

Результаты исследований зависимостей силы цели рыб *in situ* от длины для трески, путассу и мойвы в Баренцевом и Норвежском морях

Канд. техн. наук В.А. Ермольчев – лаборатория промысловой гидроакустики и подводных исследований ПИНРО

Тралово-акустические съемки (ТАС) по оценке запасов морских рыб основаны на периодическом измерении эхолотом вдоль галсов стратифицированной съемки величин S_A – коэффициентов обратного поверхностного рассеяния звука скоплением рыб в исследуемом слое (в м²/миля²). Затем для каждой страты определяют среднее значение $\overline{S_A}$, величины $\overline{S_{A_j}}$ для каждого размерного класса j : $\overline{S_{A_j}} = (p_j \sigma_j / \sum p_j \sigma_j) \overline{S_A}$ – и средние плотности $\overline{\rho_j}$ скопления рыб для каждого размерного класса j (в количестве рыб на милю²): $\overline{\rho_j} = \overline{S_{A_j}} / \sigma_j = p_j \overline{S_A} / \sum p_j \sigma_j$, где p_j – доля рыб размерного класса j в скоплении; σ_j – среднее акустическое поперечное сечение рассеяния одной рыбы размерного класса j (в м²). Затем плотности $\overline{\rho_j}$ суммируют по всем размерным классам, определяют численность рыб для каждой страты и всего района. Величину $\overline{\sigma}$ обычно выражают в логарифмической форме через силу цели TS рыб (в дБ):

$$TS = 10 * \log(\overline{\sigma} / 4\pi) = B * \log(TL) + A .$$

ТАС интенсивно развиваются, но остаются проблемы, связанные с повышением точности оценок плотности $\overline{\rho_j}$. Одна из таких проблем – определение зависимости силы цели TS рыб в естественной среде обитания (*in situ*) от их длины TL (*Total Length*) в разные периоды жизненного цикла рыб, в разные сезоны года, в дневное и ночное время и на разных глубинах.

В настоящее время при выполнении ТАС по оценке запасов трески, путассу, сайки и мойвы в Баренцевом и Норвежском морях используются научные эхолоты *SIMRAD EK500* и *SIMRAD EK60* и предложенные норвежскими специалистами из Бергенского института морских исследований (*IMR*) следующие зависимости силы цели TS от длины рыб TL .

Для трески, пикши, путассу и сайки:

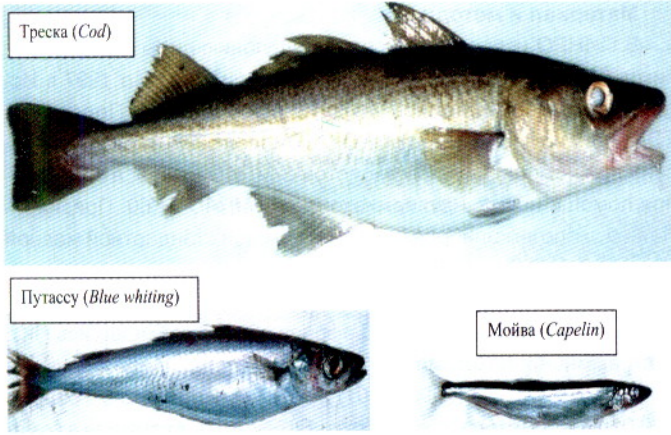
$$TS1(\text{Cod, IMR}) = 21.8 * \log(TL) - 72.7 . \quad (1)$$

Для трески:

$$TS2(\text{Cod, IMR}) = 20 * \log(TL) - 68 . \quad (2)$$

Для мойвы:

$$TS(\text{Capelin, IMR}) = 19.1 * \log(TL) - 74.0 . \quad (3)$$



Зависимости (1) и (3) получены более 20 лет назад (в 1976 – 1982 гг.), при использовании эхолотов SIMRAD EK-S-38 с однолучевыми антеннами и аналоговых эхо-интеграторов (Dalen et al., 1976; Dalen and Smedstad, 1979; 1983; Dommasnes and Rottingen, 1985). Причем зависимость (1) получена на скоплениях молодой трески и пикши. Среднюю силу цели рыб определяли косвенным способом, путем определения плотности скопления рыб и одновременного эхо-интегрирования. Плотность скопления рыб определяли по количеству и протяженности эхо-трасс одиночных рыб на самописце эхолота. И способ, и аппаратура уже не удовлетворяют современным требованиям к точности измерений. К тому же зависимость (1) стали применять для оценки запасов не только молодой трески и пикши, но трески и пикши всех размерных классов, а также для оценки запасов сайки, а затем и путассу (Report of the international acoustic survey on blue whiting in the Norwegian Sea, July/August 1982. CM ICES. 1982/H:5. 21 pp.), что нельзя признать обоснованным.

В 1985 – 1991 гг. норвежским специалистам при помощи эхолотов ES380 и EK500 с расщепленным лучом антенны удалось определить силы цели трески *in situ* для трех размеров: 5; 55 и 81,6 см; $TS = -55, -30$ и $-30,6$ дБ соответственно (Foote, Aglen, Nakken, 1986; Ona, 1991). На основании этих данных ими предложена (Ona, 1991) зависимость (3), которая вызывает сомнения из-за малого объема данных и из-за того, что сила цели трески длиной 81,6 см оказалась меньше силы цели трески длиной 55 см.

Канадские исследователи из института FMI выполнили в районе Ньюфаундленда в 1990 – 1992 гг. измерения силы цели трески *in situ* (Rose and Porter, 1996), а в 1998 – 2001 гг. – силы цели мойвы *in situ* (Rose, 1998; O'Driscoll and Rose, 2001). Для определения силы цели трески использовалась двухлучевая акустическая система фирмы Biosonics; силы цели мойвы – научный эхолот SIMRAD EK500 (38 кГц) с расщепленным лучом антенны. Были получены более обоснованные уравнения силы цели для трески и мойвы.

Для трески:

$$TS(\text{Cod, FMI}) = 26.1 * \log(TL) - 75.7; R^2 = 0.84; SE = 1.9; n = 39 \quad (4)$$

Для мойвы:

$$TS(\text{Capelin, FMI}) = 23.3 * \log(TL) - 77.1; R^2 = 0.95; SE = 0.8; n = 6, \quad (5)$$

В данной статье приводятся результаты исследований силы цели трески, путассу и мойвы *in situ*, проведенных в ПИНРО в 1997 – 2005 гг.

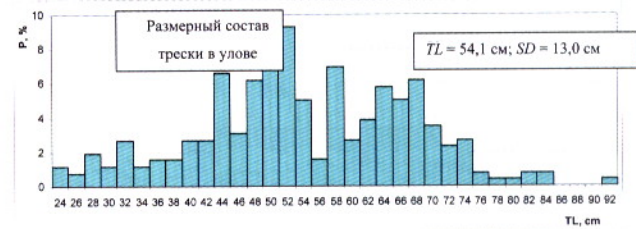
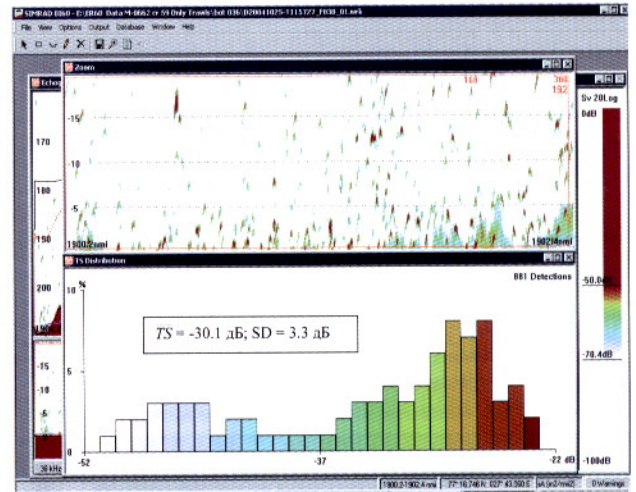


Рис. 1. Пример обработки программой постобработки B160 v.2.1.1 эхо-сигналов, зарегистрированных эхолотом SIMRAD EK60 на скоплениях трески в зоне облова, и размерный состав трески в улове донного траля

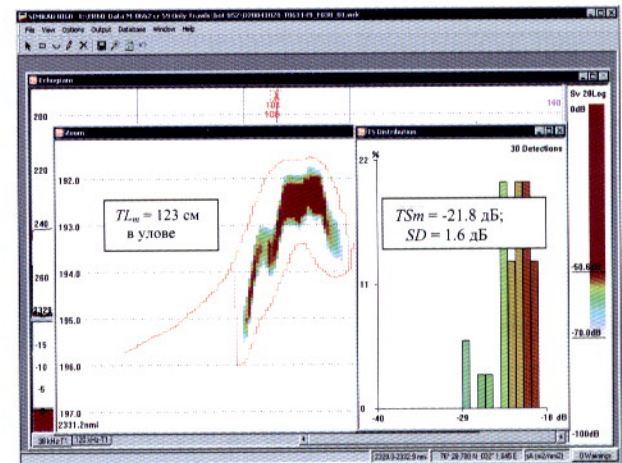
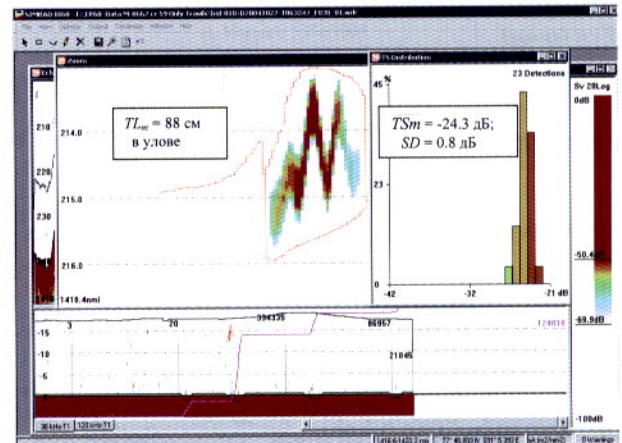


Рис. 2. Примеры обработки программой постобработки B160 v.2.1.1 эхо-трасс одиночных рыб в зоне облова с максимальными значениями силы цели

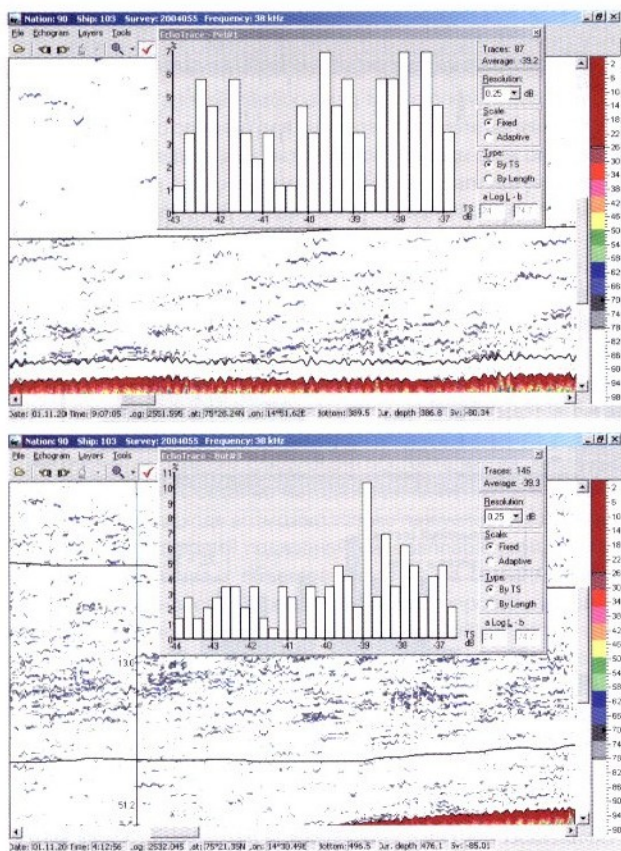


Рис. 3. Примеры эхограмм постобработки данных эхолота SIMRAD EK60 программой FAMAS на скоплениях путассу в зоне облова; в уловах средняя длина путассу $TL = 26,1$ см (вверху) и $24,9$ см (внизу)

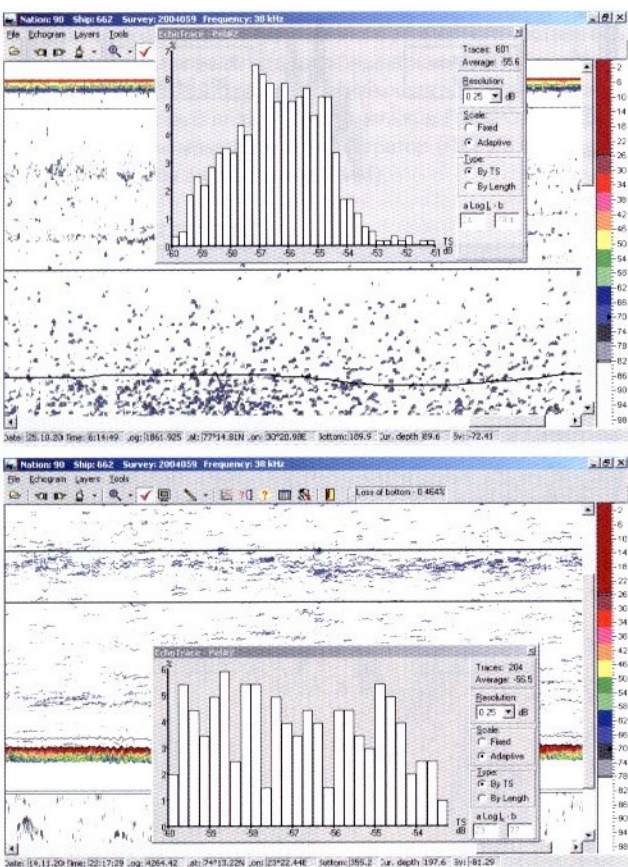


Рис. 4. Примеры эхограмм постобработки данных эхолота SIMRAD EK60 программой FAMAS на скоплениях мойвы в зоне облова; в уловах средняя длина мойвы $TL = 8,8$ см (вверху) и $6,2$ см (внизу)

Материал и методика

В ПИНРО исследования по определению силы цели трески, пикши, сайки, путассу и мойвы *in situ* были начаты в 1997 г. Исследования выполнялись на НПС «Персей-3», «Персей-4», «Олайне» и НИС «АтлантНИРО», «Смоленск» и «Фридьёф Нансен» при помощи научных эхолотов SIMRAD EK500, а с 2004 г. – при помощи нового научного эхолота SIMRAD EK60. Предварительно эхолоты калибровались при помощи стандартной медной сферы. Скопления рыб облавливались донными и пелагическими травами с мелкоячейными вставками. Для сбора и постобработки данных о силе цели рыб в зонах облова применялись ПК с программными пакетами LTSD100 и FAMAS, разработанными в ПИНРО (Ермольчев, 1999; 2001) и ТИНРО (Николаев и Убарчук, 2004), и программа постобработки B160 v.2.1.1, входящая в комплект эхолота SIMRAD EK60.

Затем использовались два вида акустической и биологической информации. Первый – распределение силы цели и средняя сила цели \overline{TS} рыб в зоне облова, с одной стороны, и размерный состав и средняя длина \overline{TL} рыб в улове – с другой стороны. Сопоставление средней силы цели \overline{TS} рыб в зоне облова со средней длиной \overline{TL} рыб в улове позволяет определить зависимости силы цели рыб от их длины только для рыб малых и средних размерных классов (от 5 до 70 см), так как средние значения переменных величин всегда меньше их максимальных значений.

Второй вид информации – эхо-трассы одиночных рыб с максимальными значениями силы цели TS_{max} в зоне облова, с одной стороны, и максимальные размеры TL_{max} рыб в улове – с другой. Сопоставление максимальных значений силы цели TS_{max} в зоне облова с максимальной длиной TL_{max} рыб в улове позволяет определить зависимости силы цели рыб от их длины для рыб средних и максимальных размерных классов с учетом того, что максимальные силы цели рыб в зоне облова соответствуют максимальной длине рыб в улове.

Оба вида информации обладают своими достоинствами и недостатками. При использовании первого вида информации погрешность определения силы цели зависит от:

селективности трава, влияющей на точность определения средней длины рыб в скоплении по средней длине рыб в улове. Чтобы уменьшить влияние селективности, применяют трава с мелкоячейными вставками;

неопределенности выбора минимального порога регистрации силы цели для отделения распределений силы цели рыб данного вида от распределений силы цели других, более мелких объектов, перекрывающихся распределениями силы цели рыб данного вида. Чтобы уменьшить эту погрешность, из всех тралений отбираются те, в уловах которых доминирует рыба данного вида ($\geq 80\%$), доля других видов рыб минимальная, а распределения силы цели рыб данного вида и других объектов не перекрываются между собой, создают общие многомодальные распределения, из которых можно выделить распределения силы цели рыб данного вида;

несовершенство работы в эхолотах селекторов эхо-сигналов от одиночных рыб: эхо-сигналы от двух и более близко расположенных друг к другу рыб перекрываются между собой и идентифицируются селектором эхо-сигналов как эхо-сигналы от одиночных рыб, что приводит к переоценке силы цели. Чтобы уменьшить эту погрешность, измерения выполняются на разреженных скоплениях, в которых количество перекрывающихся эхо-сигналов минимальное.

При использовании второго вида информации могут быть следующие случаи:

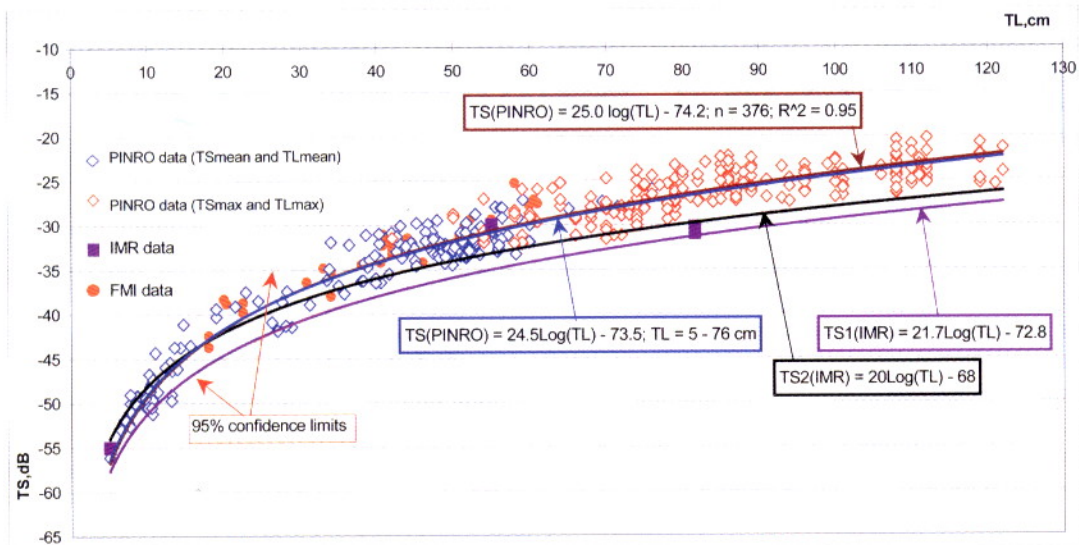


Рис. 5. Зависимости силы цели трески *in situ* на частоте 38 кГц от длины рыб 5–76 см и 5–123 см, полученные в ПИНРО по результатам исследований в 1997 – 2004 гг.

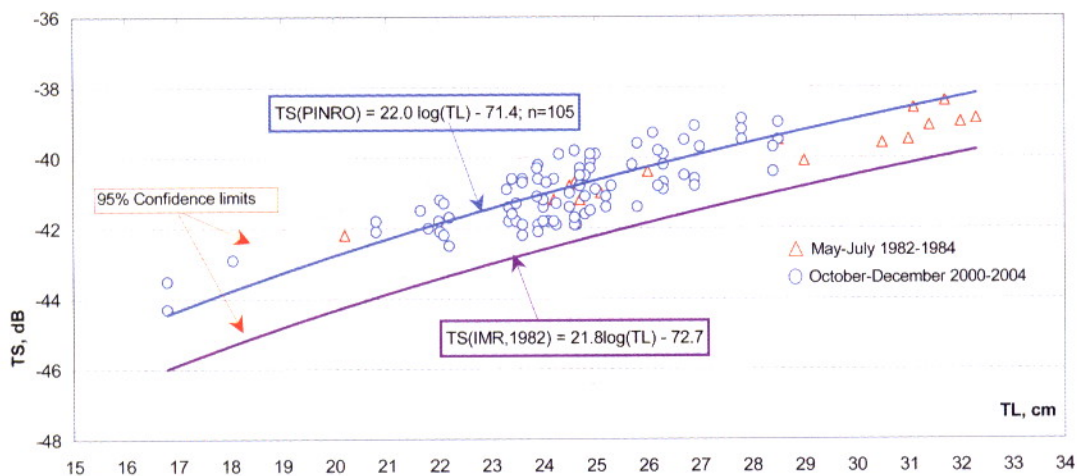


Рис. 6. Зависимость силы цели путассу *in situ* на частоте 38 кГц от длины рыб в диапазоне 16,8–32,3 см, полученная в ПИНРО по результатам исследований в 1982 – 1984 и 2000 – 2004 гг.

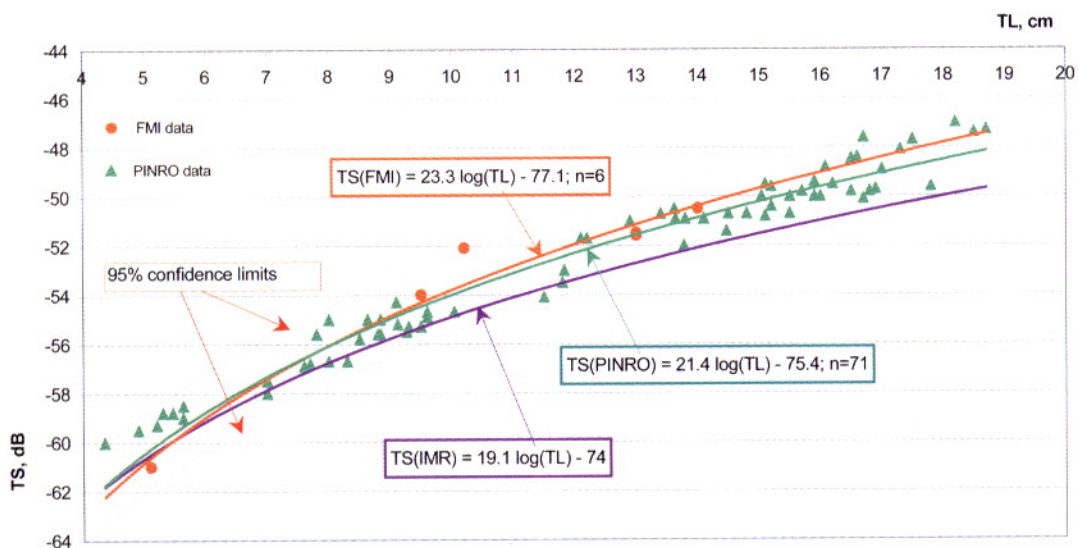


Рис. 7. Зависимость силы цели мойвы *in situ* на частоте 38 кГц от длины рыб в диапазоне 4,4–18,7 см, полученная в ПИНРО по результатам исследований в 2000 – 2004 гг.

1. Рыба в зоне акустического луча, создающая эхо-трассы с максимальными значениями силы цели, отлавливается тралом (благоприятный случай).

2. Рыба в зоне акустического луча, создающая эхо-трассу с максимальными значениями силы цели, уклоняется от траля, в трал попадают рыбы меньшей длины; сопоставление \overline{TS}_n с TL_n в улове приводит в этом случае к переоценке силы цели рыб.

3. Если ширина зоны облова больше ширины акустического луча или рыба находится близко к грунту, то на периферии зоны облова или вблизи дна может оказаться и отловиться тралом рыба более крупная, чем зарегистрированная в акустическом луче, что приводит к недооценке силы цели рыб.

4. Рыба, находящаяся в зоне облова в акустическом луче, по мере формирования эхо-трассы с максимальными значениями силы цели может оказаться в центральной части луча, иметь спинной (дорсальный) аспект по отношению к акустической антенне и создать несколько значений силы цели, характерных для спинного аспекта. В этих случаях сопоставление максимальных значений силы цели \overline{TS}_n в зоне облова с максимальной длиной TL_n рыбы в улове может привести к переоценке силы цели. Программа постобработки BI60 v.2.1.1 позволяет выявлять и отфильтровывать эти значения силы цели.

Важно отметить, что второй вид информации по сравнению с первым обладает тем преимуществом, что для сбора акустических и биологических данных можно применять любые тралы, в том числе без мелкоячейных вставок.

Для определения зависимости между силой цели и длиной рыб для всех размерных классов использовали оба вида акустической и биологической информации, так как они дополняют друг друга. Для выявления сомнительных данных применяли вероятностно-статистический способ обработки (Ricker, 1973). Этот способ основан на использовании SAL-модели (sensitive analysis of data) и обеспечивает максимальную точность путем одновременного определения среднегеометрической линейной регрессионной зависимости (GM-регрессии) и 95%-ных доверительных границ (95 % Confidence Limits) этой зависимости, позволяющих выявлять и отфильтровывать сомнительные данные.

Результаты исследований

Было выполнено более 1000 тралений пелагическими и донными тралами с мелкоячейными вставками (размер ячеи – 16 и 22 мм). Одновременно эхолотами регистрировалась информация о распределении силы цели рыб в зонах облова, которая затем обрабатывалась при помощи программ постобработки LTSD100, FAMAS и BI60 v.2.1.1 (рис. 1, 2, 3, 4).

По средним значениям силы цели рыб в зонах облова и средним размерам рыб в уловах получили следующие зависимости силы цели от длины.

Для трески длиной от 5 до 76 см (рис. 5):

$$TS(\text{Cod}, \text{PINRO}) = 24.5 \log(TL) - 73.4; R^2 = 0.95; SE = 1.7; n = 180; (6)$$

для путассу длиной 16,8–32,3 см (рис. 6):

$$TS(\text{Blue whiting}, \text{PINRO}) = 22.0 \log(TL) - 71.4; R^2 = 0.70; SE = 0.58; n = 105; (7)$$

для мойвы со средней длиной в уловах 4,4–18,7 см (рис. 7):

$$TS(\text{Capelin}, \text{PINRO}) = 21.4 \log(TL) - 75.4; R^2 = 0.96; SE = 0.73; n = 71. (8)$$

На основе использования как средних значений силы цели рыб \overline{TS} в зоне облова и средних размеров рыб TL в уловах, так и

максимальных значений силы цели рыб \overline{TS}_n в зоне облова и максимальных размеров трески TL_n в уловах получили для трески длиной от 5 до 123 см (см. рис. 5)

$$TS(\text{Cod}, \text{PINRO}) = 25.0 \log(TL) - 74.2; R^2 = 0.95; SE = 1.7; n = 376 (9)$$

Обсуждение и выводы

Сравнивая полученные в ПИНРО данные о силе цели трески с норвежскими и канадскими, мы убедились, что силы цели рыб длиной от 5 до 60 см, полученные IMR, FMI и ПИНРО, близки друг к другу (см. рис. 5). Однако силы цели крупной трески (60–123 см), полученные в ПИНРО, оказались существенно выше значений, получаемых из норвежских зависимостей (1) и (2).

При выполнении ТАС по оценке запасов трески использование в расчетах норвежских уравнений силы цели (1) и (2) ведет к смещенным ошибкам оценок численности и биомассы в сторону их завышения. Величина смещенной ошибки одинакова для всех размерных классов и зависит от отношения $(\sum p_j \sigma_{jn}) / (\sum p_j \sigma_{jn})$, где j – индекс размерного класса; p_j – доля размерного класса j в скоплении; σ_{jn} – акустическое сечение обратного рассеяния рыб, рассчитанное в соответствии с уравнениями силы цели (1) или (2); σ_{jn} – акустическое сечение обратного рассеяния рыб, рассчитанное в соответствии с уравнениями силы цели (6) или (9), полученными в ПИНРО. Переоценка численности и биомассы рыб увеличивается с увеличением в скоплении доли крупных рыб ($p_{\text{кбд}}$) и может достигать 20–50 %.

При выполнении ТАС по оценке запасов путассу использование в расчетах норвежского уравнения силы цели (1) ведет к смещенным ошибкам в определении численности и биомассы в сторону завышения примерно на 30–40 %, так как сила цели рыб всех размерных классов занижается примерно на 1,5 дБ (см. рис. 6). Аналогичный вывод сделали норвежские исследователи (Heino, 2004).

При выполнении ТАС по оценке запасов мойвы использование в расчетах норвежского уравнения силы цели (3) ведет к смещенным ошибкам в определении численности и биомассы в сторону завышения примерно на 10–30 %, так как сила цели мойвы длиной 5–20 см занижается на 0,3–1,5 дБ (см. рис. 7). Аналогичный вывод сделали норвежские исследователи (Jorgensen and Olsen, 2002): наблюдаемая ими средняя сила цели мойвы в Балсфиорде оказалась на 1 дБ (25 %) больше, чем это следует из ныне применяемого уравнения (3).

На наш взгляд, полученные в ПИНРО новые зависимости силы цели от длины рыб для трески, путассу и мойвы по сравнению с применяемыми являются более обоснованными и их использование приведет к повышению точности оценок численности и биомассы этих видов рыб тралово-акустическим методом.

