

Методика определения размерного состава скопления по характеристикам улова

*Э.А. Карпенко, Г.Н. Степанов, В.В. Акишин,
О.М. Латшин (ВНИРО)*

Введение

Основной целью настоящей методики является определение начальной плотности и размерного состава скоплений, облавливаемых рыболовными тралами. Назначение методики — оценка изъятия рыб различных поколений (возрастов) из эксплуатируемых траловым промыслом популяции.

Задачами методики являются:

- определение коэффициентов уловистости конкретных конструкций тралов и режимов лова (скорость траления) по отношению к скоплению в целом и рыбам разных возрастных групп, входящих в скопление;
- оценка уловистости тралов разных конструкций по отношению к скоплениям данной популяции (промрайона);
- оценка производительности тралов разных типов.

Исходные данные для достижения поставленной цели должны отвечать следующим требованиям:

- репрезентативности;
- доступности получения без организации специальных исследований (рейсов).

В соответствии с требованиями исходная информация содержит следующие исходные параметры:

- типы и количество судов в районе;
- скорости траления по типам судов;
- конструкции тралов по типам судов;
- улов на час траления по типам судов;
- среднестатистическая высота скоплений (косяков);
- размерный состав уловов (косяков);
- размерно-весовой состав объектов лова.

Как следует из перечня входных параметров, последние соответствуют изложенным выше требованиям. Так, репрезентативность обеспечивается большим объемом статистического материала. Все перечисленные характеристики могут поставляться судами оперативной разведки, контролирующими район промысла.

Входная информация включает:

- размерный состав скоплений (среднестатистический);
- дифференцированные коэффициенты уловистости (по отношению к рыбам разного размера) и общий коэффициент уловистости орудия;
- начальная плотность скоплений (среднестатистическая);
- начальная общая масса обловленной популяции (по вылову в районе за сезон, год).

Состояние проблемы определения коэффициентов уловистости

Профессор Ф.И. Баранов [1960] вводя понятие «уловистость трала» считал: «Объективным показателем работы трала может быть отношение количества пойманных рыб ко всему количеству рыб, находившихся на обловленной площади, характеризующее абсолютную уловистость трала — данного трала для данной рыбы». Как справедливо отмечали специалисты впоследствии, для оценки уло-

вистости трала исходя из определения Ф.И. Баранова требуется сначала оценить геометрическую интенсивность лова и интенсивность вылова. Например, Ю.С. Сергеев [1979] в соответствии с формулировкой Ф.И. Баранова представляет уловистость трала как

$$f = \frac{\ln(1 - \varphi)}{i_{\Gamma}}, \quad (1)$$

где φ — интенсивность вылова; i_{Γ} — интенсивность лова.

При исследованиях влияния промысла на запасы представление уловистости трала в трактовке Ф.И. Баранова трудно переоценить, однако при оценке улавливающих свойств траловых систем, с точки зрения производительности добычи, более удобно применять установившееся среди специалистов понятие уловистости как отношения улова пойманных рыб и удержанных тралом к количеству рыб, которые в процессе лова находились в зоне действия орудия лова. Иными словами, под уловистостью траловой системы в дальнейшем будем понимать отношение количества пойманных рыб к числу рыб, которые в процессе траления находились в зоне его действия [Ионас, 1967], т.е.

$$\psi = 1 - \frac{N_1}{N}, \quad (2)$$

где N — количество рыб в зоне облова; N_1 — количество рыб, ушедших из зоны облова.

На основе формулы (2) В.А. Ионасом [1967] была предложена формула для расчета коэффициента уловистости

$$\psi = 1 - C \frac{\rho_1 r^2 v_p}{\rho F v}, \quad (3)$$

где C — безразмерный коэффициент; v_p — скорость ухода рыбы от трала, м/с; v — скорость траления, м/с; ρ — плотность концентрации рыбы, шт/м³; ρ_1 — число рыб в единице протраленного объема, среагировавших на трал как на опасность, шт/м³; r — расстояние, на котором рыба среагировала на трал; F — площадь устья трала.

Профессор А.Л. Фридман [1981] из этой же концепции предложил несколько иное соотношение, а именно

$$\psi = 1 - \frac{F_0 v_0}{F v}, \quad (4)$$

где $F_0 v_0$ — минимальная или «нулевая» характеристика траления; $F v$ — площадь устья и скорость траления (характеристика траления).

Проанализируем формулы В.А. Ионаса и А.Л. Фридмана.

Положим, что объект лова не реагирует на трал и скорость его ухода равна нулю. Тогда, по В.А. Ионасу, коэффициент уловистости равен единице. Это произойдет только в том случае, если весь трал, начиная от устья, будет мелкочейным. В реальных тралах, где мелкочейная часть начинается с меньшего сечения, чем устье, при неподвижной рыбе будут захвачены только те особи, которые находятся на пути мелкочейной части, т.е. при превышении размера скопления по отношению к раскрытию мелкочейной части соответственно уменьшится доля пойманных рыб (коэффициент уловистости меньше единицы).

Значение коэффициента уловистости, по А.Л. Фридману, для этого случая остается неизменным, поскольку в формуле (4) нет такого показателя, как скорость рыбы.

При прочих равных условиях в обеих формулах при неограниченном росте площади устья или скорости траления коэффициент уловистости стремится к единице, хотя практика промысла не подтверждает подобный вывод. Например, характеристика траления, равная произведению площади устья на скорость буксировки орудия лова, может ограниченно увеличиваться двумя путями: при весь-

ма малой скорости за счет увеличения устья или при малой площади устья за счет неограниченного роста скорости. В обоих случаях может произойти не только замедление роста уловистости, но и ее снижение до нуля. В частности, наблюдения за поведением рыбы в зоне действия трала [Ионас, 1967] показывают, что существует минимальное раскрытие трала, при котором как ни велика была бы скорость трала, рыба в трал не попадает.

Практическое применение формул В.А. Ионаса и А.Л. Фридмана для расчета уловистости тралов затруднено и неопределенностью переменных, таких, как «число рыб, среагировавших на трал как на опасность» и «нулевая характеристика». Поэтому А.Л. Фридман [1981] неслучайно, касаясь уловистости трала, пишет «...многие аспекты этого вопроса еще недостаточно ясны, например, возможность обратного выхода рыбы из трала в процессе лова, влияние гидродинамических и мутьевых шлейфов, образуемых кабелями и др.»*.

Учитывая трудности в определении коэффициента уловистости непосредственно рыболовного орудия, Ф.И. Барановым [1960] было введено понятие «относительная уловистость», т.е. сравнение улавливающих свойств двух тралов относительно друг друга. Это понятие прочно утвердилось среди специалистов и обычно определяется из зависимости, основанной на концепции протраленных объемов. Наиболее типичный вид формулы для расчета относительной уловистости приводит А.Л. Фридман [1981].

$$\varphi = \frac{\psi_i}{\psi} = \frac{y_i^{Fvt}}{yF_i v_i t_i}, \quad (5)$$

где y , F , v , t — улов, площадь устья, скорость и время траления одного из тралов.

Коэффициент относительной уловистости, который определяется из сравнительных испытаний тралов в районах промысла, безусловно позволяет отбирать конструкции тралов с большими показателями уловистости, но, к сожалению, не указывает путей к совершенствованию и оптимизации непосредственно конструкции трала и элементов его оснастки, что сводит пути совершенствования тралов к методу проб и ошибок.

И.В. Никоноров, исследуя взаимодействия орудий лова со скоплением рыб [Никоноров, 1973], предложил оценивать отдельно уловистость по зонам действия орудий лова. Аналогичного подхода придерживается и Ю.С. Сергеев [1979], который считает для уловистости трала правомерным применять формулу:

$$f = uk, \quad (6)$$

где k — относительный захват, u — относительное удержание.

Относительный захват при этом равен

$$k = 1 - e^{-\beta(v-v_0)},$$

где v — скорость траления, м/с; v_0 — нулевая скорость, м/с; β — средний показатель ухода рыбы.

Относительное удержание Ю.С. Сергеев представляет как

$$u = \frac{n}{mt}, \quad (7)$$

где n — средний улов рыб за время t ; m — средняя скорость захвата рыб тралом данной конструкции и размеров при данной скорости траления (число рыб в мин). Средний улов за траление при этом определяется как

$$n = \frac{m}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}), \quad (8)$$

где α — средняя относительная скорость (интенсивность ухода рыбы от трала).

* Этот вывод следует из формулы (3), где при $C = 1$, $v_p = v$ и $\rho = \rho_1$ (т.е. рыбы не реагируют на трал) при $r^2 = F$, $\psi = 0$.

Отсюда относительное удержание равно

$$u = \frac{1}{\alpha t} (1 - e^{-\alpha t}), \quad (9)$$

Таким образом, в соответствии с теорией Ю.С. Сергеева относительный захват является функцией скоростей, а относительное удержание – функцией продолжительности траления.

Исследуя зависимость (8) при неограниченном времени траления, Ю.С. Сергеев приходит к понятию «предельный улов»

$$n_{\text{пр}} = \frac{m}{\alpha} \quad (10)$$

и затем к соотношению

$$\frac{n}{n_{\text{пр}}} = 1 - e^{-\alpha t}. \quad (11)$$

Отсюда можно получить зависимость относительного захвата через отношение улова к его предельному значению, т.е.

$$u = - \frac{\frac{n}{n_{\text{пр}}}}{\ln \left(1 - \frac{n}{n_{\text{пр}}} \right)}. \quad (12)$$

Легко убедиться из последнего соотношения, что при приближении улова к предельному значению относительный захват стремится к нулю.

Определяя неизвестные переменные через статистику уловов, Ю.С. Сергеев показал возможность применения своей теории к оценке эффективности тралов. Тем не менее главным недостатком теории является отсутствие связи коэффициента уловистости с конструктивными особенностями траловой системы.

Наибольший интерес представляет вероятностная теория уловистости Ю.В. Кадильникова [Кадильников, 1973; 1984; 1985], в которой уловистость трала является вероятностью сложного события, которое определяется как:

$$P = P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 P_8 P_9 P_{10}, \quad (13)$$

где P_1 – вероятность попадания рыбы между подборками трала; P_2 – вероятность попадания рыбы между досками трала; P_3 – вероятность захвата рыбы по трассе траления; P_4 – вероятность попадания рыбы между крыльями трала; P_5 – вероятность попадания рыбы в устье трала; P_6 – вероятность попадания рыбы в зону, облавливаемую мелкочейной частью; P_7 – вероятность удержания рыбы в трале при тралении; P_8 – вероятность удержания рыбы в мешке; P_9 – вероятность удержания рыбы при подъеме мешка; P_{10} – вероятность удержания рыбы в трале за время от входа последней стаи до начала подъема трала.

Анализ показывает, что конструкция трала может оказывать влияние только на члены с P_4 по P_8 . Остальные факторы зависят от квалификации экипажа, технического состояния и оснащённости судна, особенностей района и объекта лова.

Теория Ю.В. Кадильникова в отличие от рассмотренных ранее частично учитывает такие параметры, как раскрытия в отдельных частях траловой системы. Слабой стороной теории является отсутствие количественных связей формы трала и сведение поведенческих реакций объекта просто к вероятностным факторам.

В целом следует отметить, что ни один из рассмотренных (известных) подходов к определению коэффициентов уловистости не учитывает **конструкции тралов**.

Взаимодействие объекта и орудия в процессе лова

Процесс лова рыбы любым отцеживающим орудием включает в себя захват скопления, направление в удерживающую часть, а затем в зону накопления, из ко-

торой впоследствии улов попадает на судно. Результативность добычи на каждом из этих этапов зависит как от поведения объекта, так и от конструктивных особенностей орудий и временных факторов, режимов траления.

Подводные наблюдения показывают [Выскребенцев, 1970; Выскребенцев, Аронов, 1970; Коротков, 1969; 1988; 1990; Коротков, Кузьмина, 1972; Обвинцев, 1975; Серебров, Понков, 1982], что независимо от вида рыбы, последняя ведет себя в зоне действия трала в целом однообразно: в устьевой части не испытывает особого беспокойства, затем по мере прохода в сужающуюся часть беспокойство возрастает и достигает степени, когда рыба осуществляет отчаянные попытки уйти из облавливаемого пространства. Практически на всех этапах прохождения вдоль трала особи ориентированы головой в сторону устья (к выходу).

А.Л. Обвинцев [1975] на основе собственных подводных наблюдений выделяет определенные зоны в пространстве облова, в которых проявляются характерные изменения в поведении объекта. В частности, в зоне свободного пространства рыба реагирует на детали орудия (до сечения по гужу); в зоне спугивания (передняя часть трала) — особи отпугиваются поверхностью трала, хотя ячея позволяет свободно проходить; в зоне уплотнения (предмотенные секции и мелкоячейная мотенная часть) вся рыба ориентирована головой вперед и осуществляет попытки уйти, в том числе через поверхность трала. Кроме того, выделены зона накопления и формирования улова (мешок).

Неоднократно наблюдая эффект «воронки», когда в трал-воронку вливается больше, чем может пропустить сливное отверстие, А.Л. Обвинцев пришел к выводу: «Для эффективной работы трала в нем должен быть обеспечен перевод облавливаемой рыбы последовательно из одной зоны в другую и исключено перемещение объекта в обратном направлении. В идеальном случае интенсивность поступления рыбы в трал при установившемся режиме облова во всех зонах должна быть одинаковой».

Далее А.Л. Обвинцев делает важное заключение о том, что **уловистость** зависит прежде всего от **плотности** косяка, в частности, «процесс, при котором рыба принудительно выходит (прожимается) из трала, характеризует скорее размер встреченного косяка, чем уловистость трала».

Таким образом, из подводных наблюдений можно выделить следующие особенности поведения рыбы:

а) по мере прохождения скопления от устья к мешку плотность его увеличивается за счет сокращения дистанции между особями (косяк сжимается);

б) ярко выраженная реакция отпугивания, наблюдаемая в начальный период, по мере уплотнения скопления исчезает и наступает момент, когда преобладает реакция самосохранения, т.е. рыба любыми путями стремится покинуть зону облова.

Во всех подводных наблюдениях на проявление той или иной особенности поведения рыбы оказывали влияние конструкции конкретного трала и режим буксировки (скорость траления).

На основе анализа поведения объектов лова при взаимодействии их с тралом разграничим пространство облова на зоны, исходя из особенностей поведения рыбы и отличительных черт рассматриваемой части пространства облова. При этом характеристиками каждой зоны будет степень изоляции скопления от окружающего пространства, а характеристиками поведения — наличие той или иной реакции и возможность ее осуществления (табл. 1).

Согласно табл. 1 облавливаемое пространство можно условно разделить на четыре зоны. Зона спугивания, располагающаяся от досок до главного сечения (сечение по центру гужа верхней подборы), характеризуется тем, что косяк здесь не полностью изолирован деталями траловой системы от остального пространства: имеется возможность ухода вниз, вверх, между шлейфами досок и крыльями и т.д. В отличие от этой зоны, начиная от гужа до некоторого сечения траловой оболочки, скопление уже полностью изолировано от окружающей среды, рыба может уйти через поверхность орудия, но удерживается за счет сохранения у особей реакции отпугивания. В этой зоне за счет изменяющейся конусности трала происходит уплотнение скопления.

Зоны взаимодействия объекта и трала*

Наименование	Зона Границы	Степень изоляции скопления	Доминирующая реакция	Число возможных направлений объекта	
				Движение	Уход
Спугивания	Доски – главное сечение	Неполная	Отпугивания	$n_c = 6$	3
Захвата	Главное – критическое сечение	Условно полная	Отпугивания	$n_c = 6$	3
Удержания	Критическое сечение – мешок	Полная	Самосохранения	$6 > n_c \geq 1$	1
Накопления	Мешок	Полная	Самосохранения	$n_c = 1$	0

*В зоне взаимодействия скорость траления больше скорости движения рыбы.

В момент, когда плотность косяка достигнет некоторого предела, при котором инстинкт самосохранения возьмет верх над реакцией испуга, рыба перестает отпугиваться оболочкой и проявит стремление уйти через нее. Это сечение назовем «критическим», шаг ячеи поверхности трала в этом месте должен воспрепятствовать уходу. Естественно, что после критического сечения остается только одно направление возможного выхода из удерживаемого пространства – вперед по направлению движения трала. В качестве гипотезы можно предположить, что критический момент, т.е. период от реакции оборонительной к самосохранению, у особей появляется тогда, когда степень тесноты скопления начинает стеснять или ограничивать имевшиеся ранее возможные направления движения, например, разворот с минимальным диаметром циркуляции.

Зона удерживания заканчивается наименьшим раскрытием трала: сечением цилиндрической части мешка. К этому моменту теснота скопления может достичь предельного значения, при котором особи, если и сохраняют возможность движения, то только вперед по направлению траления.

Предложенный принцип разграничения на зоны, исходя из вида поведенческой реакции и ограничения степеней свободы перемещения рыбы, легко объясняет такие явления, как, например эффект «воронки», который, несомненно, появится, если теснота скопления достигнет критического значения до подхода мелкойячейной части трала либо предельного значения до подхода цилиндрической части мешка.

В зависимости от размеров косяка и его начальной плотности критическое и предельное значения тесноты могут располагаться на разных удалениях от начала зоны захвата (гуза). Например, если уже начальная плотность косяка будет равна предельной, то никакого сжатия скопления не произойдет, и улов может составить только доля, «вырезанная» предельным сечением траловой системы. И, наоборот, начальная плотность скопления может оказаться настолько малой, что даже в цилиндрической части мешка теснота не достигает предельного значения. Из примера следует, что коэффициент уловистости трала при облове косяков разного размера и плотности для одного и того же трала может оказаться различным.

Количественными характеристиками скопления рыбы будем считать: $2h$ – высота косяка, м; l_0 – длина рыбы модальная, м; d_1 – высота тела особи, м; ρ – объемная плотность скопления, кг/м³; d_0 – дистанция реакции на детали орудия лова, м.

Введем понятие «коэффициент тесноты скопления»

$$f = \frac{S}{d_1}, \quad (14)$$

равный отношению расстояния между соседними особями в стае к наибольшей высоте тела рыбы.

Критическое значение коэффициента тесноты в момент, когда рыбы в скоплении еще не потеряли возможности перемещения по всем направлениям, будет при

$$S_{\text{кр}} = 2D_{\rho},$$

где D_{ρ} – минимальный размер циркуляции.

Выразим минимальный размер циркуляции через длину рыбы

$$D_{\rho} = k_1 l_{\rho},$$

где k_1 – коэффициент ($k_1 = 2$), тогда

$$f_{\text{кр}} = 2k_1 \left(\frac{l_{\rho}}{d_1} \right). \quad (15)$$

Предельное расстояние между рыбами некоторые исследователи ограничивают амплитудой размаха хвостового плавника, т.е.

$$S_{\text{кр}} = k_2 l_{\rho},$$

где k_2 – отношение между амплитудой размаха хвостового плавника и длиной рыбы ($k_2 = 0,5$). Отсюда

$$f_{\text{пр}} = k_2 \frac{l_{\rho}}{d_1}. \quad (16)$$

Таким образом, критический и предельный коэффициенты тесноты скопления зависят в значительной степени от постоянных для каждого вида объекта характеристик. Еще большим постоянством отличается отношение

$$\frac{f_{\text{кр}}}{f_{\text{пр}}} = 2 \frac{k_1}{k_2}. \quad (17)$$

Если критическая и предельная теснота скопления для каждого вида имеют практически постоянное значение, то коэффициент тесноты скопления, когда рыба находится в естественном состоянии, колеблется в очень широких пределах.

Определим связь между плотностью скопления и коэффициентом тесноты. Так, при расстоянии между рыбами в поперечных направлениях S объем пространства занимаемый одной особью, равен

$$v_{\rho} = l_{\rho}(S + d_1)^2,$$

а плотность

$$\rho = \frac{1}{v_{\rho}} = \frac{1}{d_1^2 l_{\rho} (1 + f)^2}. \quad (18)$$

Отсюда предельная и критическая плотность скопления равны

$$\rho_{\text{пр}} = \frac{1}{d_1^2 l_{\rho} (1 + f_{\text{пр}})^2}, \quad \rho_{\text{кр}} = \frac{1}{d_1^2 l_{\rho} (1 + f_{\text{кр}})^2}. \quad (19)$$

Из (18) и (19) найдем определение плотностей скопления по сечениям к предельной тесноте скопления

$$\rho = \rho_{\text{ор}} \left(\frac{1 + f_0}{1 + f} \right)^2, \quad \rho = \rho_{\text{пр}} \left(\frac{1 + f_{\text{пр}}}{1 + f} \right)^2, \quad \rho_0 = \rho_{\text{пр}} \left(\frac{1 + f_{\text{пр}}}{1 + f_0} \right)^2, \quad \rho_{\text{кр}} = \rho_{\text{пр}} \left(\frac{1 + f_{\text{пр}}}{1 + f_{\text{кр}}} \right)^2. \quad (20)$$

Количество рыб по вертикали, очевидно, будет равно высоте скопления, деленному на расстояние между соседними рыбами, включая высоту тела особи, т.е.

$$N = \frac{2h}{S + d_1}.$$

Если принять условие, что размеры трала оптимальны, отсутствует эффект «воронки», то имеем одинаковое количество рыб по высоте при прохождении каждого сечения, поэтому

$$\frac{h_0}{S_0 + d_1} = \frac{h}{S + d_1}, \quad (21)$$

где h_0 , S_0 – полувысота косяка и расстояние между рыбами в главном сечении. Таким образом, степень сжатия скопления в каждый момент

$$E = \frac{h}{h_0} = \frac{1 + f}{1 + f_0}, \quad (22)$$

а высота скопления в каждый момент независимо от характера прохождения рыбы (порциями или непрерывно) равна

$$h = h_0 \frac{1 + f}{1 + f_0}. \quad (23)$$

В критическом и предельном сечениях получим

$$h_{кр} = h_0 \frac{1 + f_{кр}}{1 + f_0}, \quad h_{пр} = h_0 \frac{1 + f_{пр}}{1 + f_0}. \quad (24)$$

Отсюда получаем условие, необходимое для прохождения скопления захвата и удерживающей зон без эффекта «воронки»

$$h = h_{пр} \frac{1 + f}{1 + f_{пр}}. \quad (25)$$

Полученные условия не являются достаточными, так как в зависимости от скорости траления косяк может просто не успеть сжаться, чтобы пройти через то или иное сечение трала и часть рыбы либо «просеется» через поверхность, если такая ситуация произошла до критического сечения, либо «лишняя» рыба будет неизбежно выливаться перед удерживающей зоной, если это случилось между критическим и предельным сечениями. Ниже будет рассмотрено дополнительное достаточное условие для беспрепятственного прохождения скопления по всей длине трала, которое определит необходимое расстояние между главным, критическим и предельным сечениями.

Уловистость трала

Эталонная форма направляющей и удерживающей зон. Улавливающая способность зоны захвата зависит от ряда факторов, среди которых наиболее важное значение имеют следующие:

- а) скорость и направление косяка до попадания в зону захвата;
- б) размеры и пространственное расположение косяка;
- в) квалификация, опыт судоводительского состава судна;
- г) оснащенность судна гидроакустическими приборами и их совершенство;
- д) скорости траления;
- е) соотношение размеров и раскрытий устья с размерами скопления, а также конструкция элементов трала (доски, кабели и т.д.).

Осуществим попытку определить такую форму зон захвата, удерживающей и накопления, для которой исключается выход рыбы через поверхность оболочки. Тогда, приняв эту форму за эталон, путем сравнения ее с формой реальных тралов появляется реальная возможность рассчитать выход рыбы из этих зон действия, т.е. оценить уловистость промысловых орудий.

На основе принятых условий [Карпенко и др., 2000] вертикальное раскрытие трала (рис. 1) должно быть не меньше, чем

$$H \geq 2z_0 = 2(h_0 + d_0), \quad (26)$$

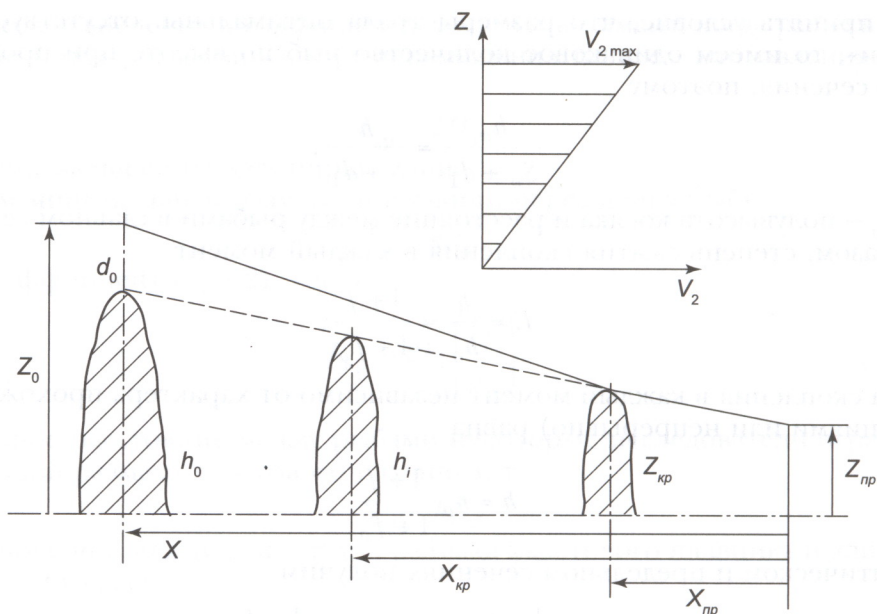


Рис. 1. Схема прохождения скопления через зоны захвата, удерживающую и накопления

где z_0 — полураскрытие в главном сечении, м; h_0 — полувысота скопления, м; d_0 — дистанция реагирования рыбы на детали трала, м.

Поскольку объект лова до достижения критической плотности отпугивается поверхностью, в зоне захвата раскрытие эталонной оболочки может превышать размеры скопления, т.е. на этом участке имеет место условие

$$z > h. \quad (27)$$

В критическом сечении реакция отпугивания изменяется на реакцию самосохранения, поэтому в последующих зонах удержание рыбы происходит за счет размера ячеи. При этом эффект «воронки» исключен при условиях

$$z_{\text{пр}} \geq h_{\text{кр}}, \quad z_{\text{кр}} \geq h_{\text{пр}}. \quad (28)$$

Наибольший шаг ячеи в критическом сечении определяется из зависимости

$$a_{\text{кр}} \leq 0,5l_i \left(0,3 \frac{v}{v_1} \cos^2 \alpha_{\text{тр}} + \frac{m_i}{\sin \beta} \right), \quad (29)$$

где m_i — отношение высоты тела рыбы d_i к ее длине l_i ; β — посадочный угол в критическом скоплении; v_1, v — скорости рыбы и траления, м/с; $\alpha_{\text{тр}}$ — угол атаки сетного полотна в критическом сечении, °.

Из условий (26), (27) и (28) с учетом ранее полученных зависимостей получаем

$$z_0 = h_0 + d_0, \quad z_{\text{пр}} = h_0 \frac{1 + f_{\text{пр}}}{1 + f_0}, \quad z_{\text{кр}} = h_0 \frac{1 + f_{\text{кр}}}{1 + f_0}, \quad \frac{z_{\text{пр}}}{z_{\text{кр}}} = h_0 \frac{1 + f_{\text{кр}}}{1 + f_{\text{пр}}}. \quad (30)$$

Площадь сечения в любой части рассматриваемых зон равна

$$\Omega_h = \pi h^2 \quad (31)$$

или на основании (22)

$$\Omega_h = \pi h_0^2 \left(\frac{1 + f}{1 + f_0} \right)^2, \quad (32)$$

а минимальная площадь главного сечения будет

$$\Omega_0 = \pi (h_0 + d_0)^2. \quad (33)$$

Интенсивность процесса сжатия скопления при прохождении вдоль трала зависит от физиологических возможностей рыбы. А.Л. Фридман [Серебров, Понков, 1982] отмечает, что скорость перемещения различных рыб по вертикали не превышает $v_{2max} = 0,7$ м/с.

Наряду с этим, видимо, следует ожидать, что по мере возрастания тесноты косяка скорость сжатия будет убывать и при достижении предельной тесноты вертикальное перемещение особей прекратится. Принимая уменьшение скорости сжатия косяка по вертикали линейному закону (см. рис. 1), можно положить

$$\frac{h}{h_0} = \frac{v_2}{v_{2max}}, \quad (34)$$

где

$$v_2 = -\frac{dh}{dt}. \quad (29)$$

При скорости траления $v = dx/dt$, исключая время получим

$$\frac{h}{h_0} = -\left(\frac{v_2}{v_{2max}}\right) \frac{dh}{dx} \quad \text{или} \quad \frac{dh}{h} = -\left(\frac{v_{2max}}{v}\right) \frac{dx}{h_0}.$$

Интегрируя в пределах $[0, x]$ и $[h_0, h]$ находим форму образующей эталона зон взаимодействия от главного сечения до предельного

$$h = h_0 e^{-\frac{v_{2max} x}{v h_0}}. \quad (35)$$

Поскольку угол образующей равен

$$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{dh}{dx}\right),$$

то

$$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{v_{2max} h}{v h_0}\right). \quad (36)$$

В критическом и предельных сечениях углы атаки эталона равны

$$\alpha_{кр} = \text{arctg}\left(\frac{v_{2max} h_{кр}}{v h_0}\right), \quad \alpha_{пр} = \text{arctg}\left(\frac{v_{2max} h_{пр}}{v h_0}\right) \quad (37)$$

или

$$\alpha_{кр} = \text{arctg}\left(\frac{v_{2max}}{v} \frac{1+f_{кр}}{1+f_0}\right), \quad \alpha_{пр} = \text{arctg}\left(\frac{v_{2max}}{v} \frac{1+f_{пр}}{1+f_0}\right). \quad (38)$$

Таким образом, эталонная форма зон захвата и удержания определяется высотой косяка, его начальной плотностью, максимальной физиологической скоростью погружения рыбы и скоростью траления.

Из исследования определяем достаточное условие отсутствия эффекта «воронки» при лове. Так, из (35) получим

$$x = -h_0 \frac{v}{v_{2max}} \ln\left(\frac{h}{h_0}\right) \quad (39)$$

или

$$x = -h_0 \frac{v}{v_{2max}} \ln\left(\frac{1+f}{1+f_0}\right), \quad (40)$$

т.е. в любом сечении захвата и удерживающей зон уплотнение косяка связано с расстоянием этого сечения от гужа и скоростью траления. При этом чем больше начальная плотность косяка или скорость траления, тем длиннее должен быть трал, а угол атаки пластей меньше. В пределе, если бы начальная плотность косяка была равной предельной, для избежания эффекта «воронки» трал должен быть в виде цилиндра с основанием равным главному сечению.

Рассмотрим выход рыбы из трала на участке главное сечение — зона накопления путем сравнения формы поверхности эталона, рассмотренной выше, и реальной оболочки трала (см. рис. 1). Как видно по рисунку, если реальная форма трала не совпадает с формой эталона или не перекрывает ее, то следует ожидать неизбежного выхода рыбы из пространства облова.

Допустив, что через главное сечение уходит N_1 количества рыбы, рассмотрим прохождение порции скопления высотой в главном сечении $2h_0$ вдоль трала. Введем коэффициент захвата, равный отношению массы захваченной рыбы и входившей в трал

$$\psi_1 = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{Q_1 - N_1}{Q_1} = 1 - \frac{N_1}{Q_1},$$

где секундная масса входившей рыбы — $Q_1 = \rho_1 \Omega_{h_0} v$, а секундная масса выходящей рыбы — $N_1 = \rho_2 \Omega_{h_0} (v_1 - v)$, ρ_1 и ρ_2 — плотность скоплений, $1/\text{м}^3$.

Отсюда коэффициент захвата равен

$$\psi_1 = 1 - \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{v_1}{v} - 1 \right). \quad (41)$$

Решим уравнение относительности скорости траления

$$v = \frac{v_1}{1 + \frac{\rho_1}{\rho_2} (1 - \psi_1)}. \quad (42)$$

Найдем предельные скорости траления. Нулевая скорость, очевидно, соответствует нулевому коэффициенту захвата, т.е.

$$v_0 = \frac{v_1}{1 + \frac{\rho_1}{\rho_2}}. \quad (43)$$

Наибольшее же значение скорости траления, которую имеет смысл поддерживать, не принимая во внимание экономические соображения, соответствует $\psi_1 = 1$, иначе $v_{\max} = v_1$.

Нулевая скорость в процессе лова также не остается постоянной. При начале лова, когда в трал заходят первые порции рыбы, $\rho_1 = \rho_2$ и $v_0 = v_1/2$, а затем с ростом концентрации в трале нулевая скорость повышается.

Анализ формулы (40) показывает, что интенсивность захвата по мере роста улова уменьшается и (при $\rho_1 = \text{const}$ $v = \text{const}$), когда концентрация в устье достигнет

$$\rho_{2\max} = \frac{\rho_1}{\frac{v_1}{v} - 1}, \quad (44)$$

процесс захвата прекращается. Этот вывод подтверждается практикой лова и рассмотренными выше исследованиями. Причем, как следует из (44), момент «насыщения» наступает тем быстрее, чем выше скорость траления или начальная плотность скопления.

Трудности использования формулы (41), где неизвестны плотности скопления (поступающая и в трале), усугубляются переменным значением ρ_2 . Заменим отношение плотностей их средним значением

$$\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)_{\text{ср}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\rho_1}{\rho_{2\text{max}}}\right).$$

Тогда после подстановки в формулу (42) среднее значение коэффициента захвата устья равно

$$\Psi_1 = \frac{2v}{v_1} - 1, \quad (45)$$

где скорость рыбы обычно является функцией ее длины. Например, В.Н. Мельников рекомендует для донных рыб $v_1 = (3+4)l_p$, а для пелагических $v_1 = (6+12)l_p$.

По Н.Н. Андрееву [1970], максимальная скорость движения рыбы (м/с), длиной равной или более 7 см, определяется по следующей формуле:

$$v_1 = \frac{k_1 l_p + k_2}{100}, \quad (46)$$

где l_p — общая длина рыбы (от начала рыла до конца хвостового плавника); k_1, k_2 — эмпирические коэффициенты для рыб разных групп.

Таблица 2

Значения эмпирических коэффициентов для рыб разных групп

Номер группы	Характеристика рыб группы	Типичные представители	Численные значения коэффициентов	
			k_1	k_2
1	Быстрые, сильные, крупные рыбы	Тунец, лосось, пелагида, скумбрия, ставрида	4	220
2	Стайные и хищные рыбы	Сельдь, сардина, тресковые, кефаль	3	65
3	Частиковые рыбы	Сазан, карась, карп, луциановые, скаровые	2	50
4	Малоподвижные рыбы	Бычки, налимы, морские окуни	1	25

Максимальная скорость рыб (м/с) длиной менее 7 см может быть определена по формуле Ю.В. Кадильникова [1984]

$$v_1 = 0,04l_p^{1,18}. \quad (47)$$

Таким образом, доля рыбы, вышедшей из трала в направлении траления, зависит только от скорости траления.

Коэффициент удержания является функцией длины, максимальной и вертикальной скоростей рыб каждого размера, высоты скопления в данном сечении оболочки трала, а также геометрических характеристик секций трала (раскрытий, шага ячей, коэффициентов посадки, углов атаки полотна).

Определение коэффициентов удержания в той или иной части трала проводят путем сравнения формы эталона (траектория рыбы данного размера, находящейся на границе скопления вдоль трала) с формой трала в данном сечении (рис. 2), т.е. условия

$$\alpha_\rho < \alpha_{mp},$$

где α_{mp} — угол атаки сетного полотна; α_ρ — угол наклона траектории рыбы к оси трала.

При этом принято, что рыбы каждого размера имеют равную вероятность оказаться по краю скопления, а скорость вертикального перемещения рыбы (сжатие косяка) по центральной оси трала равна нулю.

Коэффициенты удержания имеют следующие значения для различных вариантов (см. рис. 2):

1 вариант

$$\begin{aligned} X_{mp.кр} &\geq X_{эт.кр} \\ Z_{mp.кр} &\geq h_{эт.кр} \\ Z_{mp.нр} &\geq h_{эт.нр} \end{aligned} \quad \psi_2 = 1,0$$

2 вариант	$X_{тр.кр} \geq X_{эт.кр}$ $Z_{тр.кр} \geq h_{эт.кр}$ $Z_{тр.нр} < h_{эт.нр}$	$\psi_2 = Z_{тр.нр}^2 / h_{эт.нр}^2$
3 вариант	$X_{тр.кр} < X_{эт.кр}$ $Z_{тр.кр} < h_{эт.кр}$ $Z_{тр.нр} < h_{эт.нр}$	$\psi_2 = Z_{тр.нр}^2 / h_{эт.нр}^2$
4 вариант	$X_{тр.кр} \geq X_{эт.кр}$ $Z_{тр.кр} < h_{эт.кр}$ $Z_{тр.нр} \geq h_{эт.нр}$	$\psi_2 = Z_{тр.кр}^2 / h_{эт.кр}^2$

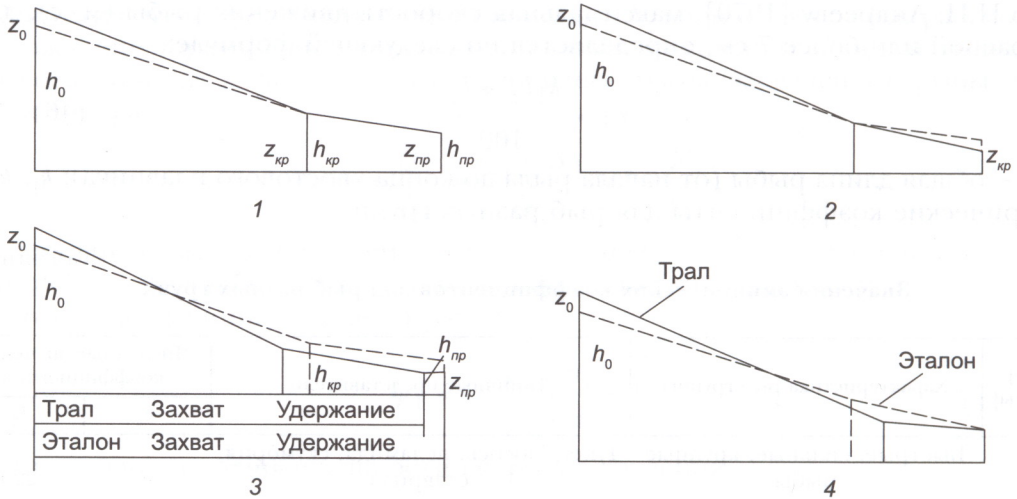


Рис. 2. Варианты захвата и удержания рыбы тралом

В критическом сечении реакция отпугивания изменяется на реакцию самосохранения, поэтому в последующих частях трала удержание происходит за счет размера ячеи. Наибольший шаг ячеи в критическом сечении определяют из зависимости (29).

Вышесказанное касается направляющей и удерживающей зон, в аккумулярующей зоне (мешке) принимается во внимание отсев рыб через ячею, поскольку часть рыб, находящихся внутри косяка, не имела возможности выйти через поверхность:

$$\Psi_3 = \frac{1}{\left[1 + e^{\frac{l_{\max}(l_{50} - l_i)}{a l_{\min}}} \right]}, \quad (48)$$

где l_{\max} , l_{\min} , l_{50} — соответственно максимальная, минимальная длина рыб в улове и длина, при которой отсеивается 50% рыб; a — шаг ячеи.

Длина рыб при отсеиве 50%

$$l_{50} = k_s B = 2ak_s, \quad (49)$$

где k_s — коэффициент селективности; B — внутренний размер ячеи.

Для практических расчетов можно принять, что

$$l_{50} = (0,7 - 0,9) \left(\frac{l_{\max} + l_{\min}}{2} \right). \quad (50)$$

Дифференциальная уловистость трала. Дифференцированные коэффициенты уловистости для рыб разной длины φ_i определяются произведением коэффициентов захвата, удержания и отсева рыб из мешка:

$$\varphi_i = \psi_1 \psi_{2i} \psi_{3i}. \quad (51)$$

Зависимость дифференцированных коэффициентов уловистости от длины рыб определяет кривую дифференциальной уловистости трала

$$\varphi_i = f(l_i). \quad (52)$$

Выводы

1. Масса обловленного скопления P_o определяется с использованием кривой дифференциальной уловистости

$$P_o = \sum P_{oi} = \sum \frac{P_{ули}}{\varphi_i} = \sum \frac{P_{ули} n_i G_i}{\varphi_i \sum (n_i G_i)}, \quad (53)$$

где P_{oi} — масса рыб длиной l_i в скоплении; $P_{ули}$ — масса рыб длиной l_i в улове; n_i — количество рыб длиной l_i в пробе улова; G_i — масса рыбы длиной l_i .

2. Размерный состав скопления по массе определяется как

$$\frac{P_{oi}}{\sum P_{oi}} 100\% = f(l_i).$$

3. Количество рыб длиной l_i в скоплении определяется как

$$n_{oi} = \frac{P_{oi}}{G_i}.$$

4. Размерный состав скопления определяется следующим образом:

$$\frac{n_{oi}}{\sum n_{oi}} 100\% = f(l_i).$$

Литература

- Андреев Н.Н. 1970. Проектирование кошельковых неводов.— М.: Пищевая промышленность.— 278 с.
- Баранов Ф.И. 1960. Техника промышленного рыболовства.— М.: Пищевая промышленность.— 966 с.
- Выскребенцев Б.Ф. 1970. Поведение рыб в зоне действия тралящих орудий лова // Биологические основы управления поведением рыб.— М.: Наука.— С. 267–302.
- Выскребенцев Б.Ф., Аронов М. П. 1970. Подводные наблюдения в зоне действия орудий лова // Рыбное хозяйство. № 2.— С. 40–43.
- Заферман М. Л. 1976. Измерение коэффициента уловистости тралящих орудий лова // Рыбное хозяйство. № 3.— С. 51–52.
- Ионас В. А. 1967. Производительность трала.— М.: Пищевая промышленность.— 52 с.
- Кадильников Ю.В. 1973. Основные направления вероятностного подхода к оценке эффективности орудий рыболовства и определения зон их действия с использованием теории поиска // Обзорная информация ЦНИИТЭИРХ.— 67 с.
- Кадильников Ю.В. 1984. Статистический метод определения интенсивности вылова и зачем нужно знать обловленный объем // Рыбное хозяйство. № 8.— С. 62–65.
- Кадильников Ю.В. 1985. В. Основные положения и результаты статистической теории рыболовных тралов: Теория промышленного рыболовства и проектирование орудий лова // Труды ВНИРО.— М.: ВНИРО.— С. 37–53.
- Карпенко Э.А., Лапшин О.М., Акишин В.В. 2000. Определение размерного состава скопления по характеристикам улова.— М.: МДС.— 32 с.
- Коротков В. К. 1969. Поведение некоторых видов рыб в трале // Вопр. ихтиологии. Т. 9. Вып. 6.— С. 1110–1117.
- Коротков В.К., Кузьмина А.С. 1972. Трал, поведение объекта и наблюдения за ними.— М.: Пищепромиздат.— 269 с.
- Коротков В.К. 1990. Поведение ставриды в зоне облова разноглубинного трала // Совершенствование орудий промышленного рыболовства в связи с поведением гидробионтов // Труды ВНИРО.— М.: ВНИРО.— С. 23–32.
- Коротков В.К. 1988. Реакция рыб на трал, технология их лова.— Калининград: Страж Балтики.— 397 с.
- Никонофов И.В. 1973. Взаимодействие орудий лова со скоплениями рыб.— М.: Пищевая промышленность.— 235 с.

Обвинцев А.Л. 1975. О взаимодействии объекта лова с тралом // Рыбное хозяйство. № 1.— С. 48–51.

Сергеев Ю.С. 1979. Основы теории лова ставными неводами и тралами.— М.: Пищевая промышленность.— 142 с.

Серебров Л.И., Понков Г.В. 1982. Определение коэффициента уловистости донного трала с помощью БПА «Тетис» // Рыбное хозяйство. № 8.— С. 59–61.

Фридман А.Л. 1981. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства.— М.: Легкая и пищевая промышленность.— 328 с.

УДК 639.2.081.117.004.17:639.223.5

Оценка уловистости тралов на промысле минтая и определение структуры его облавливаемых скоплений

Э.А. Карпенко (ВНИРО)

Оценка уловистости трала проводится на основе известных стереотипов поведения рыбы в орудии лова, все параметры которого известны [Карпенко и др., 1997].

Процесс лова рыбы любым отцеживающим орудием включает захват скопления, направление в удерживающую часть, а затем в зону накопления, из которой впоследствии улов попадает на судно. Результативность добычи на каждом из этих этапов зависит как от поведения объекта, так и от конструктивных особенностей орудий лова и временных факторов, режимов работы.

Подводные наблюдения показывают [Коротков, Кузьмина, 1972; Обвинцев, 1975], что независимо от вида рыба ведет себя в зоне действия трала в целом одинаково: в устьевой части не испытывает особого беспокойства, затем по мере прохода в сужающуюся часть трала ее беспокойство возрастает и достигает такой степени, что она предпринимает отчаянные попытки уйти из облавливаемого пространства. Практически на всех этапах прохождения вдоль трала особи ориентированы головой в сторону устья (к выходу).

Известен эффект «воронки», когда в трал входит водо-рыбной смеси больше, чем ее может пропустить сливное отверстие — «куток». Поэтому для эффективной работы трала должен обеспечиваться перевод облавливаемой рыбы последовательно из одной зоны в другую во избежание перемещения объекта в обратном направлении. В идеальном случае интенсивность поступления рыбы в трал при установившемся режиме облова во всех зонах должно быть одинаковой [Обвинцев, 1975].

Пространство облова было нами разграничено на зоны исходя из особенностей поведения рыбы и отличительных черт рассматриваемой части пространства облова. При этом характеристикой зоны является степень изоляции скопления от окружающего пространства, а характеристиками поведения служат наличие той или иной реакции и возможность ее осуществления.

Облавливаемое пространство можно условно разделить на четыре зоны. **Зона спугивания**, располагающаяся от досок до сечения по центру верхнего гужа характеризуется тем, что косяк рыбы здесь не полностью изолирован элементами траловой системы от остального пространства: имеется возможность ухода вверх, между шлейфами досок и крыльями и т.д. В отличие от зоны спугивания в зоне, начиная от гужа до некоторого сечения траловой оболочки, косяк уже полностью изолирован от окружающей среды, рыба может уйти через поверхность орудия, но удерживается за счет сохранения у особой оборонительной реакции.