглубинным тралам Gloria, а также по траловым доскам Poly-Ice. Одна из последних разработок, а именно траловая доска Орех представлена в учебном пособии «Промышленное рыболовство» (Добровинский С.С., Корнейчук Ю.А., 2004).

Траловая доска Oval (рис. 4) впервые была изготовлена Джемом Генриксоном в 1968 г. из стали и дерева, но после 1975 г. она стала полностью стальной.

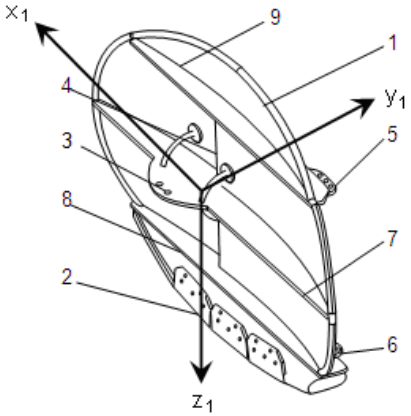


Рис. 4. Траловая доска Oval: 1 – щиток; 2 – киль; 3 – отверстия для крепления ваера; 4 – щелевое отверстие; 5 – отверстия для крепления верхней лапки; 6 – отверстия для крепления нижней лапки; 7, 8, 9 – стрингеры жесткости

Максимальное значение коэффициента C_{y_V} = 1,19 (рис. 5) на угле атаки 32°, при этом C_{x_V} = 0,79 и C_{y_V}/C_{x_V} = 1,50.

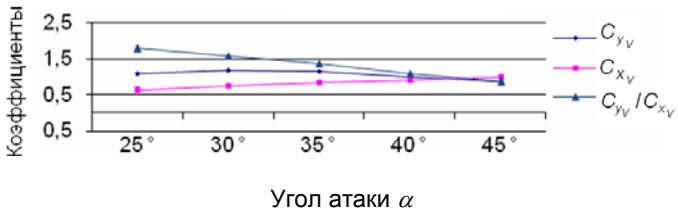


Рис. 5. Гидродинамические коэффициенты $C_{y_V}, C_{x_V}, C_{y_V}/C_{x_V}$ для траловой доски Oval

Пелагическая траловая доска Super Foil (рис. 6) была впервые представлена группой компаний «Hampidjan Group» в конце 1995 г. Эта доска является результатом гидродинамических исследований при помощи компьютерного моделирования траловых досок в потоке воды. Получив наилучшую обтекаемость, разработчикам удалось достичь меньшего лобового сопротивления доски и в то же время увеличить коэффициент распорной силы.

Максимальное значение коэффициента C_{y_V} = 2,20 (рис. 7) на угле атаки 33°, при этом C_{x_V} = 0,96 и C_{y_V}/C_{x_V} = 2,29.

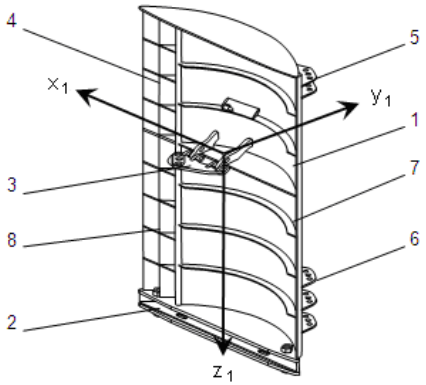


Рис. 6. Траловая доска Super Foil: 1 – щиток; 2 – киль; 3 – поворачиваемая планка с отверстиями для крепления ваера; 4 – предкрылки; 5 – стрингеры с отверстиями для крепления верхней лапки; 6 – стрингеры с отверстиями для крепления нижней лапки; 7, 8 – стрингеры жесткости

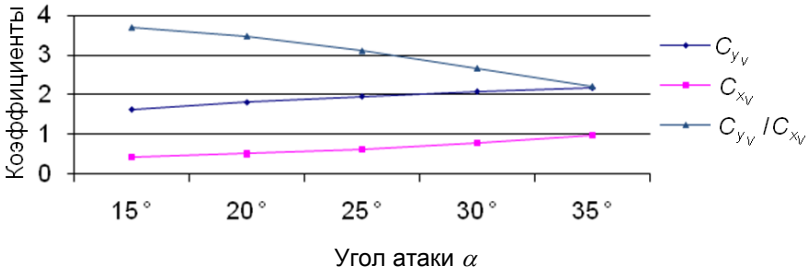


Рис. 7. Гидродинамические коэффициенты C_{y_V}, C_{x_V}, C_{y_V}/C_{x_V} для траловой доски Super Foil

Траловая доска Concord (рис. 8) представляет собой V-образную овальную щелевую траловую доску, относится к донному типу досок, но в то же время она обеспечивает 85 % раскрытия без касания дна.

Максимальное значение коэффициента C_{y_V} = 1,37 (рис. 9) на угле атаки 34°, при этом C_{x_V} = 0,89 и C_{y_V}/C_{x_V} = 1,54.

Траловая доска El Cazador (рис. 10) является универсальной, поскольку может использоваться на судах, которые ведут как пелагический, так и донный вид промысла. При промысловых испытаниях этой доски было установлено, что трал раскрывается сразу после спуска досок на 100 % и ведет себя стабильно на протяжении всего траления, что, в свою очередь, делает этот тип доски безопасным для окружающей среды, так как она позволяет раскрыть трал на 100 % без касания дна.

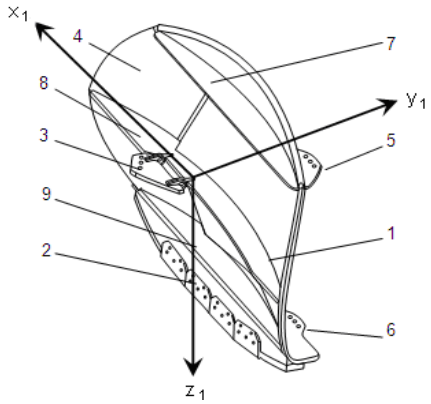


Рис. 8. Траловая доска Concord: 1 – щиток; 2 – киль; 3 – поворачиваемая планка с отверстиями для крепления ваера; 4 – предкрылок; 5 – отверстия для крепления верхней лапки; 6 – отверстия для крепления нижней лапки; 7, 8, 9 – стрингеры жесткости

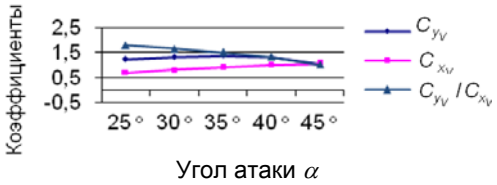


Рис. 9. Гидродинамические коэффициенты $C_{yv}, C_{xv}, C_{yv}/C_{xv}$ для траловой доски Concord

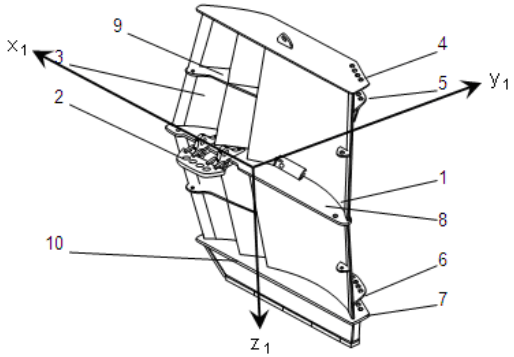


Рис. 10. Траловая доска El Cazador: 1 – щиток; 2 – поворачиваемая планка для крепления ваера; 3 – предкрылки; 4, 5, 6, 7 – отверстия для крепления лапок; 8, 9, 10 – стрингеры жесткости

Максимальное значение коэффициента C_{yv} = 1,77 (рис. 11) на угле атаки 43°, при этом C_{xv} = 1,32 и C_{yv}/C_{xv} = 1,34.

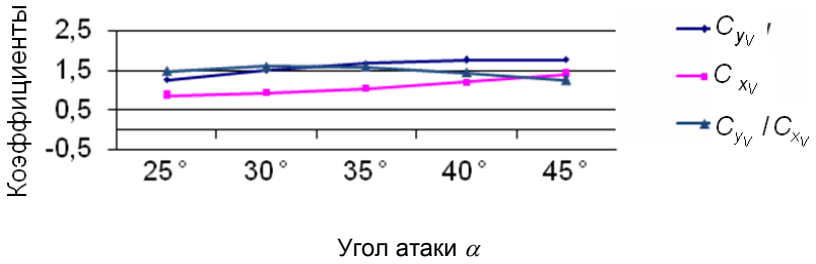


Рис. 11. Гидродинамические коэффициенты $C_{yv}, C_{xv}, C_{yv}/C_{xv}$ для траловой доски El Cazador

Траловая доска Viking B (рис. 12) относится к тому же типу, что и El Cazador, но с меньшим коэффициентом распорной силы и имеет высокую эффективность при тралении на сложных грунтах.

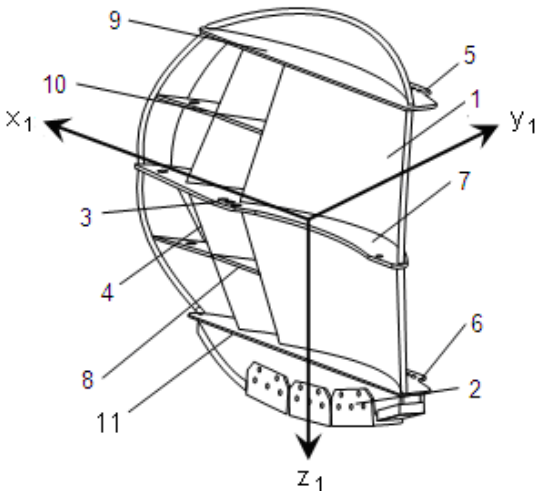


Рис. 12. Траловая доска Viking B: 1 – щиток; 2 – киль; 3 – отверстия для крепления ваера; 4 – предкрылки; 5 – отверстия для крепления верхней лапки; 6 – отверстия для крепления нижней лапки; 7, 8, 9, 10, 11 – стрингеры жесткости

Максимальное значение коэффициента C_{y_V} = 1,61 (рис. 13) на угле атаки 37°, при этом C_{x_V} = 1 и C_{y_V} / C_{x_V} = 1,61.

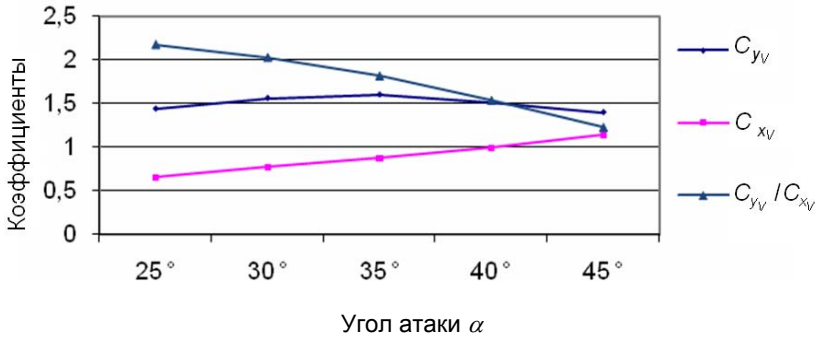


Рис. 13. Гидродинамические коэффициенты $C_{y_V}, C_{x_V}, C_{y_V} / C_{x_V}$ для траловой доски Viking B

Траловая доска Sputnik представлена на рис. 14.

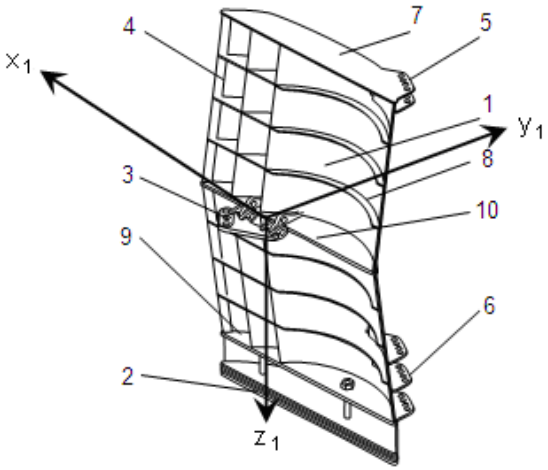


Рис. 14. Траловая доска Sputnik: 1 – щиток; 2 – киль; 3 – поворачиваемая планка с отверстиями для крепления ваера; 4 – предкрылки; 5 – стрингеры с отверстиями для крепления верхней лапки; 6 – стрингеры с отверстиями для крепления нижней лапки; 7, 8, 9, 10 – стрингеры жесткости

Максимальное значение коэффициента C_{yv} = 1,90 (рис. 15) на угле атаки 45°, при этом C_{xv} = 0,92 и C_{yv}/C_{xv} = 2,07.

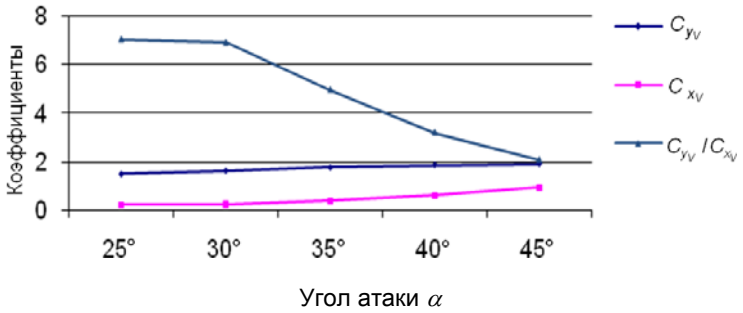


Рис. 15. Гидродинамические коэффициенты $C_{yv}, C_{xv}, C_{yv}/C_{xv}$ для траловой доски Sputnik

В табл. 2 приведены сравнения характеристик отечественных и зарубежных траловых досок по коэффициенту распорной силы C_{yv} .

Таблица 2

Гидродинамические коэффициенты	Деревянная траловая доска	Прямоугольные плоские доски	Овальные одно щелевые конструкции Матросова	Прямоугольные V-образные	Круглые сферические конструкции Рыкунова-Калиновского	Прямоугольные цилиндрические конструкции Зюберкрюба	Овальные безщелевые траловые доски	Траловая доска Oval	Траловая доска Super Foil	Траловая доска Concord	Траловая доска El Cazador	Траловая доска Viking B	Траловая доска Sputnik
α, град	32	40	40	45	33	20	37	32	33	34	43	37	45
C_{yv}	0,93	1,2	1,3	1,1	1,73	1,1	1,35	1,19	2,2	1,37	1,77	1,61	1,9
C_{xv}		1,05	1,0	1,2	1,25	0,35	1,0	0,79	0,96	0,89	1,32	1	0,92
C_{yv}/C_{xv}		1,1	1,3	1,0	1,5	3,4	1,3	1,5	2,29	1,54	1,34	1,61	2,07

Из табл. 2 можно сделать вывод, что с момента создания первой траловой доски, конструкторы добились значительного прогресса в улучшении гидродинамических качеств траловых досок. Следует отметить круглую сферическую траловую доску Рыкунова-Калиновского, так

как из отечественных досок она имеет самый большой коэффициент распорной силы, который составляет 1,73.

Наиболее подходящие по конструкции зарубежные аналоги (Oval, Concord, Viking B) имеют меньший коэффициент распорной силы. Но у зарубежных аналогов и меньше коэффициент лобового сопротивления, что обеспечивает более высокий коэффициент качества.

Библиографический список

1. *Габрюк В.И., Кулагин В.Д.* Механика орудий рыболовства и АРМ промысловика. М.: Колос, 2000. С. 186.

2. Информационно поисковая система Корабел.ру, 2007 г. http://www.korabel.ru/dictionary/detail/20/1033399816.html.

3. Траловые доски промысловых судов // Отдел научно-технической информации ЦПКТБ «Дальрыба». Владивосток, 1976. С. 6-7.

4. *Добровинский С.С., Корнейчук Ю.А.* Промышленное рыболовство: Учеб. пособие. Владивосток: ДИПК, 2004. С. 116.

УДК 597.562(265.51):639.2.081.1

ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ МИГРАЦИЙ ЗООПЛАНКТОНА В БЕРИНГОВОМ МОРЕ (ЗОНА РОССИИ) В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

М.Ю. Кузнецов; А.В. Николаев, ТИНРО-Центр, Владивосток

Приводятся результаты использования гидроакустического метода для оценок пространственного распределения и суточных вертикальных миграций крупной фракции зоопланктона на основе многочастотного алгоритма.

В настоящее время гидроакустический метод оценки запасов рыб получил широкое применение в мировой рыбохозяйственной науке. Использование гидроакустической информации, регистрируемой в процессе съемок непрерывно, дает дополнительные возможности по детализации пространственного распределения гидробионтов, выявления тонкой структуры вертикального распределения и суточных вертикальных миграций морских объектов.

Гидроакустические исследования в ТИНРО-Центре как элемент комплексных экосистемных исследований биоресурсов в настоящее время сконцентрированы на развитии методической основы и технологий гидроакустического метода оценки запасов гидробионтов; создании новых информационных технологий сбора, накопления и первичной обработки акустических измерений; методов и моделей тематической обработки ретроспективной гидроакустической, биологической и океа-

нологической информации; ведении архивов и интегрированных баз данных гидроакустических и сопутствующих измерений.

Последовательное выполнение работ по гидроакустическому мониторингу гидробионтов, накопление многочастотных акустических данных, развитие алгоритмических и программных средств обработки этих данных позволяют ставить и развивать исследования в области видовой идентификации и эхоинтеграционных оценок не только традиционных объектов, но и нерыбных объектов, например макропланктона и медуз. Для решения этих задач используются соответствующие математические методы. Существенный интерес здесь представляют исследования характеристик пространственного распределения, особенностей поведения и суточных вертикальных миграций зоопланктона, являющегося основным объектом питания многих промысловых рыб.

В 2003 г., впервые в ТИНРО-Центре были спланированы и проведены экспериментальные работы по оценкам зоопланктона с использованием эхолотов СИМРАД ЕК-500. Целью этих работ являлось исследование возможностей научного эхолота ЕК-500 для регистрации и оценки пространственного распределения и суточных вертикальных миграций крупной фракции зоопланктона по результатам гидроакустических измерений на частотах 120 и 38 кГц и их комбинирования на основе многочастотного алгоритма.

Акустические эхоинтеграционные измерения выполнялись непрерывно в период рейса НИС «ТИНРО» при проведении летней и осенней комплексной съемки верхней эпипелагиали западной и северо-западной части Берингова моря. Измерения выполнялись в российской экономической зоне за пределами 12-мильной территориальной зоны.

Алгоритм двухчастотного метода [1] реализован в программе многочастотного анализа эхограмм FAMAS_MF и позволяет производить оценку средней длины, мм, и плотности, экз./м^3, крупноразмерных фракций зоопланктона. В данном рейсе при обработке акустических данных использовалась модель акустического рассеяния для эвфаузиид [2].

При использовании данной модели предполагается, что одноразмерный состав планктона доминирует в общем рассеянии, но размер его неизвестен и может изменяться. Радиус эквивалентной сферы *a* для доминирующих рассеивателей определяется в этом случае как:

$$(ka)^4 = \frac{2}{3}\left[\frac{r^4 - R}{r^2(R-1)}\right],$$

где $k = \frac{2p \cdot f_m}{c}$ – волновое число, *c* – скорость звука, м/с;

$$f_m = \left(f_{120} \times f_{38}\right)^{0,5}, \; r = \frac{f_{120}}{f_{38}} \quad \text{и} \quad R = 10^{\frac{Sv(120) - Sv(38)}{10}}.$$

Размер организмов рассчитывается с использованием регрессионного выражения для эвфаузиид [2], мм:

$$l = \frac{a - 0{,}095}{0{,}134}.$$

Для рассчитанного радиуса эквивалентной сферы *a* акустическое сечение обратного рассеяния σ_d доминирующих рассеивателей определяется как

$$y_d = 1{,}5 \cdot 10^{-2} \cdot a^2 \cdot \frac{2(ka)^4}{2 + 3(ka)^4},$$

а эквивалентная сила цели вычисляется из выражения

$$TS_{eq} = 10 \cdot \log\left(\frac{y_d}{4p}\right).$$

Численность рассеивателей определяется из выражения, связывающего силу цели *TS* и величину объемного рассеяния *Sv* для каждой из частот и определяется как геометрическое среднее для результатов по обеим частотам N_f:

$$N_f = 10^{\frac{(Sv(f) - TS_{eq})}{10}}.$$

Двухчастотный алгоритм может быть успешно применен для оценки зоопланктона больших размеров – порядка 10 мм и выше. К таким объектам относятся в первую очередь эвфаузииды, а также крупные амфиподы, копеподы и сагитты. Как известно, макропланктон совершает крупномасштабные суточные вертикальные миграции, при этом наиболее активными мигрантами являются эвфаузииды и амфиподы [3]. Особенно явными суточные перемещения макропланктона становятся в летний период, когда ночью планктон обитает в приповерхностных горизонтах, а днем уходит из верхних слоев. При этом если на шельфе весь планктон регистрируется эхолотом в любое время суток, то в глубоководных котловинах значительная часть планктеров в светлое время суток опускается из эпипелагиали на глубины более 200 м, где возможности регистрации планктона на частоте 120 кГц ограничены маскирующим шумом. С учетом столь широкого диапазона вертикальных миграций макропланктона горизонтальные распределения плотности зоопланктона в глубоководной части моря построены на основе данных акустических измерений, выполненных только в темное время суток.

Необходимо отметить, что приведенные в статье результаты являются экспериментальными, направленными большей частью на изучение возможностей использования гидроакустического метода для оценок распределения и миграций крупных фракций зоопланктона.

Пространственное распределение планктона. В глубоководной части обследованной акватории Берингова моря наиболее высокие концентрации макропланктона были зарегистрированы в эпипелагиали океанских вод (рис. 1, А), что, очевидно, связано с высокой продуктивностью этого района, вызванной подъемом вод в области циклонического круговорота к юго-западу от Командорских островов. Кроме этого, области с высокой плотностью зоопланктона зарегистрированы над материковым склоном и в прилегающих участках Командорской котловины. Значительные концентрации планктона тяготели к шельфу Карагинского и Олюторского заливов и южной части Корякского побережья. Такое распределение плотности планктона, очевидно, связано с высокой динамикой вод Камчатского течения, которое обеспечивает шельф и прилегающие глубоководные районы биогенными веществами, вызывающими обильное развитие фито- и зоопланктона с последующей концентрацией в водах шельфа и в циклонических круговоротах, способствующих формированию зон повышенной концентрации зоопланктона над глубоководной частью акватории съемки.

Пространственное распределение планктона на шельфе в северо-западной части Берингова моря в значительной степени определялось водами теплого Наваринского течения. Основные концентрации планктона были расположены в области затока вод Наваринского течения в Анадырский залив с центром концентрации к востоку от мыса Наварин (рис. 1, Б, В). При этом часть скоплений с максимальной плотностью планктона оказалась в зоне конвергенции основной ветви Наваринского течения и северо-западного потока. Другая – совпадала с вдольбереговой ветвью Наваринского течения, направленной на север к заливу Креста, где планктон накапливался в циклонических вихрях северных прибрежных районов Анадырского залива. Такое тяготение повышенных концентраций зоопланктона к водам Наваринского течения означает, что либо планктон заносится этими водами из глубоководной части моря, либо здесь образуются собственные зоны повышенной продуктивности, связанные с динамикой относительно теплых вод Наваринского течения.

Помимо пятнистости горизонтального распределения, планктон в северо-западной части Берингова моря был неравномерно распределен и по глубине. В приповерхностном слое 0-50 м плотность планктона была невелика, примерно того же порядка, что и в Алеутской котловине (рис. 1, А, Б). Основная часть планктеров была сосредоточена ниже 50 м от поверхности (рис. 1, В). Структура вертикального распределения плотности демонстрирует тяготение основных концентраций зоопланктона к придонным горизонтам (рис. 1, Г). В водах внешнего шельфа планктон держался преимущественно в нижней части пелагиали в слое 60-150 м; на среднем и верхнем шельфе планктон был сконцентрирован непосредственно у дна в достаточно узком диапазоне глубин 35-40 м.

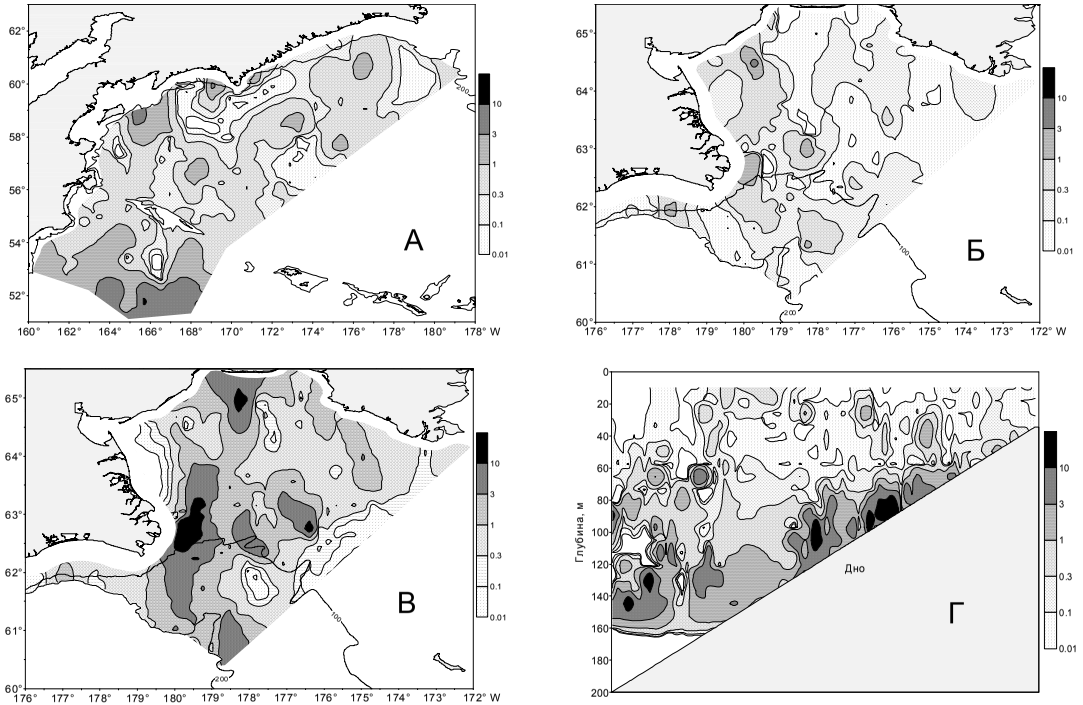


Рис. 1. Пространственное распределение плотности зоопланктона, экз./м^3: А – западная часть Берингова моря (темное время суток, усреднение в слое 0-100 м); Б – северо-западная часть Берингова моря, слой 0-50 м; В – то же, слой 50 м-дно; Г – то же, вертикальное распределение

Распределение макропланктона в глубоководной части акватории съемки по результатам акустических измерений в общих чертах неплохо согласуется с аналогичным распределением биомассы крупной фракции зоопланктона, построенной по результатам планктонных станций, сетью БСД в слое 0-50 м. Некоторые различия, например, отсутствие плотных концентраций макропланктона в океанских водах по уловам сетью БСД, могут быть связаны с временем взятия проб, часто приходящимся на светлое время суток, тогда как для построения акустического распределения планктона брались данные только ночных измерений. Кроме этого, распределение планктона по акустическим оценкам имеет более контрастную пространственную структуру из-за большего количества точек, по которым выполнялись построения.

На шельфе северо-западной части Берингова моря пространственное распределение планктона в слое 0-50 м по измерениям эхолота было в общем сходно с результатами облова сетью. Однако в диапазоне 0-200 м на распределении по уловам сетью БСД не было таких концентраций планктона, как по данным акустических измерений в слое ниже 50 м. Это объясняется, видимо, тем, что большая часть планктона на акватории Анадырского залива была зарегистрирована эхолотом непосредственно в придонном слое, где его облов вертикальной сетью затруднен технически.

Сравнение пространственных распределений макропланктона, построенных обоими методами, показывает, что в некоторых ситуациях метод акустических измерений обладает определенными преимуществами по сравнению с возможностями планктонных станций, например, в части непрерывности регистрации и учета придонных скоплений планктона, поэтому есть основания полагать, что после соответствующих калибровок оба метода могли бы взаимно дополнять друг друга.

Вертикальные миграции. Возможности эхолота ЕК-500 и программного обеспечения FAMAS позволяют достаточно точно оценить пространственную структуру и параметры вертикальных миграций зоопланктона в реальном масштабе времени (рис. 2). Единственным ограничением является диапазон глубин, в котором уровень шума на антеннах эхолота не превышает порог обнаружения эхосигналов планктона. Для частоты 120 кГц он достаточно мал: при движении судна на полном ходу максимальная глубина регистрации зоопланктона на фоне шумов составляет около 120 м.

Для исследования особенностей вертикального распределения зоопланктона на границе светлого и темного времени суток использовалась средневзвешенная по плотности глубина местоположения планктона с интервалом интегрирования 0,1 мили и с шагом по глубине 5 м. Распределение средневзвешенных глубин достаточно хорошо аппроксимируется полиномиальной зависимостью, по которой рассчитывалась скорость подъема (спуска) планктона.

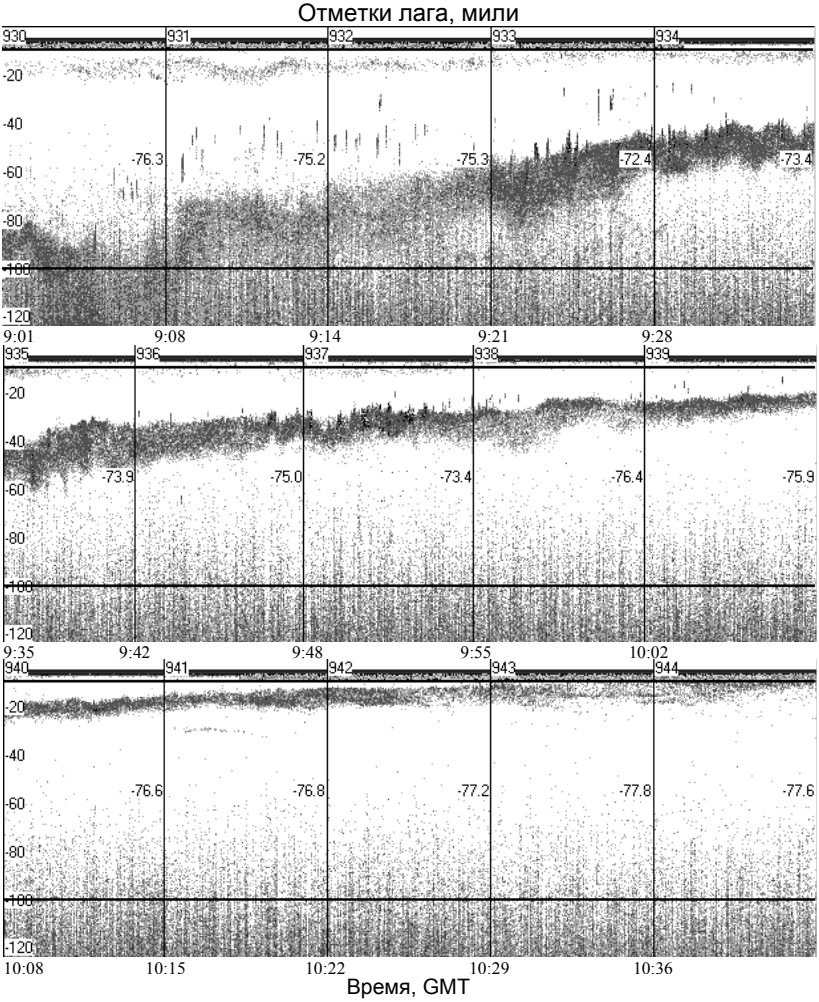


Рис. 2. Акустические изображения суточных вертикальных миграций зоопланктона в океанских водах (южнее Командорских островов). Переход день-ночь, июль 2003 г.

Вертикальные миграции зоопланктона подчинялись строгой суточной цикличности. На границе дня и ночи была характерна степенная зависимость глубины местоположения планктона от времени суток (рис. 3). Скорость подъема планктона, максимальная в нижних горизонтах (около 2 м/м), по мере приближения к поверхности замедлялась и

становилась минимальной в пределах верхнего термически квазиоднородного слоя.

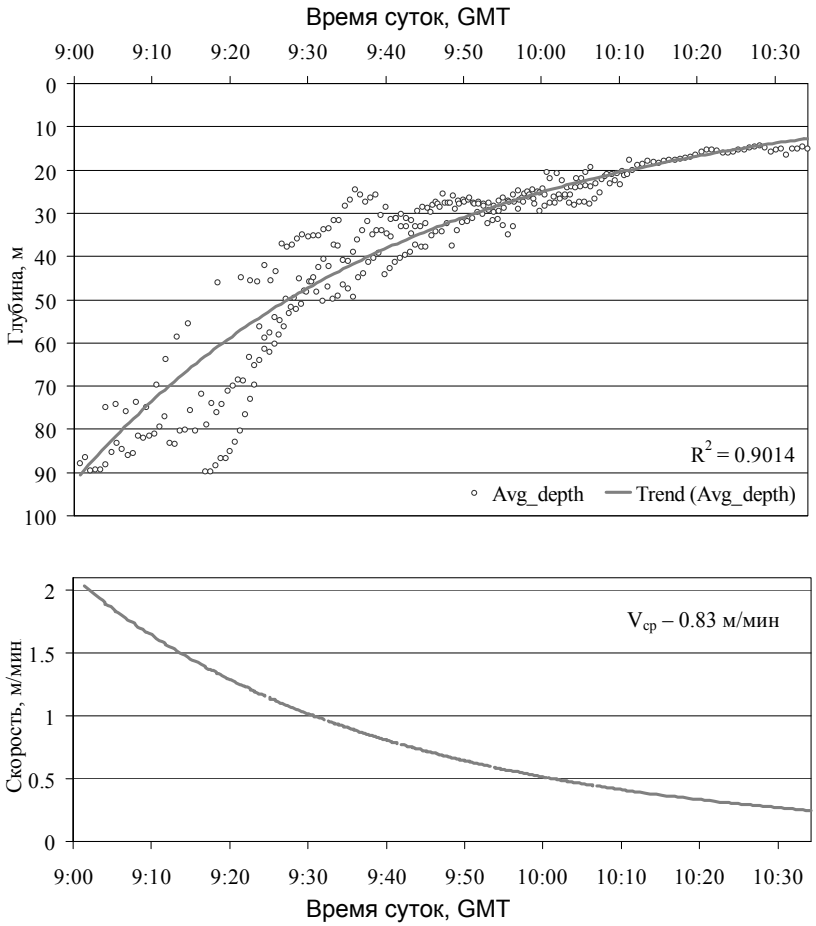


Рис. 3. Вертикальные миграции зоопланктона на границе светлого и темного времени суток по данным акустических измерений в районе Командорских островов, июль 2003 г.

Спуск планктона был более сложен и подчинялся полиномиальной зависимости. На рассвете опускающийся планктон задерживался у верхней границы слоя термоклина. Скорость спуска при этом уменьшалась до нуля, а затем плавно нарастала до максимального значения и в нижних слоях снова снижалась (рис. 4). Таким образом, во время опус-

кания скорость планктеров варьировала от 0 до 2 м/м, однако в среднем скорость погружения в горизонтах до 100 м была выше, чем скорость подъема.

На глубинах 100-120 м и более планктон опять задерживался, образуя при этом плотные скопления, частично маскируемые шумом, которые могли находиться на этих глубинах довольно продолжительное время (20-60 м) и затем медленно уходили в нижние горизонты. При благоприятных условиях плотные слои планктона можно было наблюдать на фоне шумов на глубинах до 150 м.

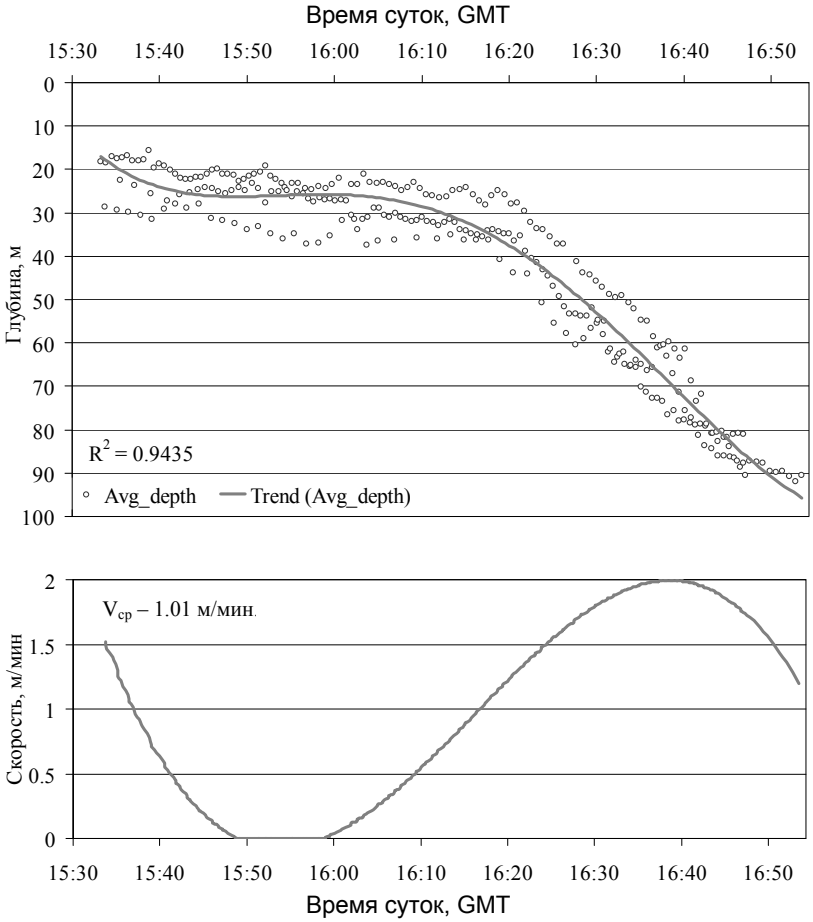


Рис. 4. Вертикальные миграции зоопланктона на границе темного и светлого времени суток (переход ночь-день). Район Командорских островов, июль 2003 г.

Библиографический список

1. *Greenlaw C.F.* Acoustical estimation of zooplankton populations // Limnol. Oceanogr., 1979. V. 24(2). P. 226-242.
2. *Greenlaw C.F.* Backscattering spectra of preserved zooplankton // J. Acoust. Soc. Am., 1977. V. 62. P. 44-52.
3. *Шунтов В.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Дулепова Е.П.* Минтай в экосистемах дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО, 1993.

УДК 534.883:639.2.081.9

ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОВЕДЕНИЕМ РЫБ В РЫБОВОДСТВЕ

Ю.А. Кузнецов, В.В. Поленюк, Дальрыбвтуз; М.Ю. Кузнецов, ТИНРО-Центр, Владивосток

В статье обсуждаются возможности использования гидроакустических технологий для сохранения рыб заводского выращивания в естественной среде обитания и защиты пополнения (нереста) проходных объектов, включающих технические средства дистанционного управления движением рыб и инструментальные средства дистанционного контроля объектов выращивания или нереста. Такой гидроакустический комплекс, состоящий из дистанционных (бесконтактных) средств пассивного контроля и активного воздействия на рыб, позволит автоматизировать процесс управления поведением объектов выращивания (нереста), контроля перемещения и наращивания биомассы нагуливающихся рыб, что может существенно повысить эффективность рыбоводства.

Интенсивное освоение морских биоресурсов часто приводит к необратимым последствиям. Депрессии многих промысловых стад в большинстве случаев связаны с совокупным влиянием промыслового пресса и неблагоприятными условиями нереста и инкубации, особенно объектов, нерестящихся в прибрежных районах. Поэтому для восстановления естественных популяций гидробионтов в условиях изменения среды обитания и биотопической деградации рыбохозяйственных водоемов особое значение приобретают возможность пространственного регулирования ряда биологических процессов и правильно организованная защита мест нагула и нереста рыб.

В настоящее время существуют хорошо развитые технологии выращивания посадочного материала на рыбоводных заводах и в питомниках. Однако дальнейшее расселение рыб, например, при выпуске молоди в морскую бухту или в закрытый водоем на пастбищное подращивание, сопровождается большими потерями численности интродук-

ции. При этом часто причиной потери заводской молоди является использование пастбищной группировкой акватории с недостаточной кормовой базой, неблагоприятными гидрологическими условиями, наличием хищников, отсутствием убежищ, защиты от штормов и т.п.

Кроме этого, значительное влияние на пополнение многих промысловых объектов, например проходной сельди, корюшки и других, нерест которых проходит в прибрежной зоне, оказывают условия их воспроизводства. В результате антропогенного воздействия (загрязнения акваторий традиционного нереста) или природных факторов (низкие температуры, ледовый покров, слабая кормовая база в период нереста рыб) нередко наступает гибель всей отложенной икры или выклюнувшихся личинок.

Для сохранения рыб заводского выращивания в естественной среде обитания и защиты пополнения проходных объектов в существующей системе рыбоводства, на наш взгляд, необходим дополнительный технологический блок, включающий комплекс мер и технических средств бесконтактного (дистанционного) управления движением рыб для направления и удержания объектов выращивания или нереста на благоприятных для нагула и нереста участках водной акватории до конца нагула или нереста, а также инструментальных средств дистанционного контроля объектов выращивания или нереста.

Исследования влияния физических полей различной модальности (акустических, электрических, световых) на поведение рыб привели к решению ряда вопросов, связанных с дистанционными методами управления движением рыб и повышением за счет этого эффективности рыболовства, рыбоводства и охраны рыбных ресурсов.

Акустические поля являются не только частью окружающей рыб среды, но и в силу информационного характера одним из основных каналов связи и ориентации рыб в окружающей среде. Кроме этого, акустический канал связи у рыб обладает наибольшей по сравнению с другими каналами информационной пропускной способностью и к тому же является самым эффективным в отношении дальности действия и энергозатрат.

Поведение рыб в поле акустического раздражителя зависит, прежде всего, от характера звукового сигнала. Различают два вида воздействия звукового поля на рыб: энергетическое и информационное. При энергетическом воздействии звуковое поле вызывает у рыб болевые или другие неприятные ощущения в ближней от излучателя зоне и они стремятся уйти из опасной зоны. При этом реакция рыб полностью зависит от интенсивности и продолжительности излучения.

Информационное воздействие предполагает воспроизведение звуков биологического происхождения, сопровождающих внутри- и межвидовые отношения морских животных, или их имитацию. Реакции рыб на биологические сигналы более стабильны, направлены и избирательны, чем на звуки технического происхождения. Причем в зависимости от биофизического содержания имитируемой обстановки двигательные

реакции рыб проявляются в стремлении покинуть опасную зону (воспроизведение или имитация звуков хищников) или приблизиться к источнику (воспроизведение или имитация собственных звуков рыб). В связи с этим первостепенное значение приобретает выяснение сигнального значения издаваемых морскими животными звуков. Решение этой задачи дает возможность оценить роль акустического канала во внутривидовых и межвидовых отношениях биологических объектов и наметить пути разработки средств активного воздействия на поведение рыб с целью их практического использования в рыболовстве и рыбоводстве.

Именно поэтому разработке гидроакустических устройств для дистанционного воздействия на рыб предшествовало их тщательное биотехническое обоснование. В процессе работы были рассмотрены особенности акустической сигнализации и характеристики сигналов некоторых стайных промысловых рыб и хищных китообразных. Показана ответственность структур слуха за восприятие и ориентацию, проанализированы механизмы звукообразования открытопузырных рыб и дельфинов.

Как известно, определенную поведенческую реакцию можно вызвать, воздействуя на животное эффективными (значимыми для животного) стимулами [1]. Поэтому необходимо было выбрать из большого числа внешних раздражителей ключевой раздражитель, удовлетворяющий внутренним потребностям организма и вызывающий у рыб адекватную двигательную реакцию.

Существующие способы акустического воздействия для привлечения рыб к источнику звука базируются, в основном, на воспроизведении (имитации) звуков питания или движения объектов питания этих рыб с помощью электроакустических и механоакустических приманивающих устройств (например, разнообразных акустических рыболовных приманок).

По происхождению сигналы рыб подразделяются на две группы: излучаемые при помощи специальных органов (сигналы 1-го порядка) и возникающие непроизвольно в ходе поведенческих реакций (сигналы 2-го порядка), но имеющие для рыб определенное биологическое значение [2]. Звуки питания и движения рыб относятся к сигналам 2-го порядка («механические» звуки). При многократном воспроизведении этих звуков без подкрепления реакция движения на источник ослабевает и наступает адаптация. Кроме этого, эффективность воздействия стимулов, имитирующих звуки питания или движения рыб, зависит, прежде всего, от физиологического состояния объекта, ритмов его пищевой, двигательной, нерестовой активности. Например, голодные рыбы положительно реагируют на звуки питания, сытые – безразлично. Другой пример: лососи и сельди в преднерестовый период жизни практически не питаются, поэтому использование звуков кормления или движения объектов питания для привлечения этих рыб не будет иметь положительного эффекта.

В ходе экспериментов были выявлены сигналы, излучаемые с помощью специализированных морфологических структур и присутствующие на всех стадиях развития рыб. Установлено, что эти сигналы служат средством акустической сигнализации и поддержания внутристайного и межстайного контакта (связи) особей данного вида и по своему информационному содержанию являются для рыб безусловными раздражителями. Очевидно, что их излучение в среду, где находятся объекты того же вида, должно вызывать у них стереотипно-проявляющуюся поведенческую реакцию движением на источник звука.

Исследования позволили оценить параметры акустических стимулов, перспективных для дистанционного воздействия на поведение рыб различных видов и различных возрастных (размерных) групп. Выявлены закономерности поведения и реакции этих рыб в акустических полях биологического и технического происхождения. Природные стереотипы поведения и ориентации рыб и хищных китообразных были использованы в качестве биофизических моделей для обоснования и моделирования гидроакустических устройств привлекающего и отпугивающего действия. На основе гидробионических исследований и разработок нами были предложены гидроакустические средства информационного и энергетического воздействия на поведение рыб.

Ниже представлены несколько вариантов (способов) использования различных гидроакустических средств дистанционного управления поведением рыб в целях рыбоводства и рыбозащиты.

Сущность одного из способов заключается в том, что для направления рыбы в зону с благоприятными гидрологическими и кормовыми условиями в водную среду излучают информационные гидроакустические сигналы, имитирующие звуки хищных китообразных, в частности дельфинов, издаваемые ими при нападении на косяк рыб. При этом спектрально-энергетические и временные параметры излучаемых информационных сигналов формируют с учетом характеристик слуховой чувствительности рыб и выбирают в зависимости от видового (размерного) состава рыб на которые направлено воздействие. В качестве гидроакустических средств используются пневматические излучатели ПИ-имитаторы звуков дельфинов. Сигналы ПИ оказывают на стайных рыб отпугивающее действие, что вызывает направленное перемещение в благоприятную для нагула или нереста зону. В дальнейшем стационарно установленное заграждение из группы ПИ будет препятствовать выходу рыб из нагульной акватории.

ПИ-имитаторы звуков дельфинов были испытаны в качестве средства перекрытия хода производителей сельди на заморные участки в гавань Сибирь зал. Корфа. После работы ПИ отмечены значительное снижение активности нереста на заморных участках в северной части залива Корфа и перенос интенсивности нереста на благоприятные нерестилища в заливы Уала, Анапка и бухта Гека. Сравнение уловов контрольными неводами в заливе Корфа и бухте Гека указывает на смещение плотности заполнения нерестилищ на юг.

Другой способ является продолжением первого или может быть использован одновременно с первым для удержания нагульных рыб или искусственной концентрации производителей рыб на благоприятных для нагула и нереста участках водной акватории до конца нагула или нереста. Для этого в водную среду излучают информационные гидроакустические сигналы, имитирующие собственные звуки рыб, присутствующие на всех стадиях развития этих рыб и служащие средством акустической сигнализации и связи между особями в стае и между стаями данного вида. В качестве гидроакустических средств используются пневматические излучатели. Конструкцией ПИ-имитатора звуков рыб предусмотрена возможность регулирования параметров излучаемых звуков в зависимости от видового (размерного) состава рыб, на которые направлено воздействие. Сигналы ПИ привлекают рыб и удерживают на заданной акватории в течение длительного периода времени. Кроме этого, данный способ может быть использован для привлечения в зону облова и концентрации объектов выращивания в ней с последующим выловом, например, закидным неводом, ловушкой или ярусами.

Акваторию или водоем рыбоводного хозяйства во время нагула целесообразно оснастить современными инструментальными средствами пассивного контроля, позволяющими вести непрерывный акустический мониторинг водной акватории. В настоящее время гидроакустические приборы, обеспечивающие необходимые возможности, т.е. вести учет и выполнять количественные оценки численности и биомассы рыб – объектов выращивания – на основе методов эхоинтегрирования и эхосчета, представлены на рынке фирмами Simrad (Норвегия) и BioSonics (США).

Такой гидроакустический комплекс, состоящий из средств пассивного контроля и дистанционного воздействия на рыб, позволит автоматизировать процессы управления поведением объектов, контроля перемещения, что может повысить эффективность рыбоводных хозяйств.

Благоприятное антропогенное воздействие с использованием технических средств гидроакустики можно также применять на нерестовых стадах проходных рыб, например сельди. На рис. 1 предложена схема управляемого искусственного нерестилища. Устройство состоит из цилиндра *1*, выполненного из сетного полотна, закрепленного на обруче *2*. К цилиндру радиально прикреплены открылки *3*, выполненные из сетного полотна. К нижней подборе цилиндра и открылков прикреплены грузила *4*, а к верхней – поплавки *5*. В центре цилиндра укреплен ПИ-имитатор звуков сельди *6*, привлекающий рыбу. Якоря *7* служат для растяжки и укрепления нерестилища.

Устройство работает следующим образом. Нерестилище устанавливают в местах, где отсутствует естественный субстрат, но существуют благоприятные для нереста гидрологические условия и рельеф дна. Рекомендуемая высота сетного цилиндра 2-5 м, выбирают ее в зависимости от глубины места установки. ПИ устанавливают в центре цилиндра, чем обеспечивается эффект привлечения и искусственной концен-

трации производителей сельди вблизи садка с подготовленным «стерильным» субстратом. Рекомендуемое число открылков – 5-8, длина – 6 м, так как дальнейшее увеличение числа открылков и их длины вызывает трудности при транспортировке нерестилища.

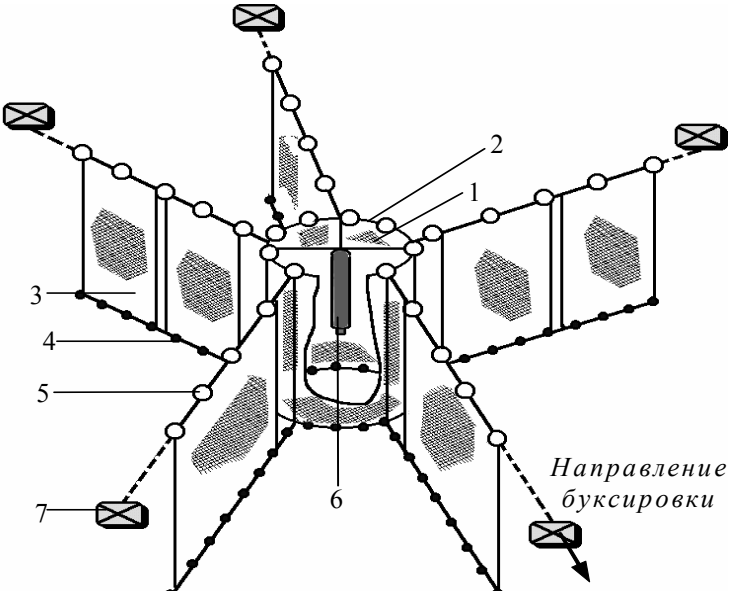


Рис. 1. Искусственное нерестилище для рыбы: 1 – сетное полотно; 2 – несущая конструкция; 3 – открылки; 4 – грузила; 5 – поплавки; 6 – ПИ; 7 – якоря

Нерестилище имеет пять открылков, и это хорошо согласуется с поведением производителей сельди в зоне действия ПИ, кроме того, на небольшом участке водной акватории создается оптимальная площадь искусственного субстрата. После нереста устройство можно транспортировать с малой скоростью на более глубокие участки, где условия для сохранения и развития икры лучше.

Для того чтобы сельдь во время нереста проходила по лабиринтам, образованным открылками, и при транспортировании нерестилища субстрат цилиндра и открылки не соприкасались, между ними оставлены зазоры шириной 1-1,5 м.

Конструкция нерестилища позволяет управлять практически всем процессом кладки икры и созревания эмбрионов: 1) регулирование многослойной кладки икры до оптимальной толщины путем искусственной концентрации производителей; 2) охрана икры от хищников после ее кладки; 3) регулирование сроков созревания и выклева транспортировкой нерестилищ на участки с благоприятной гидрологией.

Предложенная конструкция прошла сравнительные испытания на корфо-карагинской сельди и показала преимущества по отношению к другим традиционным нерестилищам тем, что производители сельди отдавали ей предпочтение.

На рис. 2 приведен один из вариантов функционирования ПИ на управляемом искусственном нерестилище.

В бухте Северная зал. Петра Великого действие искусственного нерестилища проверено на приморском стаде сельди, и способ концентрации производителей сельди использован в 1998 г. на нерестилище в зал. Славянский. До этого был поставлен опыт в апреле 1996 г. (третий ход производителей). На искусственном субстрате была достигнута кладка икры в 4-6 слоев, что соответствует оптимальной. В таблице приведены результаты анализа выживаемости икры сельди на искусственном и естественном субстратах нерестилища.

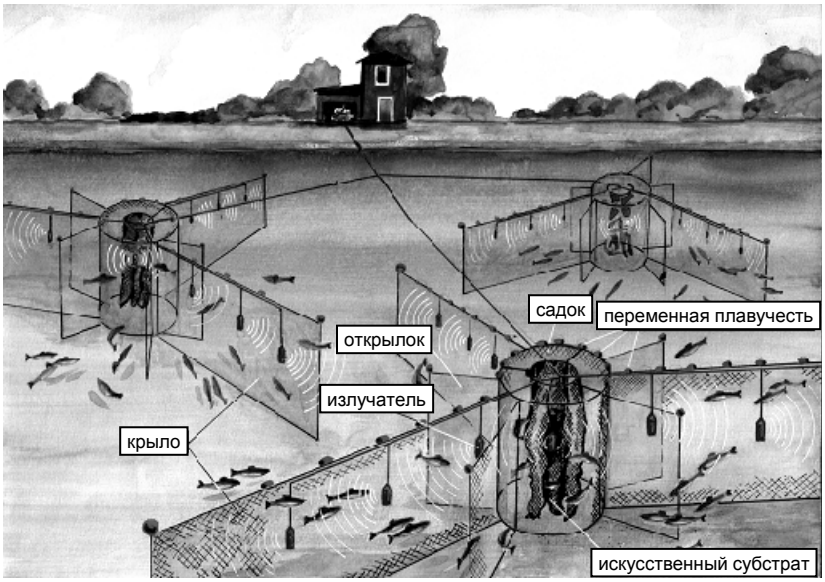


Рис. 2. Управляемое искусственное нерестилище сельди (вариант)

В сравнительном эксперименте по показателям обыкрения на искусственном субстрате (капроновая дель, ячея 20 мм) отложено икры в 9,7 раз больше, чем на естественном, а смертность на 2,9 % ниже. При соблюдении необходимых требований к технологии управления нерестом возможно увеличение количества сельди промыслового возраста (5 лет) до 1 ц с 1 м^2 искусственного субстрата, с естественных – только 0,07 ц.

Результаты анализа сравнительной выживаемости икры сельди на естественных и искусственных субстратах

Тип нерестилищ	Обыкрение на 1 м^2, шт.	Количество погибшей икры, шт.	Смертность, %
Естественные	152000	23000	13,5
Искусственные	1470000	174000	10,6

Еще одной из возможностей применения гидроакустических технологий дистанционного управления поведением рыб в рыбоводстве является необходимость отпугивания объектов выращивания от охраняемого участка, например, водозабора, водослива, заморных акваторий и т.д. Такой способ рыбозащиты и сохранения объектов выращивания рыбоводных станций основан на создании мощного акустического поля на пути движения рыб к водозаборному гидросооружению с помощью системы подводных излучателей типа «Пневмопушка» (рис. 3).

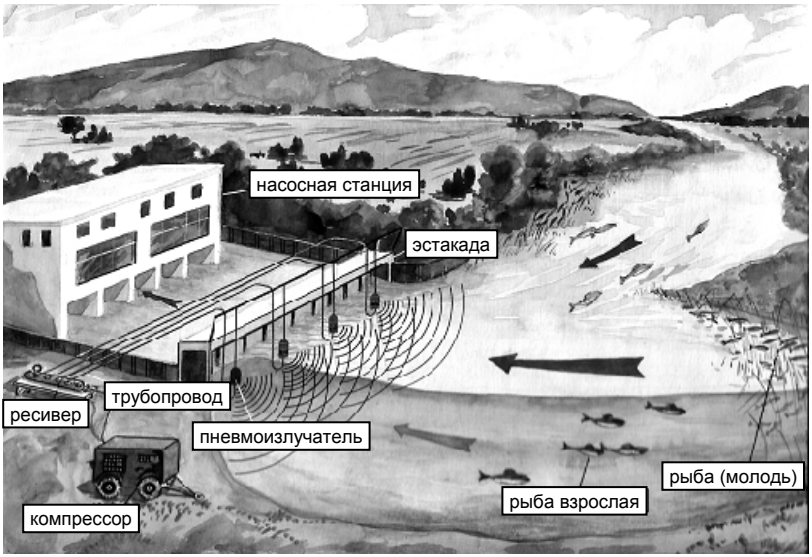


Рис. 3. Схема применения и функционирования РЗУ

Источники импульсных звуковых и сейсмических сигналов энергетического воздействия испытаны в качестве рыбозащитных устройств (РЗУ) на водозаборах Приморской ГРЭС и Новосельской насосной станции на оз. Ханка.

В результате изучения эффективности воздействия пневмоизлучателей на молодь и взрослых рыб обнаружено их активное стремление

покинуть зону действия источника, затаиться в растительности или уйти в ближайшую заводь. Достаточно высокий защитный эффект достигнут на молоди и взрослых рыбах в потоке воды до 13,2 см/с. На формирование поведения рыб в поле пневмоизлучателей оказывают влияние течения, суточная ритмика активности, освещенность и другие факторы. Но в целом опытные испытания РЗУ показали целесообразность использования генераторов сейсмических волн при проектировании водозаборов и других гидротехнических сооружений на рыбоводных станциях.

Библиографический список

1. *Мантейфель Б.П., Павлов Д.С., Ильичев В.Д., Баскин Л.М.* Биологические основы управления поведением животных // Экологические основы управления поведением животных. М.: Наука, 1980. С. 5-24.

2. *Протасов В.Р.* Поведение рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1978. 295 с.

УДК 597.08.632.2

ПРОМЫСЕЛ РЫБ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ЯРУСАМИ

А.Л. Максимович, Управление рыбного хозяйства Приморского края, Владивосток

Дается описание конструктивных особенностей вертикального и кольцевого ярусов. Приводятся результаты испытаний ярусов на промысле донных и придонных рыб в Японском и Охотском морях.

Эффективная эксплуатация биоресурсов Мирового океана осложняется неравномерностью их распределения по всей акватории, так как порядка 90 % рыб, доступных для ярусного лова, сосредоточены в районе прибрежных шельфов, при этом общая площадь покрывающих их вод составляет около 10 % (Гульбадамов и др., 1981).

В настоящее время на Дальнем Востоке все увереннее развивается донный ярусный промысел. Современное развитие крючкового лова рыбы показывает, что нельзя использовать только одну традиционную схему донного ярусного промысла, заключающуюся в выставлении многокилометровых порядков. Не всегда и не везде она дает нужный результат. В прибрежной зоне морей имеется множество локальных районов с тяжелыми и скалистыми грунтами, над которыми образуются промысловые скопления ценных промысловых рыб, пригодных для ярусного лова. Однако площадь многих таких банок едва достигает 0,5 квадратной мили. Эти условия затрудняют, а в большинстве случаев делают невозможным применение длинных донных ярусов.

Для облова скоплений на ограниченных акваториях в 80-х годах прошлого столетия были проведены экспериментальные работы в Охотском море, в прибрежной зоне о. Завьялова и в зал. Петра Великого вертикальным крючковым ярусом. Результатами этих исследований явились разработка и создание комплекса устройств, позволяющих успешно добывать рыб вертикальными и кольцевыми ярусами практически со всех типов судов, ведущих прибрежный промысел.

На первоначальном этапе выполнения работ при лове вертикальными и кольцевыми ярусами применялись бортовые ярусные машины, обеспечивающие механизированный спуск и подъем яруса.

Технические характеристики ярусовыборочной машины следующие: тяговое усилие – 500 Н, скорость выборки яруса – 705 м/мин, питание электродвигателя от сети переменного трехфазного тока 220 В, мощность двигателя – 0,55 кВт и масса с фундаментом – 50,9 кг. Управление машиной осуществлялось при помощи пакетного или ножного выключателя.

В состав комплекса, кроме ярусовыборочной машины и комплекта вертикальных ярусов для лова различных видов рыб (треска, камбала, терпуг), входила кассета, предназначенная для хранения сменных хребтин яруса, запасных крючков, деталей оснастки яруса. В ней предусмотрены специальные разделочные доски. Кассета является своего рода рабочим столом для ловца. Применение кассеты удобно при работе особенно при интенсивном лове, так как все элементы яруса находятся под рукой.

Машины для выборки ярусов и кассеты устанавливаются по обоим бортам судна на фальшборте. Для примера на судах типа МРС-150 может быть установлено до восьми, а на судах типа РС-300 – до двенадцати машин. Крепление машин и кассет к фальшборту очень простое, и в любой момент они могут быть легко демонтированы.

Вертикальный ярус состоит из двух составных частей: основного троса, намотанного на барабан машины, и рабочей части – хребтины с поводцами и крючками. Хребтина съемная и соединяется с основным тросом при помощи карабина. К нижнему концу хребтины карабином подсоединяется грузило (рис. 1).

В комплект вертикального яруса входят грузила разной массы от 0,3 до 1,5 кг, которые меняются в процессе лова в зависимости от глубины места лова и скорости дрейфа судна. Количество крючков в вертикальном ярусе для лова трески может быть до 5 шт., а для лова окуневых рыб – до 15 шт.

Процесс лова происходит следующим образом: хребтина яруса опускается на заданную глубину, при этом основной трос свободно разматывается с барабана машины. Затем барабан стопорится, и ловец вручную подергивает основной трос. После определения наличия улова машина включается на «вира», и ярус выбирается. В момент подхода крючков к барабану машина останавливается, и хребтина с рыбой выбирается на палубу. При необходимости хребтина с уловом может отсоединяться от основного троса, а на ее место подключается заранее подготовленная хребтина с наживленными крючками.

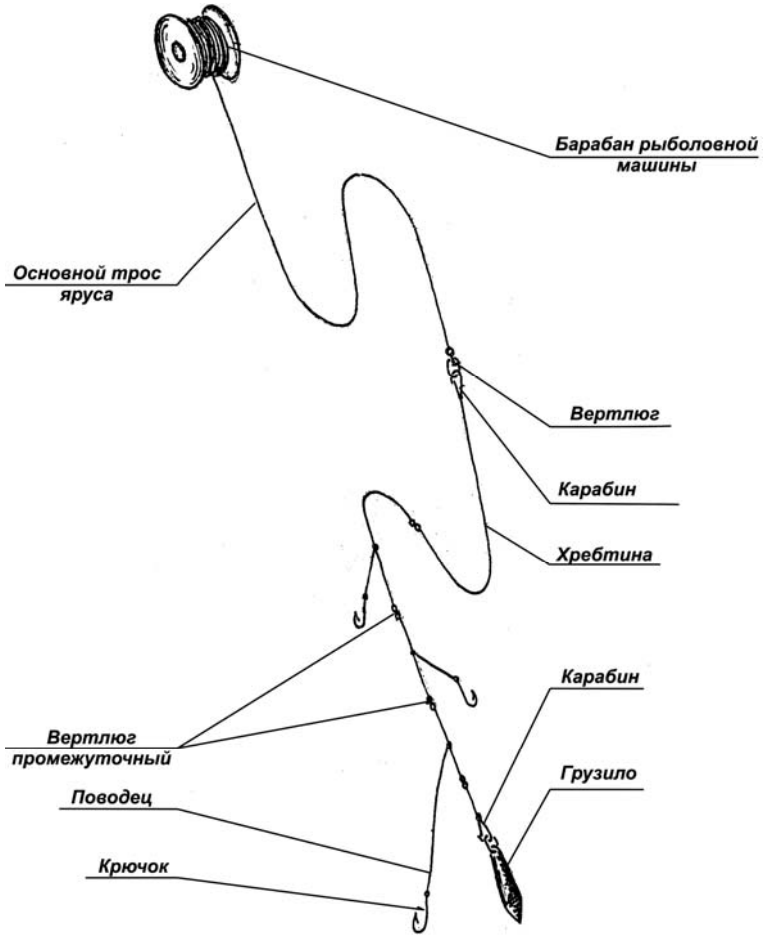


Рис. 1. Ярус крючковый вертикальный

Кольцевой ярус состоит из нескольких отдельных секций разной длины от 2 до 10 м, которые соединяются между собой при помощи карабинов в одну бесконечную цепь – кольцо. Каждая секция представляет собой хребтину, на которой расположены на определенном расстоянии полиамидные вертлюги с короткими поводцами и крючками, между которыми закреплены небольшие свинцовые грузила, составляющие распределенную загрузку яруса.

Для упрощения конструкции кольцевого яруса и обеспечения надежности соединения поводца с крючком к хребтине разработано устройство

для подключения и отключения поводцов к несущему тросу, защищенное авторским свидетельством на изобретение (Максимович и др., 1983). Длина яруса (периметр кольца) определяется в зависимости от глубины лова, причем изменение длины кольцевого яруса происходит за счет включения в ярус или отсоединения от него отдельных секций.

Машины для выборки кольцевого яруса и рол устанавливаются на фальшборте (рис. 2) и позволяют вести лов рыбы непрерывно. При этом пойманная рыба отсоединяется от крючков в промежутке между ролом и машиной. Особенно эффективно применение кольцевого яруса на небольших глубинах при плотном скоплении рыбы.

В результате проведения предварительных приемных испытаний комплекса в районе Южного Приморья летом 1986 г. с судна типа МРС-150 за 15 дней было выловлено 5 т трески и терпуга. Максимальный вылов за сутки достигал 1,22 т. В июне-августе 1987 г. двумя судами типа МРС-150 за 29 промысловых суток было выловлено в среднем на судно по 23,5 т трески, терпуга и морского ерша. В большинстве случаев суточный вылов не превышал 1,0-1,5 тонны. Максимальное изъятие за сутки составило 3,65 т рыбы за 12 ч непрерывного лова.

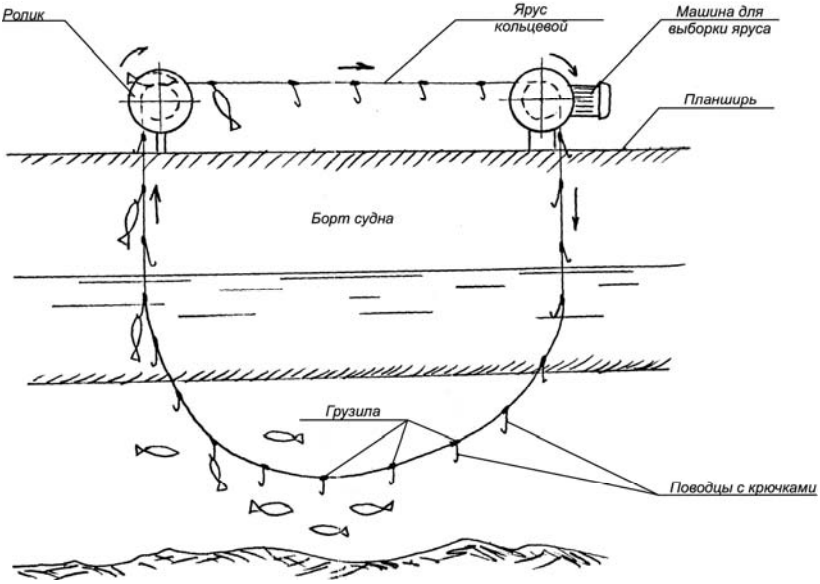


Рис. 2. Схема кольцевого яруса

Испытание комплекса во время лова морского ерша в непосредственной близости от берега на глубинах от 5 до 15 м показало, что применение вертикальных ярусов малоэффективно из-за потерь промы-

слового времени на обработку яруса с уловом. С целью повышения эффективности промысла и увеличения производительности труда нами была предложена схема непрерывного (кольцевого) лова ерша ярусом (рис. 3). В результате экспериментального лова летом 1986 г. морского ерша кольцевым ярусом в Охотском море с судна типа РС-300 были получены уловы до 62,5 кг рыбы в час.

В дальнейшем в целях автоматизации процессов вертикального ярусного лова был разработан и испытан комплекс «Вертикаль», в состав которого входила автоматическая рыболовная машина для лова рыбы вертикальными крючковыми ярусами, обеспечивающая автоматический спуск, подергивание, подъем яруса, поиск рыбы по горизонтам лова (рис. 3).

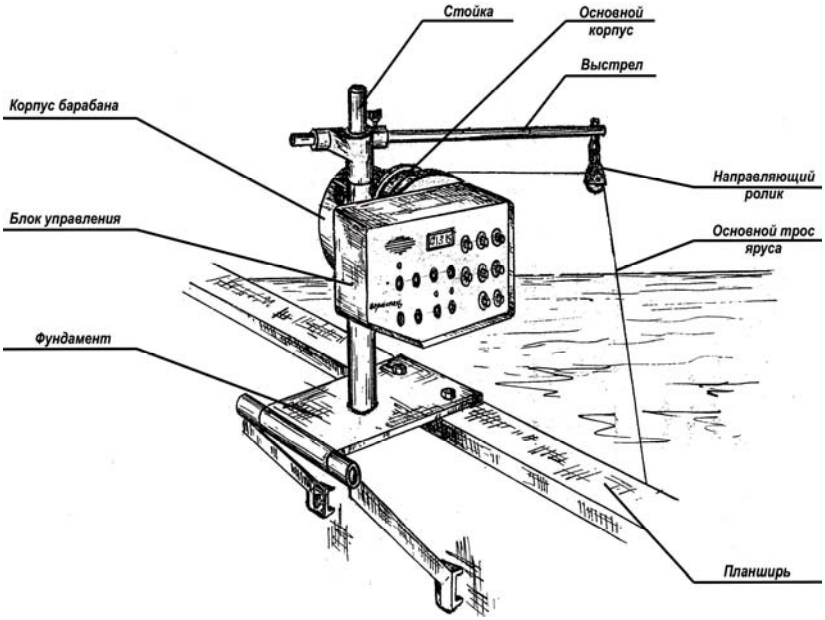


Рис. 3. Машина автоматическая рыболовная для лова вертикальными крючковыми ярусами

Анализ результатов исследований показал, что вертикальный и кольцевой ярусы имеют некоторые преимущества перед донным и придонным ярусами. Расход наживки из расчета на 1 т выловленной рыбы составил 15-18 кг. На промысле донным ярусом расход наживки составляет порядка 100-120 кг (Кокорин, 1994). По предварительным данным, расход топлива был примерно в 3,5 раза меньше, чем на лове донным ярусом.

Необходимо отметить, что в настоящее время вертикальные и кольцевые яруса используются в промышленных масштабах для промысла разных видов рыб во многих странах и постоянно совершенствуются. Дальнейшая перспектива совершенствования видится в разработке ярусов и их оснастке современными материалами, создании искусственных наживок с учетом поведения объектов лова и оснащении судов дополнительными устройствами, уменьшающими ветровой дрейф, совершенствовании и широком применении универсальных автоматических ярусовыборочных машин, способных облавливать вертикальными ярусами различные виды гидробионтов.

Библиографический список

1. *Гульбадамов С.Б., Кадильников Ю.В., Павлов К.Л.* Развитие техники морского рыболовства СССР // Рыб. хоз-во. 1981. № 9. С. 57-60.

2. *Кокорин Н.В.* Лов рыбы ярусами: Моногр. М.: ВНИРО, 1994. 423 с.

3. А.с. 986370 СССР. Устройство для подключения и отключения поводцов к несущему тросу / А.Л. Максимович, Ю.А Легконогов, В.Н. Симоненко. 1983. Бюл. № 1. 3 с. (Патент Российской Федерации на изобретение № 986370).

УДК 639.2.081

АНАЛИЗ УДЕРЖАНИЯ КРЮЧКАМИ ГИДРОБИОНТОВ НА ЯРУСНОМ ПРОМЫСЛЕ

Д.В. Мясников; Е.В. Осипов, Дальрыбвтуз, Владивосток

В работе определены основные характеристики крючков, влияющие на залавливание в момент заглатывания и пробы наживки гидробионтами.

В работах [1-4] приведены результаты исследований удерживающей способности различных типов крючков на ярусном промысле. Цель данной работы обобщить их и получить выражения удерживающей способности крючков.

В работе [5] проведен анализ выполнения конструктивных элементов крючков, однако связь с эффективностью залавливания гидробионтов не приведена. Рассмотрим три типа основных крючков, используемых на ярусном промысле гидробионтов (рис. 1).

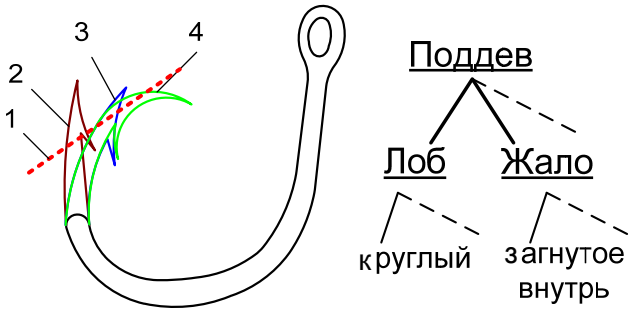
Анализ поведения гидробионтов [1, 2, 4] показывает, что для разных видов одинаково характерно следующее: рыба подплывает к наживке и пробует ее, медленно всасывая, а затем в ряде случаев выплевывает. При этом анализ зацеплений за разные типы крючков пока-

зывает, что гидробионты зацепляются в 60-70 % за губу крючками типа А; в 20-30 % – за губу и в 50-60 % – за челюсть крючками типа В; в 94-96 % – за челюсть крючками типа С.

а б в

Рис. 1. Основные типы крючков:
а – обычный (тип А); б – полукруглый (тип В); в – круглый (тип С)

Проведенный анализ системы «наживка – крючок» показал, что причиной высоких результатов уловов круглыми крючками является положение наживки (рис. 2, а). Таким образом, эффективна залавливающая схема крючка (рис. 2, б), все другие элементы крючка [5] выполняют другие функции.



а б

Рис. 2. Конструктивные особенности крючков: а – положение наживки на разных типах крючков: 1 – контур положения наживки на крючках типа А, В, С; 2 – тип А; 3 – тип В; 4 – тип С; б – дерево эффективных конструктивных параметров крючка (тип С)

Согласно схеме (см. рис. 2, б), крючок типа А имеет следующую показательную конструктивную схему $A \in [0;0]$, крючок типа $B \in [1;0]$, а крючок типа $C \in [1;1]$. Такая схематизация подтверждает результаты промысла [1, 2], где уловистость крючка типа С в два раза больше чем

у крючка типа А. Таким образом, удерживающая способность крючка характеризуется удержанием гидробионта на крючке в процессе его заглатывания и зависит в основном от конструктивных особенностей. При расчете коэффициента удержаний k^h крючок типа А примем за начальный, тогда $k_A^h = 1$. Для других крючков коэффициент удержания будем рассчитывать по формуле

$$k^h = k_A^h + \frac{\sum K^h}{n}, \qquad (1)$$

где k^h – значение показателей конструктивной схемы крючка; n – количество показателей.

В работах [1, 2, 4] рассматривается коэффициент уловистости k^u системы «наживка – крючок» для типа А – $k^u = 0{,}45 - 0{,}52$; типа В – $k^u = 0{,}67 - 0{,}75$; типа С – $k^u = 0{,}94 - 0{,}98$, где k^u приведены по отношению к крючку типа С.

Рассчитаем приведенные к крючку С значения k^h и средние значения k^u для каждого типа крючков (таблица).

Значения коэффициентов k^h и k^u

Коэффициент	Тип крючка		
	А	В	С
k^u средний	0,485	0,71	0,96
k^h приведенный	0,5	0,75	1
$k^h - k^u$	0,015	0,04	0,04

Коэффициент корреляции между значениями k^u и k^h $p_{x,y}$ = 0,9995, а среднее значение $k^h - k^u$ равно 0,032 и характеризует параметры наживки. Таким образом, коэффициент уловистости яруса можно найти по формуле

$$k^u = k^h + k^b, \qquad (2)$$

где $k^b \in [-1{,}0]$ – коэффициент уловистости крюка.

Для всего порядка яруса улов яруса находится по формулам:

$$U = k^u n; \qquad (3)$$

$$U = \sum k_i^u n_j, \qquad (4)$$

где n – общее количество крючков; n_j – количество крючков разных типов.

В ходе анализа удержания гидробионтов крючками, применяемыми на ярусном промысле, получена эффективная конструктивная схема крючка на основе поведения гидробионтов, подтвержденная результатами промысла. Получены уравнения и коэффициенты для определения удерживающей способности разных видов крючков.

Библиографический список

1. *Bjordal A., Løkkeborg S. Longlining*. Fishing New Books. University Press, Cambridge, 1996. 156 p.
2. *Кокорин Н.В*. Лов рыбы ярусами. М.: ВНИРО, 1994. 421 с.
3. *Кокорин Н.В*. Поведение рыб и эффективность ярусного лова. М.: ЦНИИТЭИРХ, 1985. Вып. 2. 80 с.
4. *Кокорин Н.В*. Влияние формы крючка на уловистость яруса: Экспресс-информ. М.: ЦНИИТЭИРХ, 1982. Вып. 11. С. 5-12.
5. *Габрюк В.И*., *Осипов Е.В.* Математическое, программное и информационное обеспечения инженера промысловика ярусного лова гидробионтов: Учеб. пособие. Владивосток: Дальрыбвтуз, 1998. 99 с.

УДК 639.2.081

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫДЕЛЕНИЯ АРОМАТА НАЖИВКИ

Д.В. Мясников; Е.В. Осипов, Дальрыбвтуз, Владивосток

Определены и классифицированы процессы выделения молекул запаха из тела наживки и предложены меры по обеспечению их интенсивности и продолжительности.

Несмотря на многочисленные исследования по ароматическим запахам наживки, в которых рассматриваются продолжительность выделения ароматических веществ наживки и их количество [1], форма ароматического следа наживки [2], однако непосредственные процессы выделения аромата наживки с учетом ее состояния в литературе не изучены. При этом практика эксплуатации ярусов при работе на разных глубинах, скоростях течений, с учетом времени застоя, качества наживки и ее механических характеристик показывают, что исследование процесса выделения запаха позволит раскрыть его особенности и регулировать процесс лова.

Распространение запаха наживки связано с выделением ароматических веществ (водорастворимых аминокислот) [1], которые за счет диффузии выходят из тела наживки (рис. 1).

Необходимо отметить, что диффузия происходит как при отсутствии потока, так и при его наличии. Чем меньше скорость, тем более равномерно и с большей глубины тела наживки происходит процесс диффузии аминокислот (рис. 2).

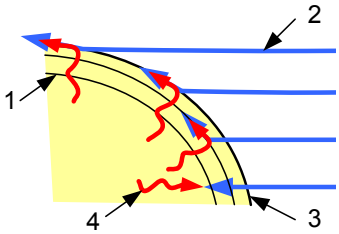


Рис. 1. Процесс выхода аминокислот из тела наживки: 1 – мышечная структура; 2 – линии тока, захватывающие ароматические вещества; 3 – внешняя часть наживки; 4 – диффузия ароматических веществ

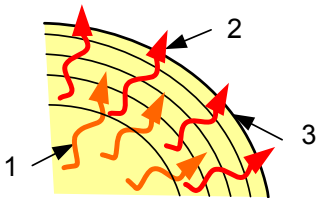


Рис. 2. Процесс диффузии аминокислот из тела наживки при отсутствии течения: 1 – подъем аминокислот к верхним тканям наживки; 2 – выход аминокислот из тела наживки; 3 – внешняя часть наживки

Это связанно с тем, что при наличии в верхних слоях тела наживки воды она создает преграду для выхода водорастворимых аминокислот, при этом растворение происходит непосредственно в теле наживки, что значительно медленней, чем на ее поверхности (рис. 3).

В случае плохой разморозки наживки перед постановкой яруса верхний ее слой размораживается быстрее и происходит заполнение его водой, которая имеет большую теплоемкость и не позволяет разморозиться наживке, что блокирует выход ароматических веществ из нее (рис. 4).

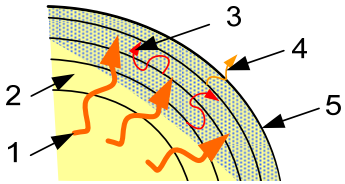


Рис. 3. Процесс диффузии аминокислот в теле наживки при наполнении верхних слоев водою: 1 – подъем аминокислот к тканям наживки наполненных водой; 2 – тело наживки, не наполненное водой; 3 – процесс перемешивания водорастворимых аминокислот в тканях с большим содержанием воды; 4 – выход аминокислот из тела наживки; 5 – внешняя часть наживки

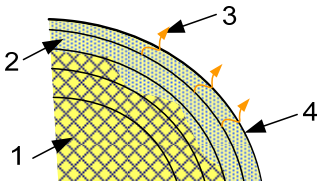


Рис. 4. Процесс диффузии аминокислот в теле наживки при размораживании в воде: 1 – замороженное тело наживки; 2 – тело наживки, наполненное водой; 3 – выход аминокислот из тела наживки; 4 – внешняя часть наживки

Следовательно, процесс выхода ароматических веществ из тела наживки можно разбить на три состояния:

1 – при $0 \approx x_{str} < x_{str}^{cri}$, $t\,^{\circ}C > 0$ (см. рис. 2) – класс А;

2 – при $x_{str} \geq x_{str}^{cri}$, $t\,^{\circ}C > 0$ (см. рис. 3) – класс В;

3 – при $t\,^{\circ}C \geq 0$ (см. рис. 4) – класс С,

где x_{str} – скорость течения; x_{str}^{cri} – критическая скорость течения.

Сопоставим полученные описания процессов выделения ароматов наживки с практическими результатами эксплуатации ярусов. В работе [3] отмечено, что на практике при увеличении скоростей течений уловы падают, это можно отнести ко второму состоянию. Также уловы падают при использовании слабо размороженной наживки, что можно отнести к третьему состоянию.

Таким образом, единственным оптимальным состоянием наживки является первое, при этом с течением времени уменьшается количество ароматических веществ (рис. 5), которое можно описать уравнением

$$\dot{x} = k(x)x, \tag{1}$$

где x – количество ароматических веществ в теле наживки в предыдущий момент времени, ч; $k(x)$ – коэффициент, характеризующий интенсивность изменения количества ароматических веществ, который можно выразить линейным уравнением $k(x) = a - bx$, тогда

$$\dot{x} = ax - bx^2, \tag{2}$$

где a, b – коэффициенты, зависящие от вида наживки.

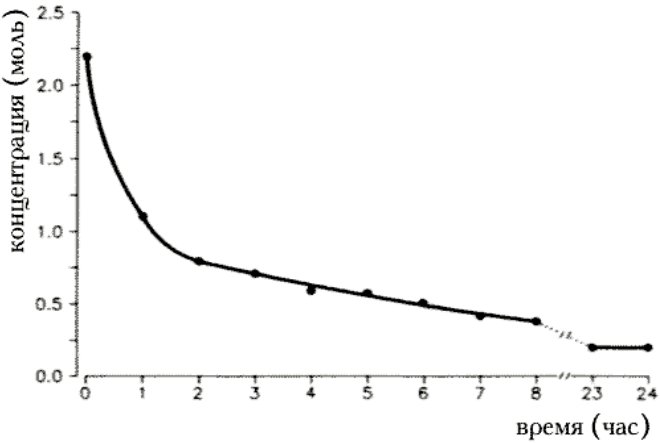


Рис. 5. Выделение ароматических веществ (аминокислоты) из макрели [1]

Представим классификацию процессов выделения аромата наживки в виде диаграммы классов (рис. 6).

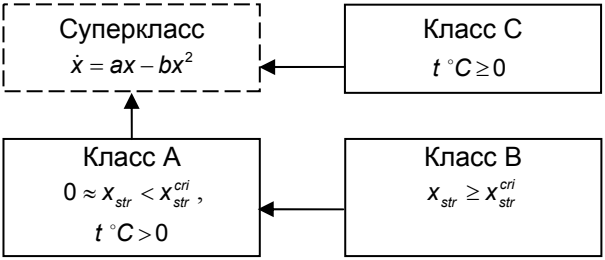


Рис. 6. Объектно-ориентированная классификация выделения ароматических веществ из тела наживки

Анализ классов позволяет определить направления по совершенствованию использования наживок на промысле и технологической обработки наживок перед постановкой, которые заключаются в необходимости обеспечить возможность увеличения значения x_{str}^{cri}, чтобы состояние наживки не переходило из А в В:

1. Крепление нескольких поводцов с наживкой в одно место к хребтине, что успешно используется на промысле клыкача в районах с быстрым течением [4], это позволяет создать достаточное поле ароматических веществ.

2. Разработка препаратов, позволяющих при обработке ими наживки обеспечить равномерный выход ароматических веществ для больших значений x_{str}^{cri}, в этом случае можно уменьшить выход ароматических веществ в час.

3. Разработка искусственных наживок со специальной пористой структурой, обеспечивающей заданный выход ароматических веществ.

Библиографический список

1. *Løkkeborg S.* Rate of release of potential feeding attractants from natural and artificial bait. Fish. Res, 1990. 8. P. 253-261.

2. *Olsen S., Laevastu T.* Fish attraction to baits and effects of currents on the distribution of smell from baits. Proc. Rep. Northwest and Alaska Fisheries Center. Seattle, 1983. 45 p.

3. *Bjordal A., Løkkeborg S. Longlining*. Fishing New Books, University Press. Cambridge, 1996. 156 p.

4. *Кокорин Н.В.* Использование глубоководного яруса испанского типа модификации на лове антарктического (*D. mawsoni*) и патагонского (*D. eleginoides*) клыкачей моря Росса в сезоны 2002/03-2005/06 гг. / Успехи рыболовства. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2006. С. 164-179.

УДК 639.2.081.16

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЯЧЕИ ДРИФТЕРНЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ ЭКСТЕРЬЕРА ЛОСОСЕЙ

В.И. Сеславинский; В.Н. Аверков, ТИНРО-Центр, Управление рыбного хозяйства Приморского края, Владивосток

На основании материалов, полученных в экспериментальных рейсах, представлены биометрические характеристики горбуши, кеты и нерки (длина по АС; высота и толщина тела лососей и их соотношения). Определены коэффициенты посадки и размер ячеи сетного полотна для промысла исследуемых объектов.

Эффективность промысла жаберными сетями зависит от соответствия параметров сетного полотна биометрическим показателям объекта лова. К техническим характеристикам сетей относятся форма ячеи, отношение d/a и натяжения ниток. Биометрия рыб характеризуется формой поперечного сечения, углом конусности от рыла до спинного плавника, обхватом в районе жаберных крышек и в максимальном сечении. Процесс прохождения рыбы через ячею, а затем и ее захват зависит от усилия, развиваемого рыбой при попытке освободиться из сетей.

При захвате сетным полотном рыба до некоторого сечения OO_1 свободно проходит в ячею (рис. 1). Дальнейшее ее прохождение сопровождается смятием внешних покровов рыбы. Величина смятия зависит от упругости тела рыбы, ее массы и скорости движения. Так как

$$OC = OA/\sin \mu,$$

но чем меньше угол μ, тем больше надвинется ячея на тело рыбы. Угол μ определяется конусностью передней части рыбы и находится из выражения

$$\mu = \mathrm{arctg}\,(C_2 - C_1) / E,$$

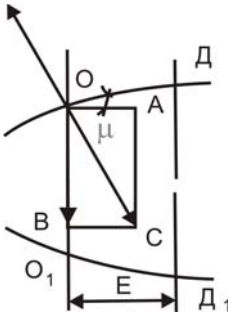


Рис. 1. Взаимодействие сил при прохождении рыбы сквозь ячею (по Толмачеву, 1981)

где C_1 и C_2 – обхваты в сечениях OO_1 и $ДД_1$.

Уловистость сетей зависит от натяжения нитей и соответствия коэффициента посадки ячеи экстерьеру рыбы (Баранов, 1969). Экспериментальными работами установлено, что большей уловистостью обладают сети с посадочным коэффициентом 0,4-0,5 (Толмачев, 1981). Натяжение ниток в сетном полотне определяется разностью между плавучестью и загрузкой подбор, а также гидродинамическим сопротивлени-

ем сетного полотна, прикрепленного к грунту. В практике рыболовства принимают, что натяжение ниток до 40 г не влияет на характер объячейки рыбы (Баранов, 1914). При работе дрифтерными сетями, движущимися совместно с потоком воды, можно не учитывать натяжение нитей под действием гидродинамического сопротивления.

Форма тела по длине лососей изменяется и характеризуется углом конусности по высоте и толщине тела. Конусность тела нерки, кеты и горбуши рассчитывали, делая шесть сечений, характерных при захвате рыбы сетным полотном и измеряя высоту, и ширину тела в этих сечениях, и расстояние между ними (рис. 2):

- сечение I-I на расстоянии от рыла рыбы $L_1 = L_2/2$;

- сечение II-II за жаберными крышками на расстоянии от рыла L_2. Угол конусности по высоте тела определяем как zh = arctg (H_2 - H_1) / 2 (L_2 - L_1), а угол конусности по толщине тела zb = arctg (B_2 - B_1) / 2 (L_2 - L_1);

- сечение III-III посередине между сечением по жаберным крышкам и максимальным сечением в начале спинного плавника на расстоянии от рыла рыбы L_3 = (L_4 - L_2) 2. Углы конусности по высоте и толщине тела определяем по формулам:

$$zh = \text{arctg}\,(H_3 - H_2) / 2\,(L_3 - L_2); \qquad zb = \text{arctg}\,(B_3 - B_2) / 2\,(L_3 - L_2);$$

- сечение IV-IV в начале спинного плавника на расстоянии от рыла L_4, сечение V-V посередине спинного плавника на расстоянии от рыла L_5 = (L_6 - L_4) / 2 и сечение VI-VI в конце спинного плавника на расстоянии от рыла L_6.

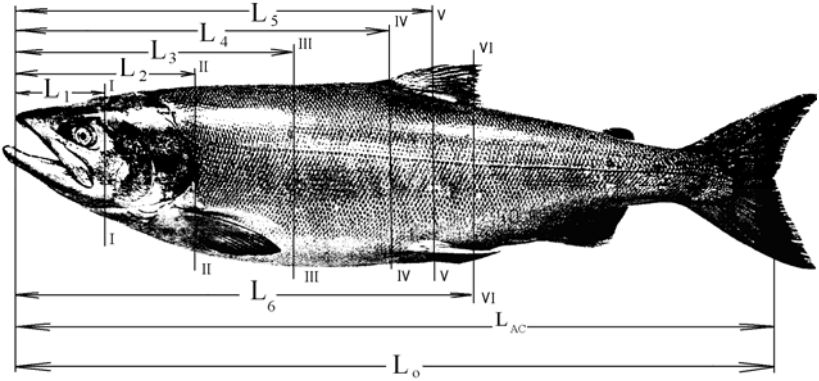


Рис. 2. Схема сечений тела лососей

Разметку сечений делали после легкой заморозки тушек, затем разрезали тушки ножовкой на определенном расстоянии от рыла. Сечения прикладывали к бумажному листу, на котором подписывали номер сечения и длину отрезанной тушки. Углы конусности в этих сечени-

ях определяли по вышеприведенным формулам с учетом расстояния от рыла до соответствующего сечения.

Пример сечения кеты длиной L_o = 490 мм с размерами сечений по длине L_i, высотой тела h_i и толщиной b_i приведен на рис. 3. Пятое и шестое сечения (см. рис. 2) на этом рисунке не представлены, так как в них наблюдается уменьшение размеров тела рыбы по высоте и ширине. В четвертом сечении в связи с отсутствием или малой конусностью туловища рыба удерживается в ячее за счет деформации внешних покровов и врезания нитей ячеи в тело лососей.

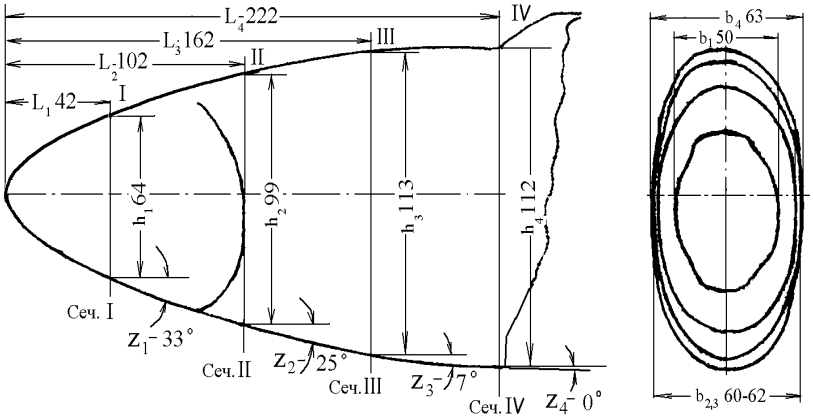


Рис. 3. Пример сечения туловища кеты длиной 490 мм

Проталкивание тела в ячею и дальнейшее перемещение ячеи в пятое сечение сопровождается уменьшением сил сжатия ячеи за счет уменьшения размеров сечения и появления отрицательной конусности тела. В этом случае возможно выпадение рыбы из ячеи.

Подобие тел лососей, в частности отношения длины тела от рыла до первого сечения L_1 ко всей длине тела L_o (L_1 / L_o) и длины тела от рыла до второго сечения L_2 / L_o, соответственно, и в последующих сечениях, позволяет это подобие распространять на близкие виды лососей. Наблюдается подобие размеров и, соответственно, отношений b_i / h_i в аналогичных сечениях по высоте и толщине рыбы: $L_1 / L_o = L_i / L_o = a$ = const для кеты, соответственно, $L_i / L_o = в$ = const для нерки и $L_i / L_o = c$ для горбуши. При близких значениях и равенстве $a = в = c$ можно говорить о подобии биометрических размеров для трех видов лососей (табл. 1).

Конусность передней части туловища исследуемых видов лососей максимальна в районе жаберных крышек или по приведенной классификации в сечении 2. В сечениях II-III наблюдается уменьшение конусности туловища (рис. 4). В четвертом сечении углы конусности уменьшаются до минимума, а в пятом и шестом сечениях наблюдается отрицательная

конусность тела. Для кеты, нерки и горбуши углы конусности по высоте тела z_1 и толщине z_2 отличаются от средних значений незначительно. Для исследуемых видов лососей зависимости $z_i = f\ (L\ /\ L_o)$ можно представить в виде углов конусности по высоте тела z_1 = 33,54 - 78,48 (L / L_o) с коэффициентом корреляции R = 0,993 и конусность по толщине тела в виде z_2 = 12,7 - 33,76 (L / L_o) с коэффициентом корреляции R = 0,971.

Таблица 1

Значения отношения L_i / L_o

Номера сечений	Отношение L_i / L_o в сечениях			
	Кета	Нерка	Горбуша	Среднее значение
1	0,08	0,08	0,09	0,08
2	0,18	0,19	0,21	0,19
3	0,31	0,31	0,33	0,32
4	0,43	0,42	0,45	0,43
5	0,48	0,48	0,52	0,49
6	0,55	0,54	0,58	0,56

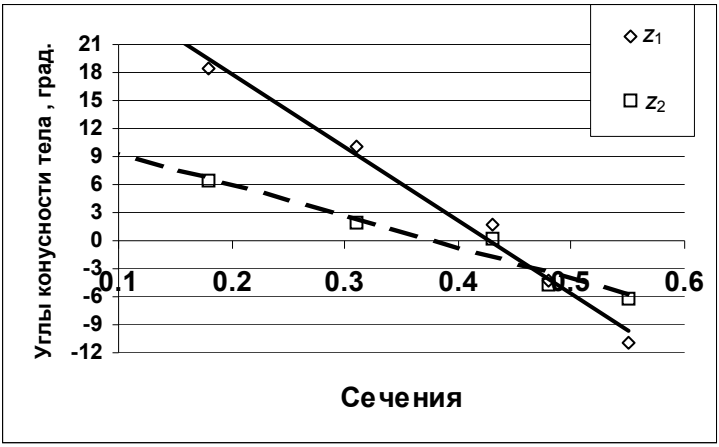


Рис. 4. Углы конусности передней части туловища лососей в зависимости от сечения

Эффективность промысла жаберными сетями зависит от соответствия посадочных коэффициентов ячеи сетного полотна экстерьеру отлавливаемой рыбы.

Экстерьер рыбы характеризуется высотой h и толщиной тела b, и с учетом этих параметров определяем коэффициент посадки:

$$u_x = \frac{b}{\sqrt{h^2 + b^2}}.$$

Форма тела лосося изменяется в зависимости от длины рыбы. В удержании тела лосося в ячее участвует передняя часть тела (см. рис. 2). В связи с подобием формы тел лососей отношение нарастающей длины тела L_i от одного сечения к другому ко всей длине тела L_o величина постоянная L_i / L_o = const. Между посадочными коэффициентами и расстоянием между сечениями рыбы имеется степенная зависимость (рис. 5). Для кеты зависимость имеет вид y = 0,24 + 0,17x - 0,32, для нерки y = 0,35 + 0,054x - 0,7 с коэффициентом корреляции R = 0,921. При настройке сетей для промысла горбуши можно воспользоваться формулой для определения коэффициента посадки в виде y = 0,40 + 0,017x - 1,04 с коэффициентом корреляции R = 0,929.

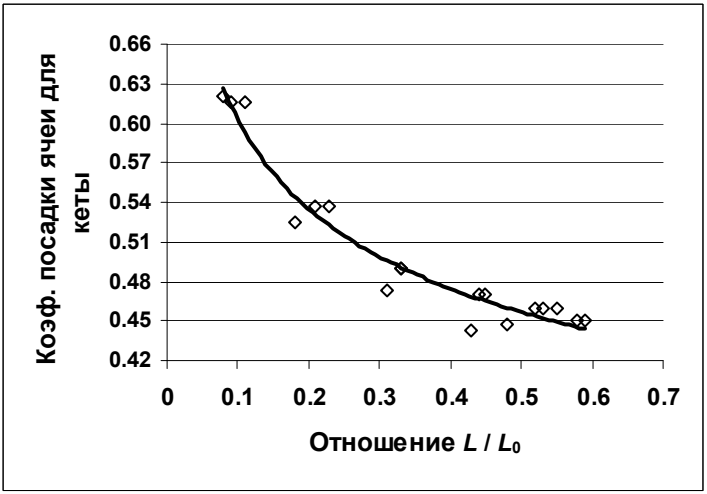


Рис. 5. Зависимость коэффициента посадки ячеи от длины кеты (R = 0,977, y = 0,24 + 0,17x - 0,32).

При специализированном лове, например, горбуши в Приморье, когда наблюдается небольшой прилов кеты, очевидно, посадочный коэффициент и размер ячеи следует выбирать из биометрических размеров доминирующего объекта лова. Посадочный коэффициент сетного полотна принимаем с учетом экстерьера рыбы в максимальном сечении, который для горбуши равен U_x = 0,44, для кеты 0,47, а для нерки 0,45 (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты посадки в жаберных сетях

Относительная длина (L_i / L_o)	Коэффициент посадки ячеи U_x			
	Кета	Нерка	Горбуша	Средняя величина
0,1	0,60	0,62	0,59	0,60
0,2	0,52	0,52	0,49	0,51
0,3	0,49	0,48	0,46	0,48
0,4	0,47	0,45	0,44	0,45
0,5	0,45	0,44	0,43	0,44
0,6	0,44	0,43	0,43	0,43

Удержание рыбы ячеей осуществляется в основном от жаберных крышек до максимальной площади сечения, которая находится перед спинным плавником. Размер ячеи определяем из обхвата лососей во втором $C_ж$ (обхват в районе жаберных крышек) и четвертом сечениях $C_{мс}$ (обхват в районе максимального сечения). Шаг ячеи в соответствующем сечении определяем из выражения $ai = C_i / 4$. Для кеты шаг ячеи a от длины рыбы L в районе жаберных крышек имеет вид линейной зависимости $a_ж$ = -34,08 + 0,198 L с коэффициентом корреляции R = 0,984. В максимальном сечении зависимость имеет вид $a_{мс}$ = -36,08 + 0,223 L_c с коэффициентом корреляции R = 0,996.

Эффективность лова зависит от количества или массы рыбы, вылавливаемой сетным порядком с конкретным размером ячеи за определенное время застоя. На промысле для облова различных размеров применяются сети с одним размером ячеи. Для обоснования оптимального размера ячеи следует знать размерный ряд облавливаемого объекта. Из кривых размерного ряда видно, что в облавливаемом стаде наибольшее количество рыб приходится на размеры в районе модальных значений (рис. 6). Для нерки модальные значения приходятся на длину 52-55 см, которым соответствует шаг ячеи по обхвату за жаберными крышками $a_ж$ = 68-78 мм, а по максимальному обхвату $a_{мс}$ = 80-92 мм. Эти величины получены нами из условия свободного обхвата ячеей тела нерки.

На самом деле нерка движется при миграции или поиске пищи с определенной скоростью V, а при объячейке в сетном полотне и попытке освободиться делает рывки, натягивая ячею на себя, с усилием, пропорциональным массе рыбы. Ячея врезается в кожный покров рыбы тем сильнее, чем больше масса, скорость движения и меньше упругость тела рыбы. Так как врезание ячеи в тело рыбы происходит всегда в большей или меньшей степени, следует оперировать размером ячеи, рассчитанным из стянутого обхвата.

Экспериментальными работами, проведенными Н.Н. Андреевым (1955), установлены соотношения между свободным и стянутым обхватами для некоторых видов рыб. Уменьшение свободного обхвата за счет деформации кожного покрова составляет для пикши 10 %,

клювача – 4 %, воблы – 15 %. Результаты, полученные исследователями при протаскивании тушек рыбы сквозь петлю с усилием от 2,5 до 10 Н, на наш взгляд, в большей степени характеризуют зависимость деформации от упругости тела. Аналитически величину деформации внешних покровов можно определить из зависимости $N = N_1 / \beta * \mathrm{tg}y$, где N_1 – усилие развиваемое рыбой (пропорционально массе рыбы), β – угол обхвата тела рыбы петлей, равный 2π, y – угол конусности тела рыбы.

Рис. 6. Зависимость шага ячеи сетного полотна для лова кеты от ее длины

Нами предлагается вариант определения коэффициента деформации тела лососевых $k = C_{ст} / C_{св}$ в промысловых условиях, где $C_{ст}$ – стянутый обхват, равный периметру ячеи; $C_{св}$ – свободный обхват, равный обхвату рыбы по жабрам и в максимальном сечении. Затем стянутый обхват $C_{ст} = 4a$ делили на обхват рыбы в соответствующих сечениях и находили средний коэффициент обхвата в зависимости от размера ячеи. По нашим данным, при увеличении размера ячеи с 48 до 157 мм средний коэффициент деформации для нерки изменяется от 0,7 до 0,95 (средняя величина k = 0,83), поэтому шаг ячеи следует уменьшать на величину коэффициента деформации.

Представленные в статье материалы по биометрическим характеристикам кеты, нерки и горбуши позволили рассчитать конусность тел, влияющих на величину деформации кожного покрова, найти закономерности изменения посадочных коэффициентов в зависимости от сечения тела, рассчитать размеры ячеи с учетом стянутого обхвата.

Библиографический список

1. *Андреев Н.Н.* Некоторые вопросы теории лова рыбы жаберными сетями // Тр. ВНИРО. 1955. Т. 30. С. 109-127.
2. *Баранов Ф.И.* Лов сельди ставными сетями (материалы к познанию русского рыболовства). Петроград, 1914. 49 с.
3. *Баранов Ф.И.* Техника промышленного рыболовства. М.: Пищ. пром-сть, 1969. 695 с.
4. *Толмачев В.И.* Рыболовные сетематериалы (исследования и расчет). М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1981. 184 с.

УДК. 534.222.2

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ХАОС В РЫБНЫХ СКОПЛЕНИЯХ И ПРИЧИНЫ ЕГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ

П.А. Стародубцев, Дальрыбвтуз, Владивосток

В статье показаны современные представления рыбного скопления (РС) в виде детерминированного хаоса. При этом детерминированный хаос в РС представляет собой экспоненциальную неустойчивость движения; множество его состояний; соответствие РС характеристикам от реализации случайного шумоподобного процесса. Такое состояние РС приводит к возникновению разных форм возмущений водной среды: волн плотности и квазидвумерных возмущений в дальнем следе от несинхронного движения всего РС в турбулентном потоке жидкости – и позволяет их обнаруживать на больших дистанциях.

Детерминированный хаос – это «нерегулярное, или хаотическое, движение, порожденное нелинейными системами, для которых динамические законы однозначно определяют эволюцию во времени состояния системы при известной ее предыстории» [1].

При движении рыбы используют, по крайней мере, два способа плавания: волнообразно извиваясь всем телом или двигая только хвостом. Рыбы, имеющие змееобразную форму (например, угорь), плавают первым способом, так что изгиб тела движется от головы к хвосту, отталкивая назад воду, в результате чего рыба движется вперёд. При втором способе воду отталкивает назад только быстро распрямляющийся хвост рыбы. На рис.1 представлены два способа плавания рыб: с помощью волнообразного движения всего туловища (вверху) и только хвоста (внизу) [2].

В рыбных скоплениях все особи движутся в одном направлении друг за другом. При этом количество рыб в РС может быть от нескольких штук до миллионов. Плыть в РС не только безопаснее, но и энерге-

тически выгоднее, если двигаться точно за виляющим впереди хвостом, который оставляет после себя завихрения, подталкивающие вперёд тех, кто плывёт сзади. Двигаться так, чтобы оказаться точно между двумя завихрениями (рис. 2), оставленными впереди плывущей рыбой, помогают специальные рецепторы боковой линии – высокочувствительные датчики давления.

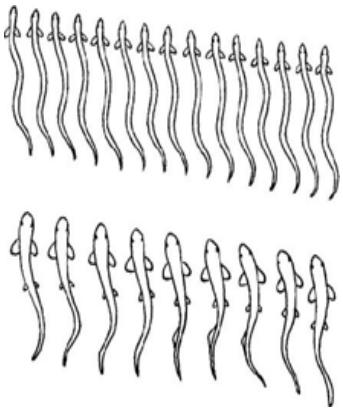


Рис. 1. Способы плавания рыб [2]

Рис. 2. Порядок плавания рыб [2]

Косяк мелкой рыбы и кольца завихрений в нём облегчают рыбам движение вперёд. При небольшой скорости такое движение является ламинарным, когда потоки воды омывают рыбу и перемещаются слоями без перемешивания (рис. 3).

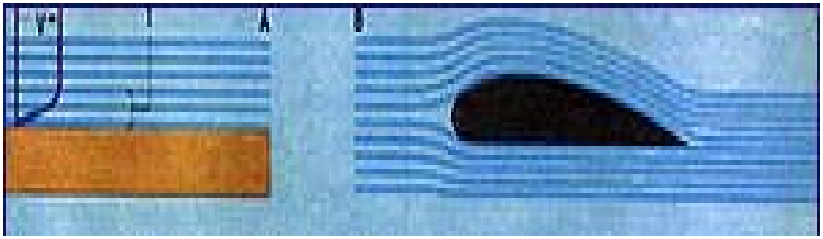


Рис. 3. Ламинарное движение потока жидкости [3]

При изменении направления или скорости движения рыбы возникает детерминированный хаос. На это тратится много энергии, лобовое сопротивление резко возрастает и возникает турбулентность. Закономерности перехода потока движения из одного состояния в другое описываются числом Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \rho v d / \mu,$$

где V – скорость течения; d – диаметр рыбы; ρ – плотность жидкости; μ – вязкость жидкости. Если параметры потока таковы, что число Рейнольдса меньше критического ($\mathrm{Re} < \mathrm{Re}_{кр}$), то режим течения остается ламинарным, если же $\mathrm{Re} > \mathrm{Re}_{кр}$, то режим – турбулентный. Число Рейнольдса для небольших рыб более 100. Турбулентное движение описывается системой уравнений Навье-Стокса [4]. Система состоит из двух уравнений: неразрывности и движения [4].

В векторном виде для несжимаемой жидкости они записываются следующим образом:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = -\left(\vec{V} \cdot \nabla\right)\vec{V} + \nu \Delta \vec{V} - \frac{1}{\rho}\nabla P + \vec{f}, \qquad (1)$$

$$\nabla \vec{\nu} = 0,$$

где ∇ – оператор Гамильтона; Δ – оператор Лапласа; $\vec{V}$ – вектор скорости; t – время; ν – коэффициент кинематической вязкости; ρ – плотность; P – давление; $\vec{f}$ – вектор плотности массовых сил [4].

Из анализа этих уравнений следует, что описанные в них изменения в среде, неизбежно приведут к изменению уравнения состояния водной среды (рис. 4) и возникновению детерминированного хаоса как несинхронного движения всего РС в турбулентном потоке жидкости [4].

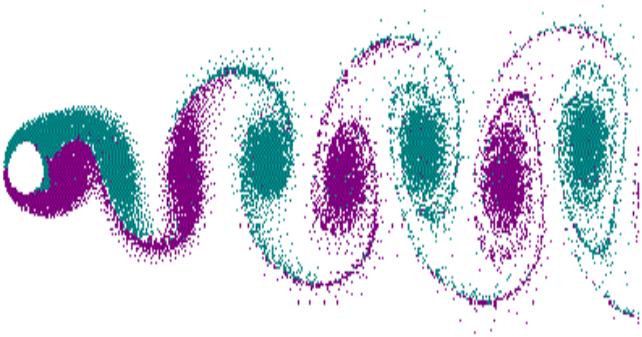


Рис. 4. Детерминированный хаос как несинхронное движение всего РС в турбулентном потоке жидкости [5]

Таким образом, каждый следующий шаг эволюции, каждое следующее состояние РС однозначно детерминируются предыдущим состоянием и соответствующим законом динамики, выраженным диффе-

ренциальным или разностным уравнением [5]. Тем не менее динамическое поведение РС при определенных условиях может иметь сложный «шумоподобный» характер с непрерывным Фурье-спектром [6]. Необходимо отметить, что такого рода хаотическое поведение РС (рис. 5) возникает не вследствие случайного внешнего шумового воздействия или внутренней механической неопределенности, не из-за большого числа степеней свободы, требующего вероятностного описания.

Хаос в детерминированных, динамических системах как РС, согласно Б.В. Чирикову [7], возникает при выполнении двух условий. Первое из них – экспоненциальная неустойчивость движения (эволюции) РС, когда малое отклонение от исходной траектории экспоненциально растет со временем. Другими словами, две траектории, выходящие из двух близко расположенных в начальный момент точек, с течением времени экспоненциально разбегаются, становясь все более непохожими друг на друга.

Рис. 5. Детерминированный хаос в рыбных скоплениях [7]

Второе условие состоит в том, что множество состояний РС должно быть сосредоточено в ограниченной области, поэтому траектория ее движение не должна выходить за границы этой области и обязана иметь квазиосцилляторный характер. Сочетание этих двух условий порождает апериодическую сложную траекторию, не отличимую по своим статистическим характеристикам (например, по автокорреляционной функции) от реализации случайного шумоподобного процесса.

Точки такой траектории, перемешиваясь, плотно заполняют некоторую область в фазовом пространстве. Выявлено, что подобным поведением могут обладать только нелинейные системы, в том числе и РС [8]. В основе нерегулярного хаотического поведения часто лежит вполне детерминированное описание. Оно, однако, вовсе не означает практическую возможность долговременного прогноза эволюции процесса.

В природе и в повседневной практике много таких процессов, которые, на первый взгляд, выглядят совершенно случайными, хаотическими. Простейший пример такого рода – это турбулентное движение РС. Хаотические вариации со временем претерпевают численности популяций отдельных видов рыб [8]. Несмотря на сложность поведения этих систем, демонстрирующих хаос, в основе многих из них лежат, как было отмечено выше, достаточно простые уравнения Навье-Стокса.

Во многих случаях система, обнаруживающая на практике хаотическое непредсказуемое поведение РС, допускает тем не менее вполне детерминированное математическое описание. Было трудно поверить в то, что «случайный» процесс может быть решением одного или нескольких, часто с виду простых, дифференциальных уравнений. Одним из самых неожиданных результатов был вывод о практической непредсказуемости долговременного поведения детерминированных хаотических систем и необходимости использования статистического описания (рис. 6).

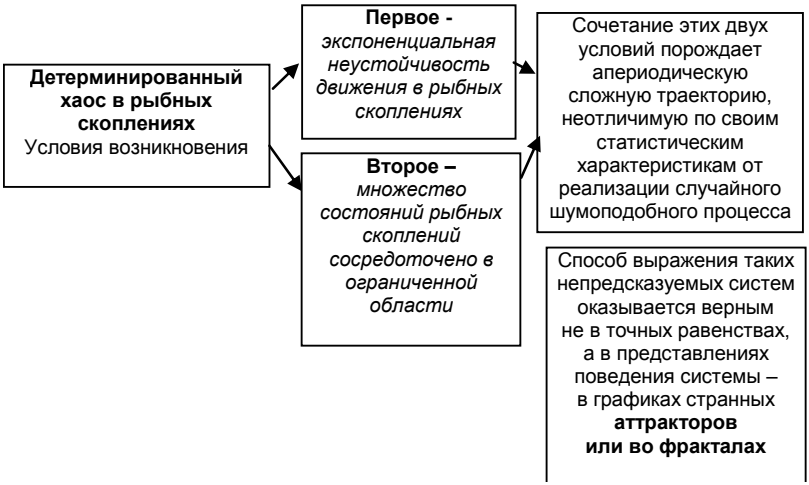


Рис. 6. Графики РС в форме странных аттракторов Лоренца (слева) и фракталов (справа) [8]

Обычно считалось, что проявление статистических закономерностей у динамических систем (РС) связано с большим числом степеней свободы последних и возможности усреднения по ним. В физике такие системы принято называть макроскопическими [9], где регулярное, предсказуемое поведение РС является скорее исключением, чем правилом.

В результате такого усреднения равновесное поведение РС определяется лишь небольшим числом параметров – интегралов движения

отдельных особей (рыб). Аналогом может служить распределение Гиббса в классической статистике

$$\rho(p,q) = A\,\text{exx}\left[-\frac{E(p,q)}{T}\right], \qquad (2)$$

где $E(p,q)$ – энергия системы как функция ее импульсов и координат; T – температура [9] (рис. 7).

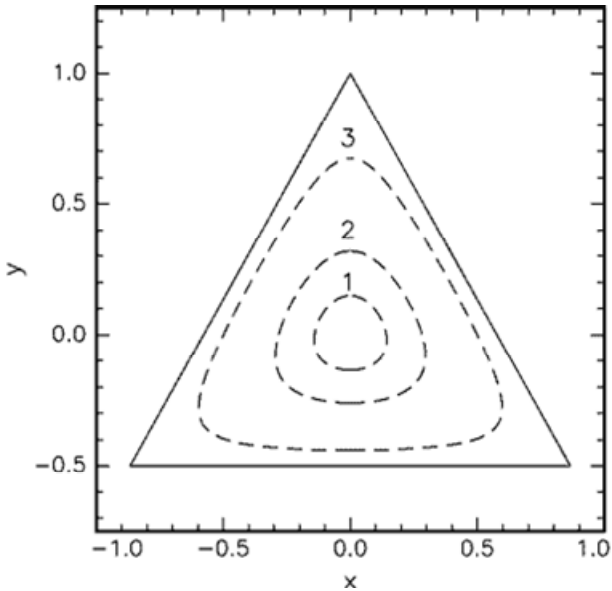


Рис. 7. Область финитного движения для модели Хенона-Хейлеса. Пунктирные линии представляют собой эквипотенциальные кривые U = const. 1 - U = 0,01, 2 - U = 0,04, 3 - U = 0,125 [9]

Одним из классических примеров для объяснения поведения РС является система Хенона-Хейлеса (Hénon, Heiles, 1964). Она представляет собой частицу массы m = 1, которая движется в двумерном потенциале

$$U[x,y] = \frac{x^2+y^2}{2} + x^2 y - \frac{1}{3} y^3 . \qquad (3)$$

По сути это два одинаковых гармонических осциллятора с нелинейным взаимодействием между ними. Если полная энергия этой механической системы (РС) $0 < E < 1/6$, то его движение финитно и про-

исходит внутри треугольной области (потенциальной яме) на плоскости *xy*, показанной на рис. 8. При энергиях *E*, близких к нулю, система (РС) совершает обычные гармонические колебания [8-9], однако если величина E не очень мала, то большая часть траекторий этой системы (с двумя степенями свободы) блуждает по изоэнергетической гиперповерхности в 4-мерном фазовом пространстве (*x*, *y*, *px*, *py*) крайне нерегулярным образом (рис. 8). Так, если взять только те моменты времени, когда траектория пересекает плоскость *x* = 0, то значение координаты *y* и импульса *py* изображены в эти моменты точками на рис. 8 [8] (так называемое сечение Пуанкаре).

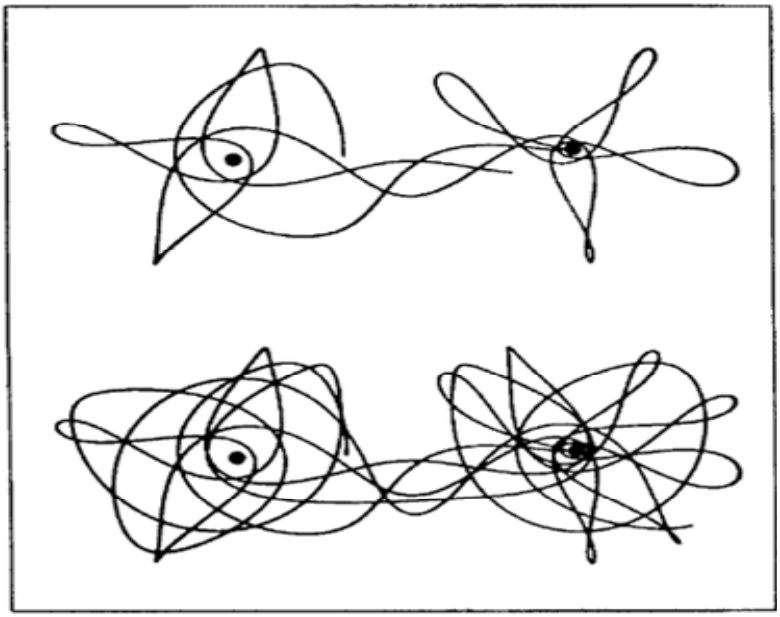


Рис. 8. Сечение Пуанкаре (y,p_y) модели Хенона-Хейлеса при энергии частицы E = 1/10 (слева) и E = 1/8 (справа) [8]

Причем для энергии E = 1/10 показано несколько траекторий (с разными начальными условиями), а для E = 1/8 всего одна – хаотическая. Классическим примером поведения РС как неинтегрируемой системы может быть известная задача трех рыб. Частным случаем последней является движение «пробной» рыбы в гравитационном поле двух неподвижных рыб (рис. 9). Даже если движение происходит в одной плоскости, траектория «пробной» рыбы выглядит чрезвычайно сложной и запутанной. Она то обвивается вокруг одной из рыб, то неожиданно перескакивает к другой (рис. 9).

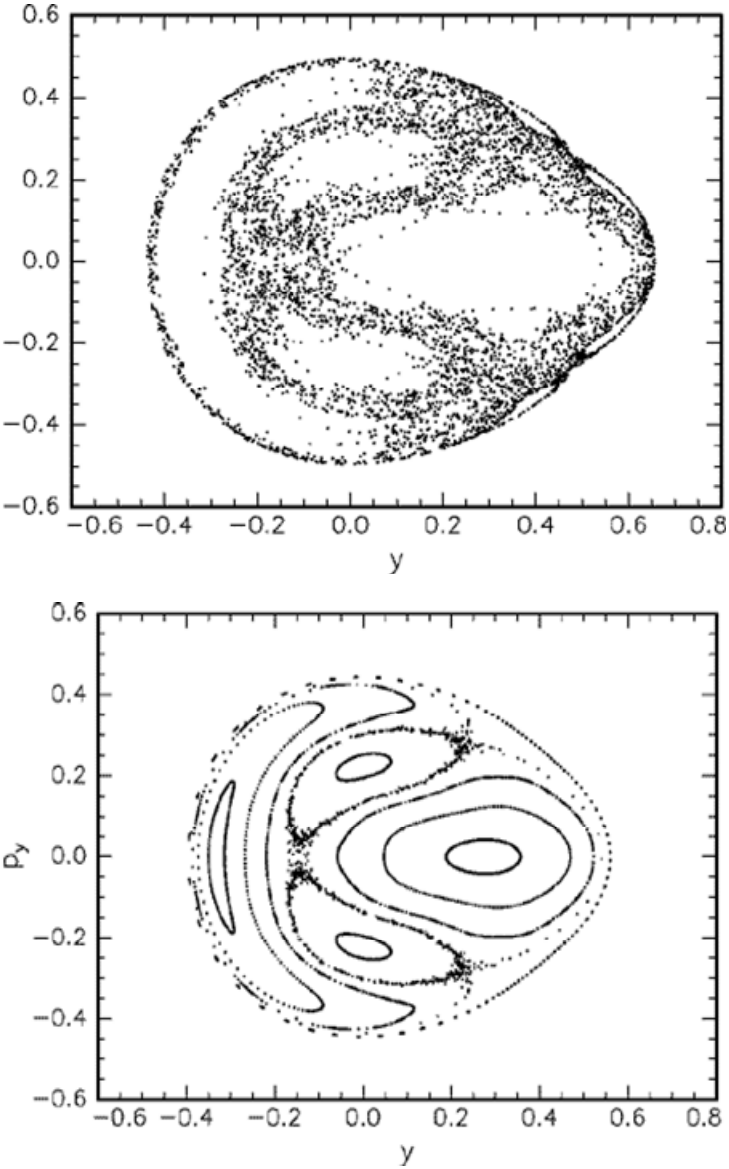


Рис. 9. Движение пробной рыбы вблизи двух одинаковых неподвижных рыб. Вверху показана начальная часть траектории, а внизу ее продолжение [8]

Первоначально близкие траектории очень быстро расходятся [8]. Максимально упрощая уравнения Навье-Стокса, описывающие это явление, Лоренц случайно наткнулся на то, что даже сравнительно простая система из трех связанных нелинейных дифференциальных уравнений 1-го порядка может иметь решением совершенно хаотические траектории. Эта система уравнений, ставшая теперь классической, имеет вид [8-9]:

$$\dot{X} = -\sigma X + \sigma Y,$$

$$\dot{Y} = rX - Y - XZ,$$

$$\dot{Z} = XY - bZ.$$

где точка обозначает дифференцирование по времени t. Переменная X пропорциональна скорости конвективного потока, Y описывает разность температур для потоков вверх и вниз, а Z характеризует отклонение профиля температуры от линейного в продольном направлении, вдоль приложенного градиента температуры.

Величина последнего характеризуется управляющим параметром r, а σ и b – некоторые безразмерные константы, характеризующие систему. Решение этих уравнений – функции $X(t)$, $Y(t)$ и $Z(t)$ – определяют в параметрическом виде траекторию системы в трехмерном «фазовом» пространстве X, Y, Z. Ввиду однозначности функций, стоящих в правых частях этих уравнений, траектория себя никогда не пересекает. Лоренц исследовал вид этих траекторий при разных начальных условиях при значениях параметров $r = 28$, $\sigma = 10$ и $b = 8/3$. Он обнаружил, что при этом траектория хаотическим образом блуждает из полупространства $x > 0$ в полупространство $x < 0$, формируя две почти плоских, перепутанных сложным образом спирали.

Хаотичность решения означает, что если мы заранее выберем каким угодно способом цепочку переходов РС из одного полупространства в другое, то у системы Лоренца найдется решение [10], которое в точности эту цепочку воспроизведет (рис. 10). Причина непредсказуемости поведения РС заключается в не в том, что не верна математическая теорема о существовании и единственности решения при заданных начальных условиях, а в необычайной чувствительности решения к этим начальным условиям. Близкие начальные условия поведения отдельных рыб со временем приводят к совершенно различному конечному состоянию системы. Причем часто различие нарастает со временем экспоненциально, т.е. чрезвычайно быстро (рис. 11).

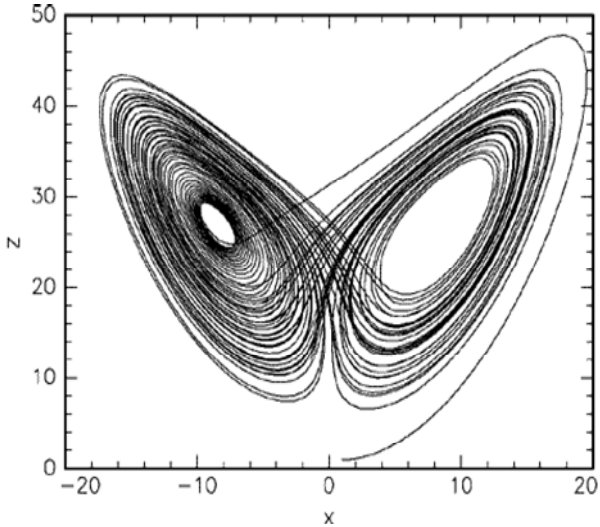


Рис. 10. Траектория, отвечающая хаотическому решению уравнений Лоренца, с параметрами, приведенными в тексте, и начальными условиями $X(0) = Y(0) = Z(0) = 1$ [48]

$$D(t) = D(0)\, e^{ht}, \tag{4}$$

где инкремент неустойчивости h является функцией точки в фазовом пространстве. Причина очевидна – неустойчивость начального состояния РС, с которого оно стартует. Малое изменение от первоначального состояния даже отдельной рыбы сильно меняет его последующее движение и, как следствие, конечное состояние.

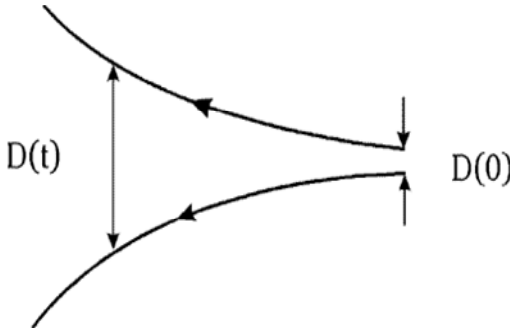


Рис. 11. Две первоначально близкие траектории в фазовом пространстве расходятся со временем в результате локальной неустойчивости [48]

Иными словами, сколь угодно малые возмущения начальных условий приводят с течением времени к сильному отклонению траектории от своего невозмущенного положения. Если фазовое пространство системы является конечным, то фазовые траектории не могут разойтись из-за неустойчивости более чем на характерный размер области движения, и начинается их запутывание. Предсказать поведение такой системы (РС) тогда оказывается практически невозможным. Одной из основных характерных особенностей всех систем, в которых наблюдается детерминированный хаос, является то, что они описываются нелинейными дифференциальными уравнениями или системами уравнений.

Значит, хаос в РС – это есть сущность предсказуемого порядка, а его критериями хаотичности и качества являются сплошной спектр решения (означающий присутствие в нем бесконечного числа различных периодических составляющих); однородность спектра решения (т.е. отсутствие выделенных частот); быстрое затухание корреляций (т.е. «забывание» системой своей предыстории).

Библиографический список

1. *Старченко И.Б*. Динамический хаос в гидроакустике. М.: Техническая аэродинамика, 2007. 296 с.
2. *Анисимова И.М., Лавровский В.В*. Ихтиология. М.: Высш. шк., 1983.
3. *Повх И.Л.* Техническая гидромеханика. М.: Машиностроение, 1969. 524 с.
4. Уравнение Навье-Стокса. Свободная энциклопедия. Википедия.
5. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Механика, 1978. 467 с.
6. *Сивухин Д.В*. Курс общей физики. М.: Механика, 1989. Т. 1.
7. *Шустер Г*. Детерминированный хаос. М.: Мир, 1988. 240 с.
8. *Алексеев В.В*., *Лоскутов А.Ю.* О возможности управления системой со странным аттрактором // Вестник МГУ. 1985. Т. 26. № 3. С. 40-44.
9. *Евдокимов Е.В., Евдокимов К.Е., Крейдун Ю.А., Шаповалов А.В*. Квазирезонансные свойства периодически возмущенных однопараметрических логистически-подобных отображений // Журн. физ. химии. 1997. Т. 71. № 11. С. 2003-2008.
10. *Елютин П.В*. Проблемы квантового хаоса // Успехи физических наук. Новосибирск: Наука, 1988. Т. 155. Вып. 3.

УДК. 534.222.2

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОНИТОРИНГА РЫБНЫХ ЗАПАСОВ И СПОСОБЫ РАБОТЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ РЫБОПОИСКОВЫХ СРЕДСТВ

П.А. Стародубцев; В.В. Карасев, Дальрыбвтуз, Владивосток

В статье представлен анализ технических возможностей современных высокочастотных эхолотов для обнаружения рыбных скоплений (РС). Определена их целевая неперспективность для решения задачи широкомасштабного мониторинга морских биоресурсов на протяженных морских акваториях. Приведены основные принципы формирования РС и возможность их обнаружения с использованием бистатической локации. Показаны результаты экспериментальных исследований, полученных в рамках проекта по изучению новых технологий широкомасштабного обнаружения РС Николсом Макрисом из Северо-Восточного университета США, и их теоретические пояснения.

В рыбном промысле возможны случаи как недолова возможного количества рыбных запасов, так и их перелова. Это объясняется безответственностью человечества при освоении запасов Мирового океана и несовершенством технологии контроля наличия данных о развитии рыбных запасов. Именно эти факторы привели к практически полному уничтожению мирового стада китов, значительному уничтожению тихоокеанской сельди и баренцево-морской трески [1].

При наличие высокоорганизованных и развитых технологий и технических средств в настоящее время не разработаны эффективные инженерные технологии и средства мониторинга рыбных запасов в масштабах как Мирового океана, так и отдельных морей и регионов. Это приводит к необоснованному определению и распределению квот вылова РС, а также к неточному определению сроков наполнения рыбными запасами разрешенных районов лова, а это, в свою очередь, к значительным экономическим потерям рыболовецкого флота и перерабатывающих предприятий.

Академик В.В. Шулейкин показал [2], что перемещение рыбных скоплений разных размеров происходит с определенной для них скоростью, которая зависит от плотности рыб в РС и его размеров. Для устойчивости РС рыбы должны удерживать определенные расстояния, зависящие от скорости. Для уменьшения гидродинамических сил рыбы занимают определенное положение относительно друг друга подобно тому, как занимают положение журавли в кли-

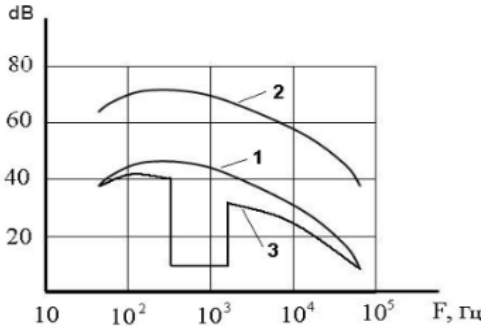
не. В свою очередь, расстояние между рыбами – параметр, определенный размером рыб и их скоростью. Это устанавливает свойство РС как акустической системы. Оно [3], с этой точки зрения, является объемной дифракционной решеткой, а расстояние между рыбами устанавливает период для какой-то частоты. Так как РС в течение суток [4] мигрируют по глубине, поднимаясь к поверхности ночью и днем опускаясь на глубины, то резонансная частота рассеяния на таком возмущении водной среды изменяется в соответствии с [3]

$$F_0 = \frac{1}{2\pi R_{cp}} \sqrt{\frac{3\gamma P + 4\mu}{\rho}},$$

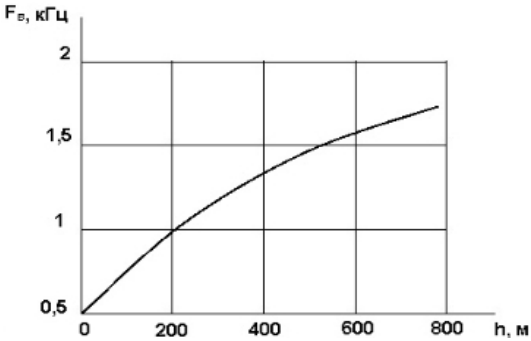
где ρ – плотность воды; P – давление на горизонте нахождения РС (отдельных рыб); $\gamma = \tilde{n}_\rho / \tilde{n}_v = 1/4$ – отношение удельных теплоемкостей газа в пузыре; μ – модуль сдвига окружающих пузырь тканей, R_{cp} – радиус сферы, равной по объёму полости пузыря. В качестве природных аналогов для дальнейших биофизических и биотехнических разработок можно использовать ряд стереотипов поведения гидробионтов.

Еще Токарев А.К. в 1958 г. обратил внимание на тот факт, что жизненно важные биологические акты сельдей сопровождаются характерными звуками. Он сделал предположение, что благодаря этим звукам нагульная сельдь, рассеивающаяся вдоль поверхности в вечерние часы и скапливающаяся у дна в утренние часы, сохраняет свои сформировавшиеся скопления по возрастному и размерному принципам. Эти вертикальные перемещения сельди сопровождаются выбросом струй газа. В вечерние часы, поднимаясь из глубины к поверхности плотным образованием в виде «столба», сельдь рассыпается вдоль поверхности для кормления, затем в предутренние часы, снова концентрируясь, она уходит на глубину. Сельдевые относятся к планктоноядным рыбам. Данный фрагмент поведения связан с устойчивыми пищевыми мотивациями. В летний период нагула сельди ее вертикальные перемещения связаны с вечерним подъемом планктона к поверхности воды и предутренним уходом на глубину.

На рис. 1 приведены графики изменения резонансных частот с глубиной для рыб L = 30 см, из чего видно, что частота возрастает с глубиной. Спектр искаженного РС просветного сигнала (ПС) условно можно разделить на три характерных области.



Средние спектры шумов в глубоком море:
1. Волнение моря менее 6 баллов.
2. Волнение моря более 6 баллов.
3. Спектр искаженного зыбью сигнала.



Зависимость резонансной частоты пузыря рыбы
от глубины погружения

Рис. 1. Графики изменения резонансных частот
с глубиной для рыб L = 30 см

Область высоких частот находится на нижнем пределе, когда длина волны становится равной размерам рассеивателей, а при дальнейшем увеличении частоты $\lambda << R_{cp}$, $\lambda < d$, $\lambda < h$. При этом РС как акустическая система приобретает свойство гетерогенной. Сопротивление такой системы несколько увеличивается за счет дифракции на рассеивателях и поглощения ими энергии колебания.

На рис. 1 начало области высоких частот обозначено F_B, в которой усиливается слой спектра. Измерив эту частоту, можно определить размеры рассеивателя, а следовательно, и размеры рыб в РС.

Область средних частот: длина волны меньше расстояния между рассеивателями, размеры пузырей меньше длины волны, геометрические размеры РС превышают длину волны, т.е. $\lambda << R_{cp}$, $\lambda > R_{cp}$, $\lambda < d$, $\lambda < h$. При этом РС представляется плоской или объёмной решёткой. Эффект затенения на средних частотах меньше, чем на резонансе. Строгое математическое решение задачи дифракции в такой структуре крайне затруднительно, особенно если условия соответствуют дифракции Френкеля. При средних частотах происходят огибания рассеивателей и образование *max* и *min* флуктуаций просветных сигналов, когда по измеренной частоте флуктуаций можно определить период дифракций решетки *d.*

Область низких частот: $\lambda > R_{cp}$, $\lambda < d$, $\lambda < h$, длина волны больше радиуса рассеивателя или расстояния между рассеивателями, но меньше горизонтальных размеров РС. Начинается область низких частот с резонансной частоты рыбного пузыря. Верхним пределом является частота, величина которой пропорциональна концентрации воздушных пузырей или других рассеивателей и их пространственной плотности. На рис. 1 эта частота обозначена как $F_{от}$. Далее приведен коэффициент пропорциональности $\Omega = F_{от} / F_0$ для рыб размером 30 см. По характерным точкам F_0 и $F_{от}$, изменявшимся в процессе затенения спектра поверхностных шумов, существует возможность обнаружения РС и определения резонансной частоты, а следовательно, размеров рыб и пространственной плотности косяка. В этих условиях РС представляет собой объект площадью (*h* x *в)* и неопределенную галогенную среду с большим акустическим сопротивлением. Величина затенения определяется соотношением горизонтальной площади сечения ДН и его горизонтальной площадью в этом секторе.

Для контроля хода РС на миграционных путях (на нерест, нагул, к местам зимовки), учета накопления традиционных районов промысла можно и нужно использовать сплошные линии обнаружителей. Обнаружение наиболее эффективно на низких частотах, где спад может составлять до 10 дБ, если площадь РС в пространстве диаграммы направленности (ДН) вблизи поверхности составляет 10 м^2. На больших глубинах данный эффект больше.

Достаточно интересным для обнаружения РС [4-5] является способ Павлова Ю.К. «Определение параметров рыбных скоплений в воде». Это изобретение относится к гидроакустике, в частности, к определению параметров рыбных скоплений с помощью гидроакустических сигналов. Целью изобретения является получение дополнительной информации о параметрах рыбных скоплений по результатам ослабления просветного сигнала при прохождении РС между излучателем и приемником. Затеняющий РС в горизонтальной плоскости представляет собой дифференциальную решетку с изменяющимися в определенных пределах параметрами, а именно расстоянием между рыбами в боко-

вом ракурсе и их толщиной, а также с расстоянием между рыбами по линии движения и их длиной. В результате явления дифракции на решетке будут усилены составляющие спектра на тех частотах, для которых длина волны меньше расстояния между рыбами и ослаблены более низкие частоты. Амплитуда спектральных составляющих в полосах спектра гребенчатого фильтра *5* (рис. 2) фокусируются анализатором спектра *6*.

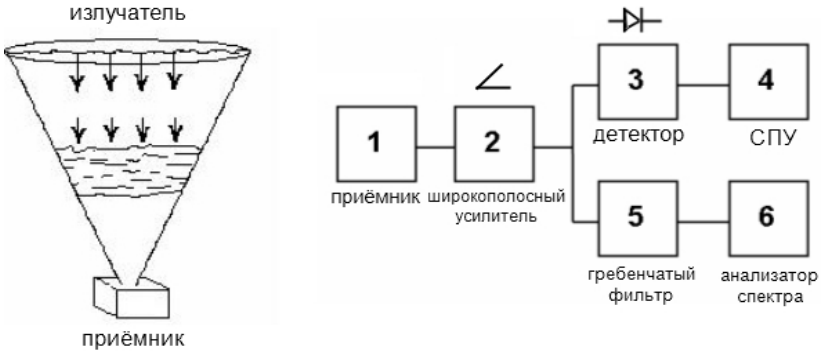


Рис. 2. Общая схема способа Павлова Ю.К. [4]

При обнаружении РС анализируют изменения различных частот спектра сигнала и судят о величинах отдельных особей и расстояний между ними. Для работы такой упрощенной системы из отдельных приемников формируют линии необходимой протяженности на пути миграции РС, в которой приёмник – многоэлементный, полоса приёма 20-200 кГц, усилитель *2* – широкополосный [6].

Исследователи США нашли новый способ освещения подводного пространства океана, который может помочь окончательно определять, сжимаются ли РС. Разработанная профессором прикладной механики Николсом Макрисом в Северо-Восточном университете и Военно-морской научно-исследовательской лаборатории система удалённых датчиков позволяет ученым отслеживать огромные популяции рыбы, небольшие скопления, а также мелкие косяки на площади более 10000 км^2. Это значительное усовершенствование технологии добычи рыбы [7], которая в данное время даёт возможность обнаружения РС на площади около 100 км^2. Новая система удалённых датчиков, описанная 3 февраля 2006 г. в научном бюллетене, поможет правительственным агентствам упорядочить разведку рыбных запасов (рис. 3).

Мировые запасы рыбы истощаются, и эта проблема усугубляется неточным учётом лова рыбы и её запасов. Одна из причин неточного учета – это непрозрачность океанской толщи.

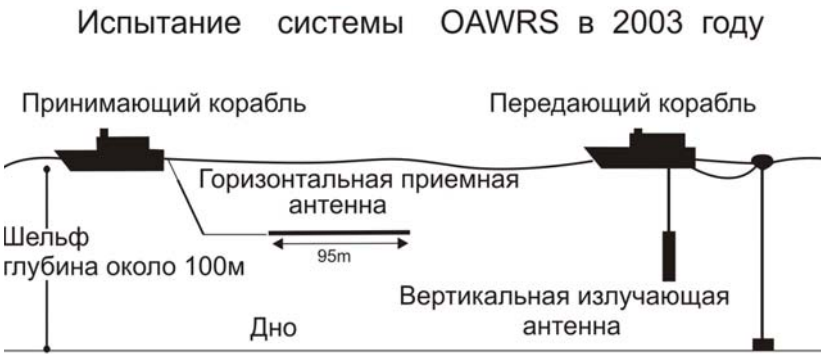


Рис. 3. Испытания системы OAWRS в 2003 г. [8-9]

Существующие методы освещения сильно зависимы от различных ограничений, потому что получены они на тихоходных исследовательских судах, обеспечивающих малое количество данных только о больших скоплениях рыбы. Это похоже на способ «Касабланка», так как можно увидеть всего одну отметку, которая движется поперек экрана.

Невозможно определить форму того, что движется под водой, так как это происходит слишком медленно. И новые, и старые способы предполагают звуковую локацию [8-9], с помощью которой определяется местонахождение РС (рис. 4). Существующая техника использует высокочастотные звуковые волны, которые рассеиваются в океане подобно свету от прожектора, направленного в затемненное место. Напротив, новая система использует низкую звуковую частоту, которая может пройти большие расстояния и возвращаться с нужной информацией при значительно меньшем интенсивном сигнале.

Этот способ эффективнее исследует обширные площади океана, приблизительно в миллион раз больше чем те, что могли быть изучены старыми способами. Изображения РС могут быть обновлены каждую минуту, давая возможность непрерывно контролировать малые скопления рыбы, поскольку они могут изменяться в размере и форме через какое-то время.

Макрис также отметил, что рыбы часто собираются в РС в форме песочных часов с тонким «мостом», соединяющим два конца. Исследователи также заметили, что формы, отмеченные в маленьком масштабе, проявляются и в больших масштабах – десятки метров против десятков километров – фрактальные модели. Плотность населения модели может быть средством связи. Ученые наблюдали волны плотности, которые распространяются быстро через РС. Макрис отметил, что в этой ситуации информация очень быстро передаётся с этими волнами.

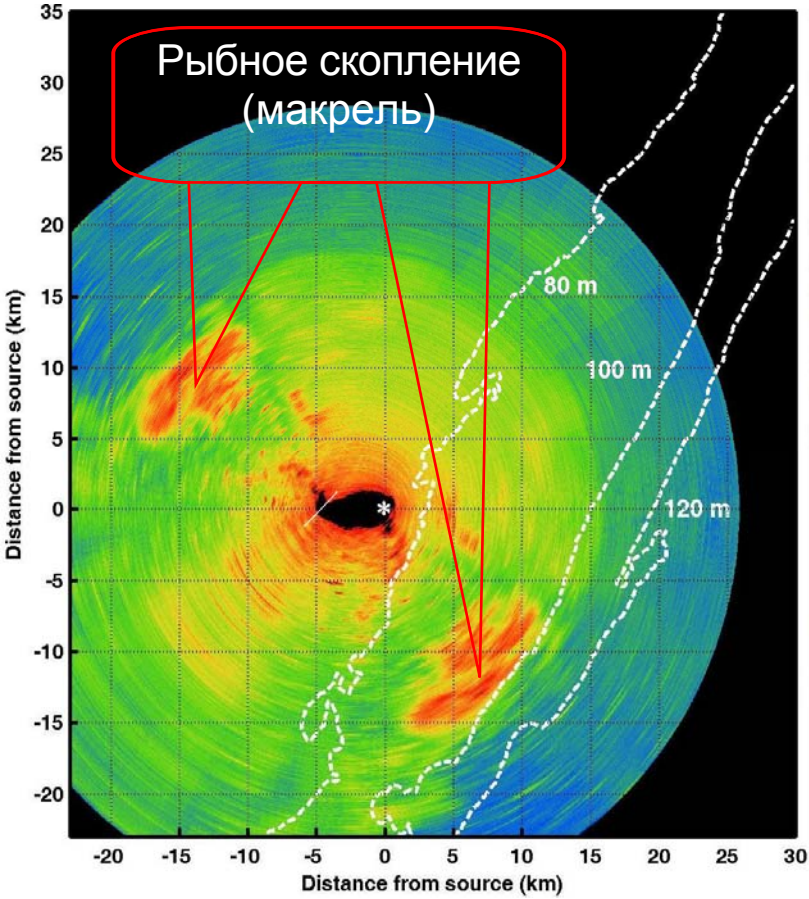


Рис. 4. Результаты обнаружения рыбных скоплений и их пространственное перемещение [8-9]

Библиографический список

1. Загадка природы или чья-то халатность? Две версии одного экологического происшествия // Советский Сахалин. 2000. 11 февр.

2. Большая Российская энциклопедия, М., 2001.

3. *Кузнецов Ю.А.* Некоторые вопросы промысловой биоакустики // Рыб. хоз-во. М. 1971. № 9.

4. *Стародубцев П.А.* Двухсторонний «просветный» метод гидролокации в решении задач томографии морских акваторий // Акустика океана: Сб. докл. 9-й науч. школы-семинара академика Л.М. Брехов-

ских, совмещенной с 12-й сессией РАО. М.: ГЕОС, 2002. С. 370-378.

5. *Шевченко Е.В*. Фазовая скорость просветного сигнала и физические основы ее изменения на неоднородностях морской среды и сформированных рыбных косяках // Научные труды Дальрыбвтуза. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2006. Вып. 16. С. 21-25.

6. *Андреева И.Б. и др.* О вертикальной структуре акустических характеристик звукорассеивающих слоев океана // Акустический журн. 2000. Т. 47. № 5.

7. *Стародубцев П.А.* Измерительные технологии акустического просветного метода гидролокации в решении задач мониторинга и освоения запасов морских акваторий // Инновации в рыбопереработке: Сб. докл. региональной науч. конф. 27 июня 2003. Владивосток, 2003. С. 15-22.

8. *Архипов А.Г., Седлецкая В.А*. Межгодовые и сезонные изменения численности и распределения ихтиопланктона у атлантического побережья Африки от мыса Спартель до мыса Кап-Блан // Гидробиологические исследования в бассейне Атлантического океана: Тр. АтлантНИРО. Т. 2. Морская гидробиология. 2003. С. 48-65.

9. Физики нашли волны и фракталы в косяках рыб // По материалам: Лента.ru. 03.02.2006.