

ПРОМРЫБОЛОВСТВО

УДК 639.2.081.7:681.883.4

М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, И.А. Убарчук*Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УЛОВИСТОСТИ
ТРАЛОВЫХ УЧЕТНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
(НА ПРИМЕРЕ МИНТАЯ ОХОТСКОГО МОРЯ)**

Обсуждаются различные методы определения уловистости траловых учетных систем. Показано, что наиболее достоверным является экспериментальный метод оценки уловистости учетных тралов, который состоит в инструментальном определении плотности рыб в обловленной зоне и сравнении ее с уловом трала. Описаны схема и порядок проведения измерений и расчета, инструментальные и программные средства оценки уловистости с использованием гидроакустических средств. Методикой предусматривается измерение плотности рыб в слое траления под судном с помощью научного эхолота ЕК-60 и пересчет фактического улова трала в эквивалентные акустические единицы плотности в протраленном объеме. Приводятся результаты оценки уловистости минтая разноглубинным учетным тралом РТ/ТМ 57/360 в Охотском море. Средние значения коэффициента уловистости варьируют от 0,42 до 0,81 и имеют тенденцию относительного роста с глубиной и снижения на краях диапазона измерений при тралениях в приповерхностных горизонтах и на глубине более 200 м. Полученные результаты хорошо согласуются с моделью двигательного поведения рыб в шумовом поле судна. В частности, наблюдается снижение уловистости на небольшой глубине, вызванное избегающей реакцией рыб в шумовом поле судна, увеличение уловистости с глубиной за счет перемещения части рыб в более глубокие горизонты и их уплотнения на дистанциях реагирования на шум судна. Выявлены также зависимости коэффициента уловистости минтая от его средней длины в улове и от времени суток. Значения коэффициента уловистости имеют тенденцию относительного роста с увеличением длины минтая и его снижения у более крупных особей. Получены модельные оценки влияния шумового поля судна на селективность учетных тралов. Показано, что глубины, на которых образуются максимальные концентрации мелкоразмерного и крупноразмерного минтая, не совпадают.

Ключевые слова: коэффициент уловистости, оценка запасов рыб, учетный трал, научный эхолот, протраленный объем, модель поведения рыб, шум судна, реакция избегания, плотность минтая.

Kuznetsov M.Y., Poljanichko V.I., Ubarchuk I.A. Improvement of methods for estimation of catchability for trawl survey systems with use of hydroacoustic means (on example of walleye pollock in the Okhotsk Sea) // Izv. TINRO. — 2015. — Vol. 183. — P. 259–277.

* Кузнецов Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, e-mail: kuznetsovm@tinro.ru; Поляничко Владимир Ильич, инженер, e-mail: tinro@tinro.ru; Убарчук Игорь Анатольевич, ведущий инженер, e-mail: tinro@tinro.ru.

Kuznetsov Mikhail Yu., Ph.D., head of laboratory, e-mail: kuznetsovm@tinro.ru; Poljanichko Vladimir I., engineer, e-mail: tinro@tinro.ru; Ubarchuk Igor A., leading engineer, e-mail: tinro@tinro.ru.

In commercial fishery, catching properties of fishing gears are developed mostly for effective catch of fish, rather than for precise measurement of fish distribution density in water, so a problem of catchability exists and this parameter should be determined for each fishing gear. Various methods for estimation of catchability for trawl survey systems are considered. The experimental method of its estimation (comparing of fish density in towed volume determined by other tools with trawl catch) is considered as the most authentic. Scheme and algorithm of the measurements and calculations are described for standard hydroacoustic tools, as scientific echosounder EK-60, and software is developed for recalculation of trawl catch to equivalent acoustic units of fish density in the towed volume of water. Results of the catchability estimation for the trawl RT/TM 57/360 used for walleye pollock stock assessment in the Okhotsk Sea are analyzed. Mean value of the catchability coefficient in this case varies from 0.42 to 0.81, generally increasing with depth but decreasing both at the sea surface and on the depth > 200 m. These results correspond well with the model of fish behavior in the noise field of vessel: the low catchability at the sea surface and its increasing with depth could be caused by avoiding reaction of fish to the noise and its moving to deeper layers. Besides, the catchability coefficient for pollock depends on fish size and time of day: it increases with the fish length but decreases for the largest individuals. Influence of the noise field of vessel on selectivity of survey trawls is modeled and there is shown that the depths of the maximum concentration of small-sized and large-sized pollock do not coincide. The developed software and received results are universal means for estimation of the catchability for trawls in all conditions of trawling, they allow to choose optimum mode for survey trawling in dependence on fish species, depth of trawling, and type of vessels and trawl.

Key words: catchability coefficient, fish stock assessment, survey trawl, scientific echosounder, towed volume of water, fish behavior, vessel noise, avoiding reaction, pollock.

Введение

Все площадные и объемные методы оценки численности и биомассы через уловы зависят от принимаемых дифференцированных коэффициентов уловистости тех или иных орудий лова. Поэтому «вопрос экспериментальной и приборной оценки уловистости сохраняет свою значимость на всю предвидимую перспективу...»*.

Основным инструментом получения данных о размерно-видовом составе гидробионтов в практике эхоинтеграционных и траловых съемок промысловых запасов рыб в дальневосточных морях служат тралы. Согласно классической формулировке уловистость является «объективным показателем работы трала» и может быть определена как «отношение количества пойманных рыб ко всему количеству рыб, находившихся на обловленной площади, характеризующее абсолютную уловистость трала — данного трала для данной рыбы» (Баранов, 1960). Существенное влияние на уловистость трала оказывает его конструкция — оснастка верхней и нижней подборы, размеры и форма ячеи, длина кабелей, ваеров и др. (Касаткина, 2003; Кручинин и др., 2011). Помимо особенностей конструкции, уловистость трала зависит от множества изменяющихся в процессе движения параметров, в том числе характеристик пространственного распределения и плотности облавливаемых скоплений, скорости и глубины траления, размеров и формы устья, степени наполнения тралового мешка, скорости и направления течений и других факторов, не всегда поддающихся измерению и учету (Трещев, 1983; Касаткина, 1999; Лапшин, 2009).

Взаимодействие рыб с траловой системой (формы поведения и двигательные реакции рыб в зоне действия трала) еще многообразнее и сложнее и, как показали исследования, оказывает наиболее значительное влияние на уловистость траловых учетных рыболовных систем (Заферман, 1976; Коротков, 1998; Касаткина, 2003; Лапшин, 2009). Коэффициент уловистости видоспецифичен, т.е. эффективность облова гидробионтов разных видов различна и определяется стереотипом защитного двигательного поведе-

* Паспорт комплексной целевой программы научных исследований в интересах рыбного хозяйства Российской Федерации на 2010–2014 гг. «Научное обеспечение и мониторинг в целях сохранения, воспроизводства и рационального использования водных биологических ресурсов». Утв. приказом руководителя Федерального агентства по рыболовству № 144 от 02.03.2010 г. 192 с.

ния объектов, а также скоростью плавания и формой тела. Кроме того, он зависит от размерно-возрастного состава рыб и их физиологического состояния (Атлас ..., 2003).

В настоящее время существуют два способа определения уловистости трала — расчетный и экспериментальный (Трещев, 1983; Заферман, Серебров, 1985). Расчетные методы оценки уловистости обобщены в ряде обзоров (Трещев, 1983; Лапшин, 2009). Одни авторы в формулах для расчета уловистости трала используют абстрактные параметры поведения, такие как число среагировавших на трал рыб, скорость их ухода от трала, площадь отпугивания и др., численные значения которых определить практически невозможно. Другие из-за недостатка сведений о поведении рыб уловистость связывают с конструктивными элементами и параметрами движения траловой системы. Ни один из этих методов оценки уловистости, как бы ни была сложна и многозначна математическая модель? ее описывающая, не может одновременно учесть количественно все влияющие на двигательное поведение рыб факторы и непрерывно изменяющиеся в процессе движения параметры траловой системы. В результате этих обобщений сделан вывод, что все предпринимавшиеся до сих пор попытки пофакторно определять абсолютную уловистость орудий лова, очевидно, следует признать несостоятельными и бесперспективными (Трещев, 1983).

Вместе с тем существует достаточно простой и достоверный способ экспериментальной оценки уловистости учетных траловых систем, основанный на измерении количества рыб в обловленной зоне с помощью различных технических средств регистрации и сравнении его с уловом (Заферман, Серебров, 1985). Метод позволяет измерять абсолютную уловистость данного трала для данной рыбы согласно классическому ее определению, минуя все промежуточные действия и связанные с ними неопределенности и просчеты.

Проведение таких работ ранее сдерживалось отсутствием соответствующей аппаратуры и несовершенством методов, позволяющих с достаточной точностью оценивать параметры трала и плотность рыб в протраленном объеме. С развитием инструментальных методов и средств дистанционного акустического зондирования водной среды и компьютерных технологий обработки гидроакустической информации задача измерения обловленного тралом объема и плотности рыб в нем не представляет технической сложности и даже может быть в дальнейшем автоматизирована. Для этого мы использовали цифровые научные эхолоты EK-60 Simrad с подкильным расположением антенн, позволяющие оценивать плотность рыб перед тралом, и программные средства накопления и обработки акустических данных FAMAS ТИНРО-центра (Кузнецов, 2013).

Целью данной работы являлось совершенствование методики инструментальной оценки уловистости траловых комплексов с использованием гидроакустических технологий и ее апробация на примере лова минтая разноглубинным учетным тралом РТ/ТМ 57/360 в Охотском море.

Материалы и методы

Вся система расчетов обилия биоресурсов как траловым, так и тралово-акустическим методом в конечном счете опирается на анализ улова трала. При этом траловую рыболовную систему из-за связи с поведением объектов лова и множеством внешних факторов среды относят к плохо организуемым, вылов в которой преобразуется в исходное количество рыб в зоне облова с большой степенью неопределенности и случайности (Кадильников, 2001). Ошибка в пересчете улова к естественной плотности рыб может послужить источником погрешности оценки их обилия на обследуемой акватории. Для корректного определения запасов необходимо знать улавливающую способность трала, применяемого при выполнении учетных работ.

В то же время, несмотря на важную роль уловистости при оценке обилия морских биологических объектов, методы определения этой величины весьма произвольны и, соответственно, диапазон измеренных или вычисленных значений уловистости достаточно велик. Примером могут служить многочисленные публикации на эту тему, анализ которых дан в работах (Трещев, 1983; Заферман, Серебров, 1985; Лапшин, 2009). И дело здесь не только в сложности ее математического описания или экспериментальной

оценки, но и в интерпретации самого понятия коэффициента уловистости (КУ), точнее того, что находится в знаменателе известной формулы (Баранов, 1960):

$$КУ = \frac{N_{\text{ТР}}}{N}, \quad (1)$$

где $N_{\text{ТР}}$ — количество рыб в улове; N — количество рыб, находившихся на обловленной площади (в обловленном объеме).

В процессе развития активного морского рыболовства улавливающие свойства траловых систем рассматривались больше с точки зрения производительности добычи рыбы, а не как средства измерений плотности концентрации рыб в толще воды. Совершенствуя конструкцию того или иного типа трала с целью повышения его уловистости и селективности, специалистам в области промышленного рыболовства удобнее было относить количество пойманных тралом особей к числу рыб, которые в процессе траления находились непосредственно в зоне облова (обычно это устьевая часть трала). По сути, вместо «находившихся на обловленной площади рыб» ($N_{\text{ТР}}$) стали измерять рыб, «находящихся в момент измерений в зоне облова». При проведении исследований уловистости тралов с использованием подводных аппаратов и теле-фото-видеометрических средств наблюдений, буксируемых вместе с тралом (Заферман, Серебров, 1985; Коротков, 1998; Заферман, Тарасова, 2004), как раз и оценивали рыб, расположенных (находящихся) в зоне облова, т.е. в зоне, где уже происходило взаимодействие рыб и орудия лова и искажение, таким образом, естественного распределения и плотности рыб. Кроме этого, при выполнении таких измерений не исключается дополнительная реакция рыб на сами устройства подводных наблюдений.

С точки зрения оценки запаса данный подход неприемлем, поскольку важно знать коэффициент уловистости по отношению к естественной агрегации рыб, а не к повышенной их концентрации в устье трала в результате воздействия на скопление элементов траловой системы. Принимая это как методическую ошибку предыдущих инструментальных исследований, О.М. Лапшин (2009) предложил вернуться к классическому определению уловистости Ф.И. Баранова (1960) и измерять не находящиеся в зоне облова объекты, а находившиеся в зоне предполагаемого прохода трала до начала реагирования рыб на приближающиеся его элементы. Другими словами, измерение плотности рыб должно осуществляться не в зоне действия тралового комплекса, а перед ним. Для траловых систем, предназначенных для выполнения учетных работ и корректного перехода от улова гидробионтов к оценкам их обилия, уточненная формулировка коэффициента уловистости выглядит как отношение количества пойманных рыб ко всему количеству рыб, находившихся на обловленной площади (в обловленном объеме) до начала воздействия орудия лова на облавливаемые скопления (Лапшин, 2009).

Для решения данной задачи можно использовать гидроакустические эхолотационные приборы с подкильным расположением антенн. В этом случае устраняется методическая ошибка предыдущих исследований, поскольку измерения плотности рыб будут выполняться перед тралом, т.е. до начала реагирования рыб на приближающиеся его элементы.

Преимущества гидроакустического метода оценки плотности гидробионтов по сравнению с другими инструментальными методами хорошо известны (Кузнецов, 2013). Этот метод позволяет дистанционно обследовать большие площади водной среды за относительно короткий временной промежуток, а также измерять с высоким разрешением не только горизонтальное, но и вертикальное распределение (пространственную структуру) скоплений рыб. При гидроакустических измерениях плотности рыб соблюдается принцип преемственности от одного опыта к другому: эхолоты периодически калибруются, а также исключен субъективный фактор и промежуточные стадии обработки: «что измерили, то и получили».

Метод определения плотности рыб на пути движения трала при помощи гидроакустической аппаратуры не нов. Например, известен метод обловленных объемов, который позволяет определять уловистость трала по данным промысловой статистики уловов и эхозаписей рыб в процессе тралений (Трещев, 1983). Имеется опыт использования

рыбопоисковых эхолотов Simrad и эхо-интеграторов различных типов для определения плотности концентрации придонных рыб перед тралом и последующего расчета через этот параметр количества рыб в обловленном объеме воды и уловистости донного трала (Артемов и др., 1978; Горелов, 1978; Заферман, Серебров, 1985). Правда, существует значительная вероятность погрешности таких измерений, поскольку из-за сферического фронта акустической волны часть рыб, которая находится непосредственно у дна, маскируется эхо-сигналом от грунта и не регистрируется эхолотом. Поэтому результаты гидроакустических измерений для донных тралов необходимо дополнительно подкреплять при помощи средств фото-видеофиксации (Заферман, Серебров, 1985), либо вводить дополнительные поправочные коэффициенты для компенсации акустической зоны тени эхолота в донном слое (Мамылов, Ратушный, 1996) (что, однако, может стать дополнительным источником погрешности эхоинтеграционной оценки плотности рыб и уловистости донного трала), а также более эффективно использовать гидроакустический метод для измерения плотности рыб в пелагиали и, соответственно, уловистости пелагических (разноглубинных) тралов.

Известен также способ определения коэффициента уловистости трала, включающий нахождение частного от деления количества рыб, пойманных тралом, на их количество перед тралом, определяемое гидроакустическим эхолокационным устройством, располагающимся на одной или обеих траловых досках, с лоцированием рыбы в пространстве между траловыми досками (Пат. РФ № 2346432, А01К73/02 2007). Однако данный способ не устраняет полностью вышеуказанную погрешность, поскольку доски также являются элементами траловой системы, на которые рыба может реагировать.

В отличие от большинства рыбопоисковых приборов, современные научные эхолоты имеют прецизионные характеристики, широкий динамический диапазон, функцию калибровки и используют метод расщепленного луча для оценки сил целей. Кроме этого, такие устройства обладают важной функцией сбора и накопления передачи и сохранения гидроакустических данных в оцифрованном виде в файлах известного формата, поддерживая, таким образом, возможность их последующей постпроцессорной обработки. Например, установленные на судах ТИПРО-центра ЕК-60 Simrad — цифровые научные эхолоты с прецизионными характеристиками и независимыми каналами частоты — содержат вертикально направленные антенны-вибраторы с расщепленным лучом частотой 38 и 120 кГц, размещенные под килем судна, и приемопередатчики на 38 и 120 кГц, которые, собственно, генерируют и принимают отраженный сигнал, а также осуществляют оцифровку сигнала (Кузнецов, 2013). Работой приемопередатчиков управляет процессорный блок с размещенными на нем программами накопления «сырых» гидроакустических данных в файлах известного формата на жесткий диск компьютера (McQuinn et al., 2005).

Стоит отметить, что уровень развития программных средств обработки гидроакустической информации с каждым годом растет, что создает все новые возможности использования эхолокационных приборов для контроля параметров орудий лова, оконтуривания рыбных скоплений и мелкомасштабных измерений (с высоким разрешением) плотности косяков любой вертикальной протяженности и формы. С использованием разработанных в ТИПРО-центре программных средств можно воспроизводить эхограмму и сопутствующую ей навигационную и биологическую информацию в любой точке обследованной акватории в реальном масштабе времени, задавать на эхограмме слои любой конфигурации, а также осуществлять количественные оценки плотности гидробионтов по их отражательной способности методом эхоинтегрирования, получать значения численности и биомассы гидробионтов в пределах выделенных для обработки слоев (Кузнецов, 2013).

Как было сказано выше, экспериментальный метод оценки уловистости учетных тралов состоит в инструментальном определении плотности рыб в обловленной зоне и сравнении ее с уловом трала. Работы по количественной оценке уловистости включали измерения плотности рыб в слое траления под судном с помощью научного эхолота ЕК-60 и последующий пересчет фактического улова трала в эквивалентные акустические единицы плотности в протраленном (обловленном) объеме воды.

Под обловленным объемом понимается трехмерная фигура, описанная формой устья трала при его прямолинейном движении (Волвенко, 1998). Известно, что величина обловленного тралом объема воды существенно зависит от используемых для его расчета значений горизонтального и вертикального раскрытия и формы устья трала (Волвенко, 1998). Как показали измерения, форма и размеры устьевой части одного и того же трала при различных режимах траления не являются постоянными и поэтому должны измеряться в процессе лова инструментально (Кузнецов, Шевцов, 2006; Волвенко, 2013).

Схема и порядок измерений и расчета коэффициента уловистости представлены на рис. 1.

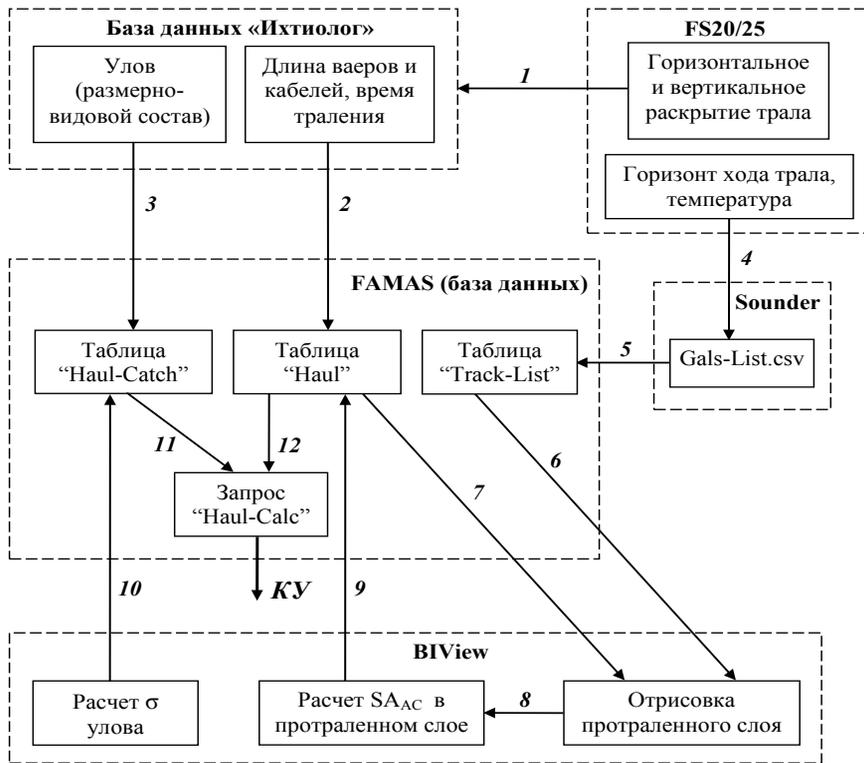


Рис. 1. Блок-схема измерения коэффициента уловистости (1–12 — выполняемые действия)
Fig. 1. Scheme of the catchability coefficient estimation (1–12 — sequence of operations)

Геометрические параметры учетного трала (форма устья трала, вертикальное и горизонтальное раскрытие, глубина верхней подборки) в процессе тралений регистрировались с помощью кабельной системы контроля трала FS20/25 Simrad в режиме вертикального и кругового сканирования. Программное обеспечение системы FS20/25 позволяет записывать в файлы и затем воспроизводить эхограммы профиля трала в реальном масштабе времени. Кроме этого, FS20/25 через COM-порт передает на EK-60 глубину хода трала и температуру воды в формате NMEA с интервалом в 10 с, а программа Sounder FAMAS принимает и записывает эти данные в файл Gals-List.csv (Кузнецов, 2013). Затем из файла Gals-List эти величины записываются в таблицу Track-List базы данных FAMAS.

Измеренное траловым зондом FS20/25 в горизонте траления вертикальное и горизонтальное раскрытие его устья использовали для расчёта обловленного тралом объема. Протраленным (обловленным) объемом в данном случае является объем воды, процеженный тралом за время траления в сечении его устья по верхней и нижней подборке, т.е. произведение площади поперечного сечения устья трала (S_{TP}) на его горизонтальную протяженность (пройденное тралом расстояние) D_{TP} :

$$V_{TP} = S_{TP} \cdot D_{TP} \cdot \quad (2)$$

Площадь устья трала вычислялась с учетом его фактической (наиболее часто наблюдаемой) формы сечения в виде эллипса, малым диаметром которого является вертикальное раскрытие трала, а большим — горизонтальное (хотя на практике при небольших глубинах хода трала и длине ваеров часто бывает и наоборот):

$$S_{TP} = H \cdot L_{гор} \cdot \pi / 4, \quad (3)$$

где H — измеренное вертикальное раскрытие трала, м; $L_{гор}$ — измеренное горизонтальное раскрытие трала, м.

Эхолоты ЕК-60 вычисляют коэффициент обратного поверхностного рассеяния на квадратную морскую милю SA (m^2 миля $^{-2}$), который используется в расчетах как акустическая оценка плотности скопления (MacLennan et al., 2002). Программные средства оценки уловистости трала реализованы в виде дополнительного модуля программы ViView комплекса FAMAS. Алгоритмом предусматриваются измерения коэффициента обратного поверхностного рассеяния в слое траления под судном и его сравнение с уловом трала. Программа позволяет загрузить на эхограмме протраленный слой (рис. 2).

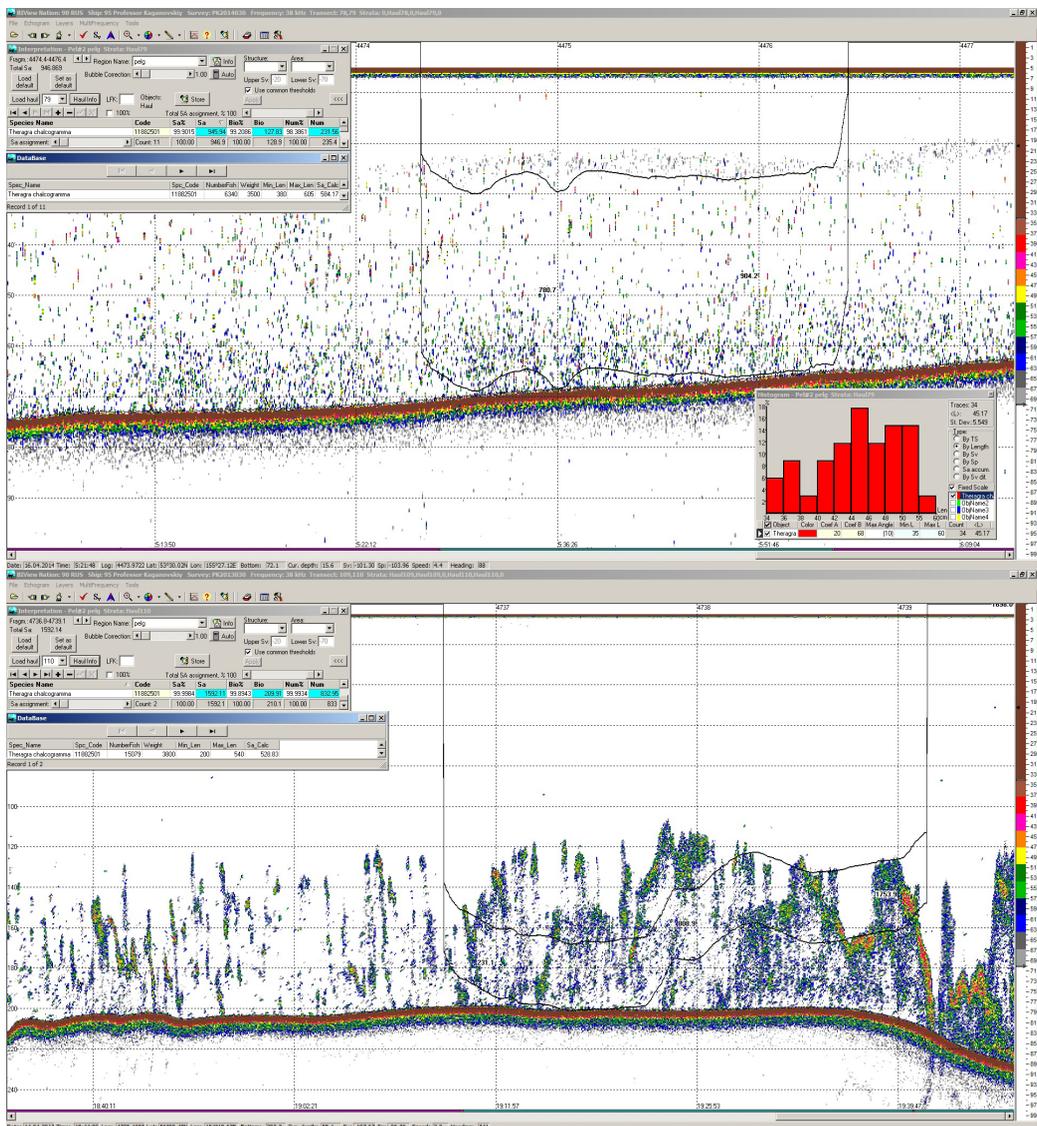


Рис. 2. Фрагмент эхограммы в режиме постпроцессорной обработки с загруженным слоем траления по данным с тралового зонда FS20/25

Fig. 2. Echogram fragment in the post processing editing mode with the tow layer loaded according to trawl probe FS20/25

Для построения слоя программа использует данные с тралового зонда FS20/25 о глубине верхней подборы и вертикальном раскрытии трала из таблиц Track_List и Haul в БД FAMAS (см. рис. 1). Одновременно в БД создаются и отображаются на эхограмме границы страты, соответствующие точкам начала и конца траления. Далее программа выполняет стандартную процедуру оценки SA_{AC} — коэффициента обратного поверхностного рассеяния ($m^2/миля^2$) в протраленном слое методом эхоинтегрирования. Среднее значение SA_{AC} (акустическая плотность рыб) в слое траления под судном записывается в таблицу Haul БД. При расчётах в программе учитывается отставание трала от судна, вычисляемое по суммарной длине ваеров и кабелей и глубине хода трала. К показаниям тралового зонда могут быть применены поправки, заданные в настройках программы.

При загрузке тралового вылова в протраленный слой программа рассчитывает с учетом известных данных об отражательной способности (силе цели) составляющих его гидробионтов суммарное для каждого объекта поперечное сечение рассеяния (σ) и сохраняет их в таблицу Haul-Catch БД (см. рис. 1). Далее с целью сопоставления акустических и траловых данных в одних и тех же единицах полученные значения σ улова пересчитываются в эквивалентные акустические единицы плотности SA_{TP} ($m^2/миля^2$) (Мамылов, 1999):

$$SA_{TPj} = \frac{\sum_i (N_{ij} \cdot \sigma_{ij}) \cdot 1852}{D_{TP} \cdot L_{эф}}, \quad (4)$$

$$\sigma_{ij} = 4\pi \cdot 10^{0,1TS_j(L_i)}, \quad (5)$$

где i — индекс размерного ряда; j — индекс вида гидробионтов; N_{ij} — количество особей j -го вида, i -й размерной группы в улове, экз.; σ_{ij} — поперечное сечение рассеяния единичной рыбы j -го вида, i -й размерной группы, m^2 ; 1852 — число метров в морской миле; D_{TP} — дистанция траления, мили; $L_{эф}$ — эффективное горизонтальное раскрытие трала, учитывающее эллиптичность устья трала, м:

$$L_{эф} = \frac{L_{гор} \cdot \pi}{4}, \quad (6)$$

где $L_{гор}$ — измеренное горизонтальное раскрытие трала, м; L_i — зоологическая длина рыбы i -й размерной группы, см; TS_j — сила цели рыб j -го вида:

$$TS_j(L_i) = A_j + B_j \cdot \lg L_i, \quad (7)$$

где A и B — коэффициенты, значения которых определяют экспериментально по результатам измерения силы цели *in situ* (для минтая Охотского моря $TS(L_i) = 20 \lg L_i - 68$).

Суммарная акустическая плотность всех рыб в трале (отражательная способность улова):

$$SA_{TP} = \sum_j SA_{TPj}. \quad (8)$$

SA_{TP} рассчитывается по вышеприведенным формулам (4–8) с помощью запроса Haul-Calc БД FAMAS (рис. 1, 3). Из отношения, рассчитанного по фактическому улову в протраленном объеме SA_{TP} и измеренного в слое траления под судном SA_{AC} , получаем коэффициент уловистости:

$$KY = \frac{SA_{TP}}{SA_{AC}}. \quad (9)$$

Survey	HaulN	HaulIdx	StartLog	StartTime	Duration	Distance	Trawl_Delay	Sa_Ac	Sa_Tr	Coef
PK2015030	21	30701	772.66	24.03.2015 1:32:59	0.66833	2.28	0.25849788	180	85.1489	0.47
PK2015030	22	30702	790.885	24.03.2015 5:38:19	0.50111	1.835	0.30443739	111.381	66.1951	0.59
PK2015030	23	30703	811.765	24.03.2015 9:23:23	0.5	1.665	0.27566242	10.7704	5.251	0.49

Запись: 29 из 309

Рис. 3. Окно с результатами выборки Haul-Calc в БД FAMAS
Fig. 3. Sample Haul-Calc in DB FAMAS result window

Результаты и их обсуждение

Акустические данные для оценки уловистости разноглубинного учетного трала РТ/ТМ 57/360 собраны и обработаны в ходе проведения комплексной съемки в Охотском море на НИС «Проф. Кагановский» в 2012–2013 гг. В качестве объекта исследований выбран минтай (*Theragra chalcogramma*) — наиболее распространенный в северной части Тихого океана и, соответственно, часто встречающийся в уловах промысловый вид.

В 2012 г. из 333 тралений отобраны 208 фрагментов эхограмм, удовлетворяющих условиям одновидового состава скоплений (не менее 95 % минтая в улове) и разрешения по глубине. В 2013 г. из 339 тралений отобраны 180 фрагментов эхограмм.

В результате постпроцессинговой обработки отобранных файлов с эхограммами тралений по вышеприведенной методике получены оценки уловистости учетного трала РТ/ТМ 57/360 для каждого фрагмента эхограмм. Значения коэффициента уловистости усредняли в поддиапазонах глубин с интервалом 50 м. График изменения коэффициента уловистости в поддиапазонах глубин показан на рис. 4. Средние значения коэффициента уловистости хорошо аппроксимируются полиномиальной зависимостью ($R^2 = 0,91$). Результаты статистической обработки данных представлены в таблице. Выявлена зависимость коэффициента уловистости минтая от глубины траления. Значения коэффициента уловистости имеют тенденцию относительного роста с глубиной и снижения на краях диапазона измерений (при тралениях в приповерхностных горизонтах и на глубинах более 200 м).

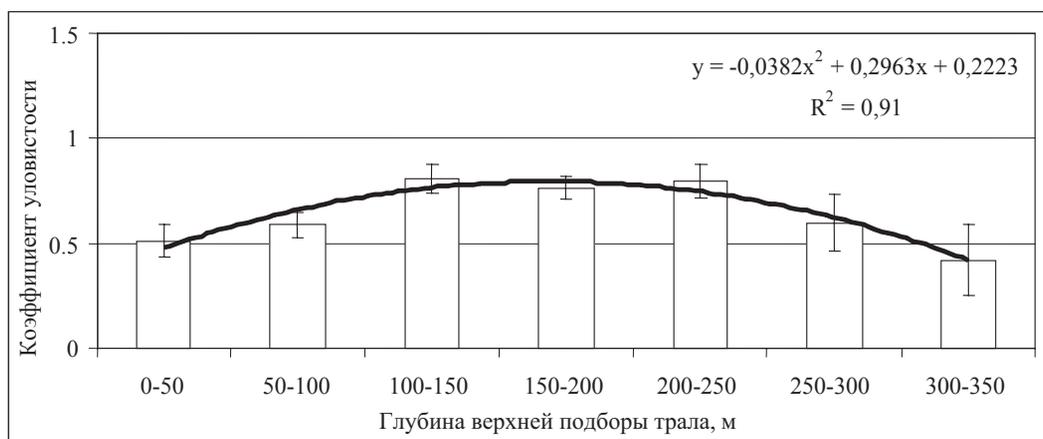


Рис. 4. Зависимость средних значений коэффициента уловистости минтая от глубины хода трала

Fig. 4. Dependence of mean value of the pollock catchability coefficient on depth of trawl tow

Средние значения коэффициента уловистости учетного трала РТ/ТМ 57/360 в поддиапазонах глубин

Mean values of the catchability coefficient for survey trawl RT/TM 57/360, by depths

Показатель	Глубина верхней подборы трала, м						
	0–50	50–100	100–150	150–200	200–250	250–300	300–350
Число значений	38	73	74	123	64	11	5
Среднее значение	0,51	0,60	0,81	0,77	0,80	0,60	0,42
Стандартное отклонение	0,23	0,26	0,31	0,30	0,32	0,20	0,14
Стандартное отклонение среднего	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,06	0,06
Коэффициент Стьюдента (5 %, n-1)	2,03	1,99	1,99	1,98	2,00	2,23	2,78
Доверительный интервал	0,08	0,06	0,07	0,05	0,08	0,13	0,17
Относительная ошибка	0,15	0,10	0,09	0,07	0,10	0,22	0,40

Кроме этого, в результате обработки накопленного материала выявлены зависимости коэффициента уловистости минтая от его средней длины в улове и от времени суток. Значения коэффициента уловистости имеют тенденцию относительного роста с увеличением длины минтая до 40 см и его снижения у более крупных особей (рис. 5).

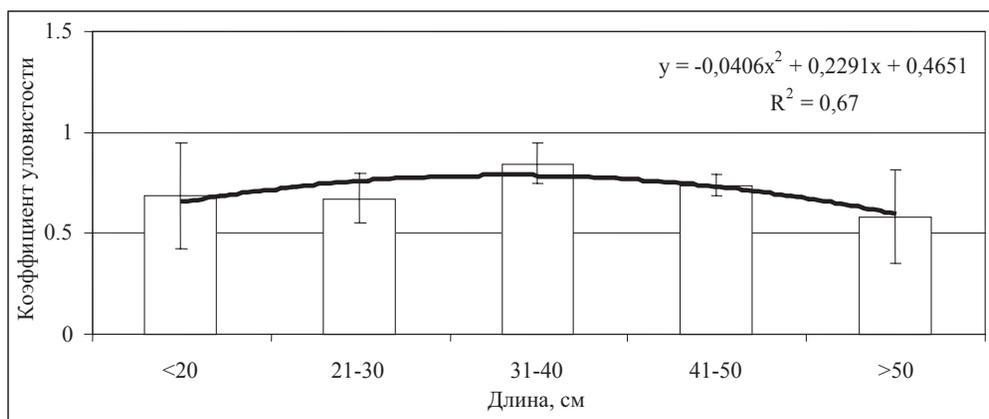


Рис. 5. Зависимость средних значений коэффициента уловистости минтая от его средней длины в улове

Fig. 5. Dependence of the mean catchability coefficient for pollock on its length in catch

Различие коэффициента уловистости в дневных и ночных тралениях на глубинах до 150 м минимально, затем имеет тенденцию относительного роста с глубиной (рис. 6). Эффективность дневных тралений выше ночных в среднем на 10 %.

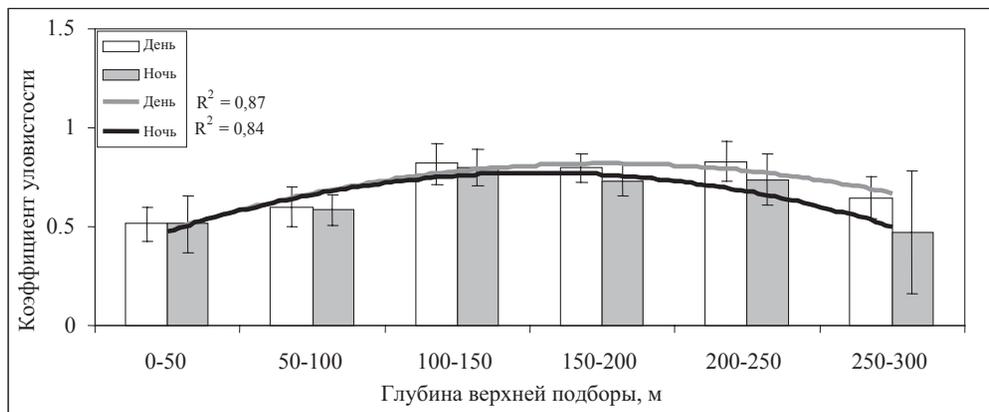


Рис. 6. Средние значения коэффициента уловистости минтая в диапазонах глубин хода трала в дневное и ночное время суток

Fig. 6. Mean values of the catchability coefficient for pollock in daytime and nighttime, by depth of trawl tow

Полученные результаты хорошо согласуются с моделью двигательного поведения рыб в шумовом поле судна. Исходное распределение рыб принимается равномерным по горизонту и глубине. Задавая вид и размер рыбы, тип и скорость движения судна (характеристики акустического поля) в модели, можно прогнозировать возможное горизонтальное и вертикальное положение рыб относительно судна в любой момент времени (Кузнецов, 2013).

Согласно модели уменьшение плотности минтая в трале относительно исходной (измеренной под судном) и, соответственно, снижение его уловистости на небольших глубинах может наблюдаться за счет избегающей реакции рыб в шумовом поле кормовой части корпуса судна, где находятся главные двигатели, и гребного винта. С ростом глубины избегающая реакция, связанная с заглублением косячков, находящихся выше верхней подборы трала на глубинах меньших, чем дистанция реагирования рыб на шум судна, может вызвать эффект уплотнения (концентрации) минтая в зоне облова трала и увеличения его уловистости. Это хорошо видно на разрезах, иллюстрирующих горизонтальное и вертикальное распределение минтая в шумовом поле СТМ типа «Атлантик-833» (рис. 7).

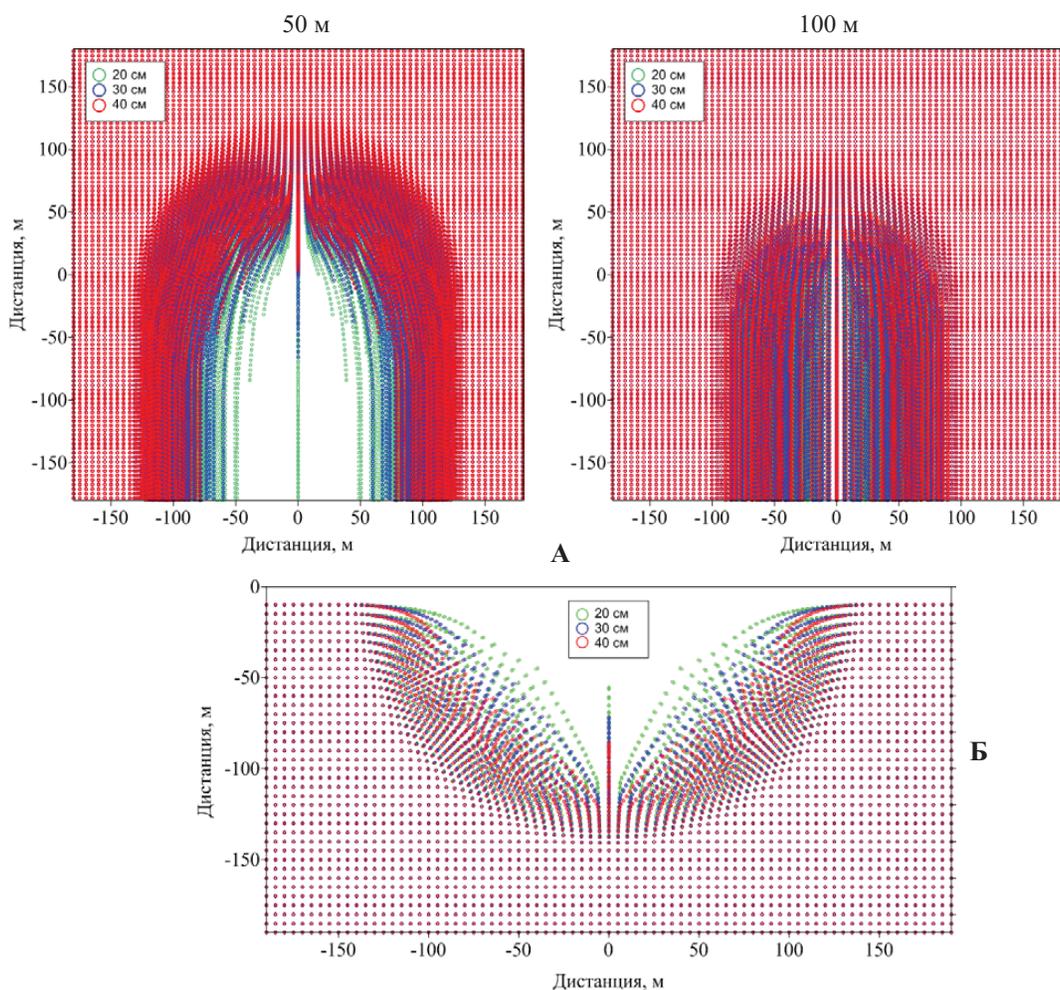


Рис. 7. Модель поведения минтая в шумовом поле СТМ типа «Атлантик-833» в слое, захватывающем среднее вертикальное раскрытие трала РТ/ТМ 57/360 — 36 м, скорость 3,5 уз, судно в точке с нулевыми координатами: **А** — вид сверху, разрез на глубине 50 и 100 м; **Б** — поперечный разрез (шкала — размер рыб, см)

Fig. 7. Model of pollock behavior in the noise field of middle-tonnage trawler Atlantic-833 for the layer towed by the trawl RT/TM 57/360 — 36 m with the speed of 3.5 knots; the vessel is at the point with zero coordinates: **A** — plane view for the depths 50 and 100 m; **B** — side view (scale — size of fish, cm)

На глубине до 50 м и более отчетливо видна область горизонтального обтекания рыбами шумового поля судна, которая существенно сокращается с глубиной. При равномерном исходном распределении минтая горизонтальные и вертикальные смещения особей, минимизирующие влияние шума, по мере увеличения горизонта расположения рыб и удаления в стороны от судна, уменьшаются таким образом, что на определенном расстоянии от судна образуется зона, где плотность минтая становится выше исходной — эффект «толпления» рыб. Эта зона формируется как по бокам, так и под килем судна и выглядит как полусфера, радиусом которой является дистанция реагирования рыб. Протяженность и плотность объектов в ней определяются скоростью движения судна. За пределами этой зоны скорость рыб и плотность их распределения становится близкой к исходной.

На рис. 7 можно увидеть, что крупные особи минтая, имеющие более высокие энергетические возможности, в процессе реакции смещаются дальше от судна, чем более мелкие рыбы. Поэтому глубина и расстояние от судна, на которых образуются максимальные концентрации мелкоразмерных особей в скоплении, не совпадают с

такowymi у крупноразмерного минтая, и это демонстрирует одно из проявлений селективного действия шумового поля.

Разработана программа, позволяющая количественно оценить влияние шумового поля движущегося судна на уловистость и селективность учетных тралов как отношение количества рыб в предполагаемой зоне захвата трала (площади устья трала) после прохода судна и при естественном их распределении. В окне программы задается тип судна, его скорость, вертикальное и горизонтальное раскрытие трала, длина кабелей и ваеров, глубина хода трала и другие, необходимые для расчёта параметры (рис. 8). В базе данных задаются размер рыб и их начальное распределение и плотность.

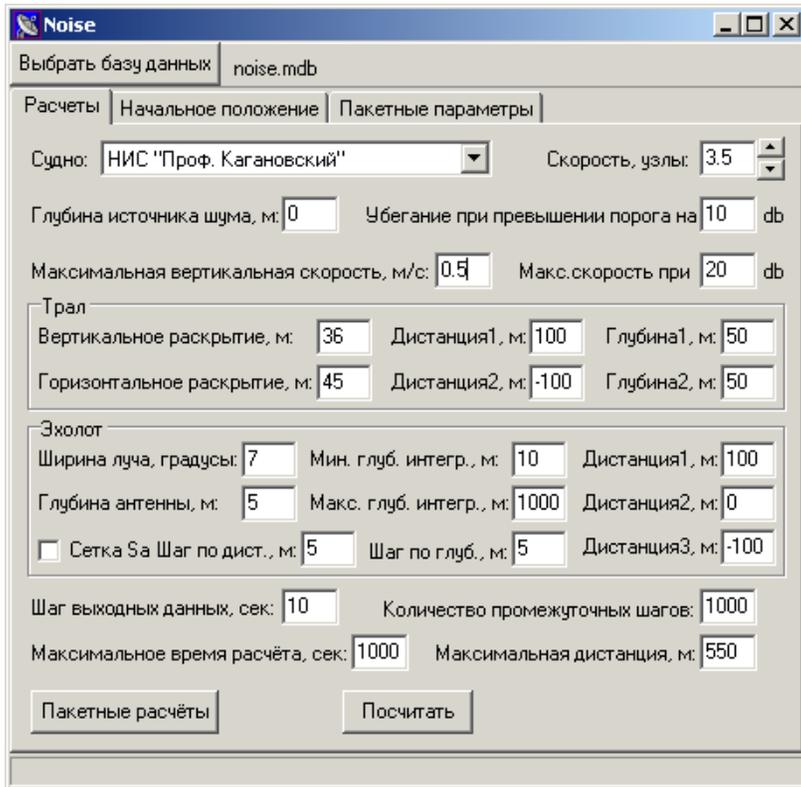


Рис. 8. Окно программы для расчета влияния шума судна на уловистость и селективность учетных тралов

Fig. 8. Window of the program for calculating the vessel noise effects on catchability and selectivity of survey trawls

При расчётах в программе учитывается отставание трала от судна, вычисляемое по длине ваеров и кабелей из соответствующих таблиц базы данных. Программа использует экспериментально вычисленные зависимости глубины хода учетного трала от длины ваеров и зависимости горизонтального и вертикального раскрытия трала от глубины хода трала (длины вытравленных ваеров).

Для этого предварительно были систематизированы измеренные траловым зондом FS20/25 данные о параметрах учетного трала РТ/ТМ 57/360, используемого при проведении тралово-акустических съемок в Охотском море (горизонтальном и вертикальном раскрытии, горизонте хода верхней подборы и длине вытравленных ваеров). В результате обработки накопленных данных установлена линейная зависимость глубины хода трала от длины вытравленных ваеров (рис. 9).

Выявлена степенная зависимость горизонтального раскрытия трала РТ/ТМ 57/360 от глубины хода верхней подборы трала (рис. 10). При этом, как и у РТ 80/396, влияния глубины хода трала (длины вытравленных ваеров) на вертикальное раскрытие РТ/ТМ 57/360 не установлено. Среднее значение вертикального раскрытия трала РТ/ТМ 57/360 составило 36 м.

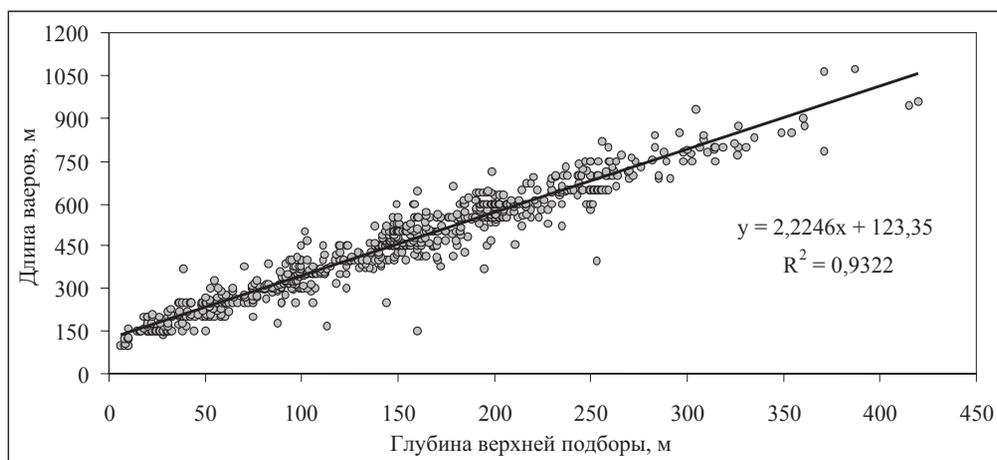


Рис. 9. Зависимость глубины хода трала РТ/ТМ 57/360 от длины ваеров (данные 2012–2013 гг.)

Fig. 9. Dependence of tow depth for the trawl RT/TM 57/360 on length of warp (on the data obtained in 2012–2013)

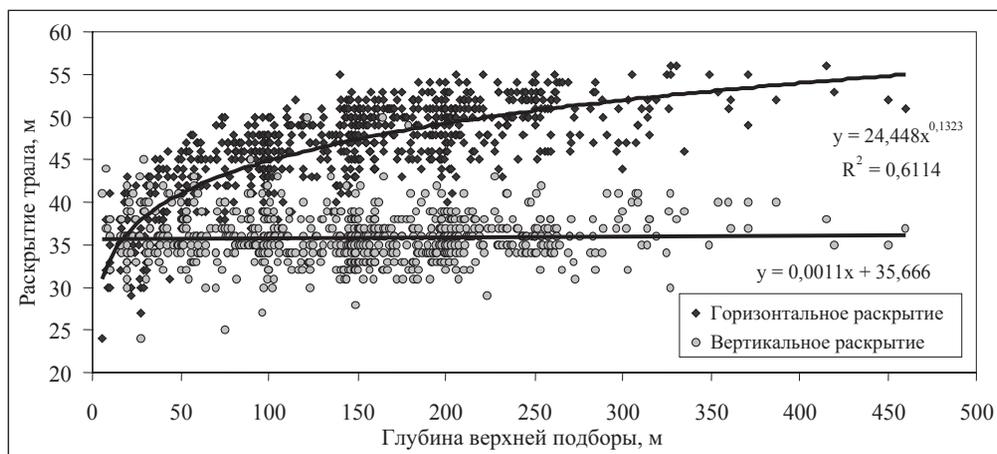


Рис. 10. Зависимость горизонтального и вертикального раскрытия трала РТ/ТМ 57/360 от глубины верхней подборы (данные измерений FS20/25 в 2012–2013 гг.)

Fig. 10. Dependence of horizontal and vertical opening of the trawl RT/TM 57/360 on depth of top line (on the data of trawl probe FS20/25 measurements in 2012–2013)

Если экспериментальных данных нет, программа интерполирует экспериментальные зависимости на другие типы тралов. Протраленная площадь в программе вычисляется, как и в экспериментах по оценке уловистости, с учетом фактической формы устья трала в виде эллипса, малым диаметром которого является вертикальное раскрытие трала, а большим — горизонтальное.

После загрузки всех необходимых параметров программа рассчитывает положение каждой рыбы в шумовом поле судна с интервалом 0,01 с и записывает исходное и конечное количество рыб, прошедших через устье трала, с заданным временным интервалом (1–10 с) в результирующий файл NoiseTrawl.csv. Затем по отношению количества рыб в зоне захвата трала и на той же площади при исходном (естественном) их положении впереди судна оцениваются селективность и уловистость трала с учетом размера рыб, отстояния трала от судна, параметров траловой системы и скорости движения судна.

Следует отметить, что с помощью программы можно рассчитать плотность рыб и, соответственно, уловистость трала по отношению к любой зоне исследуемой промысловой системы «судно–трал» и при любом положении рыб: под судном, между судном и тралом, перед тралом и т.д. Кроме этого, задавая в настройках программы параметры научного эхолота (см. рис. 8), можно рассчитать исходное положение рыб

на эхограмме, а также поправки, которые могут быть применены к показаниям эхолота для компенсации потерь энергии эхосигнала (коэффициента поверхностного рассеяния SA) под судном при эхоинтеграционной оценке запасов рыб.

Под исходным положением рыб в модели нами понимается невозмущенное (равномерное по горизонту и глубине) их распределение впереди судна до начала воздействия на рыб его шумового поля. Однако, поскольку измерения плотности минтая выполнялись эхолотом под килем судна, для сопоставления экспериментальных и модельных оценок в данном случае сравнивались (соотносились) плотности рыб под судном и на дистанции траления.

Результаты расчета в виде графиков изменения плотности различных размерных групп минтая в предполагаемой зоне захвата трала РТ/ТМ 57/360 относительно распределения рыб под судном типа «Атлантик-833» представлены на рис. 11. Как видно на рис. 11, плотность минтая в устье трала, или соотношение расчётных уловов под судном и на дистанции трала, существенно зависит от глубины (глубины хода трала) и скорости траления.

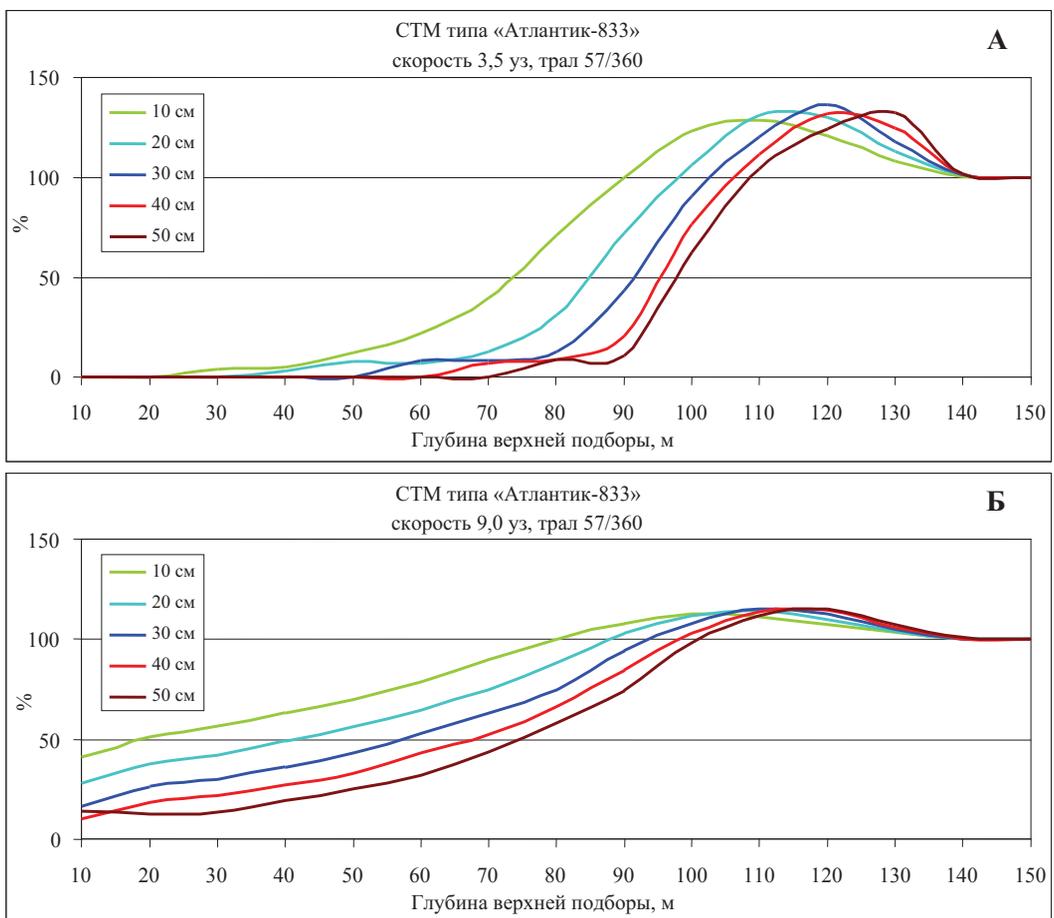


Рис. 11. Изменение плотности и размерной структуры минтая в зоне облова трала в зависимости от глубины и скорости траления: **А** — 3,5 уз; **Б** — 9,0 уз

Fig. 11. Dependence of the pollock distribution density and size structure in towed zone on depth and speed of trawling: **A** — 3.5 knots; **B** — 9.0 knots

В приповерхностных горизонтах до 50 м при скорости траления 3,5 уз значения плотности минтая в устье трала за счет избегающей реакции рыб в шумовом поле судна и гребного винта достаточно низки — для всех размерных групп меньше 15 % относительно исходной (измеренной под судном). Согласно модели с увеличением глубины траления отношение количества рыб в устье трала и на той же площади под

судном растет за счет перемещения части рыб в более глубокие горизонты (рис. 11). Растет и экспериментально измеренный коэффициент уловистости трала (см. рис. 4). На изобатах свыше 50 м прослеживается плавный рост количества молоди меньше 20 см. Низкие значения плотности минтая размером более 30 см в трале (меньше 20 %) отмечаются вплоть до глубины 80–90 м. На больших изобатах наблюдается быстрый рост количества крупных рыб в предполагаемой зоне захвата трала из-за эффекта уплотнения (концентрации) рыб на дистанциях реагирования (см. рис. 7), и при глубине верхней подборы от 110 до 130 м плотность минтая становится выше исходной на 30–36 % (в зависимости от размера рыб). За пределами зоны действия шумового поля судна (130–140 м) воздействие возмущений от судна на распределение скоплений постепенно снижается и плотность рыб в трале приближается к исходной (100 %).

Как видно на рис. 11, глубины, на которых образуются максимальные концентрации мелкоразмерного и крупноразмерного минтая, не совпадают. При глубине верхней подборы до 110 м в зоне захвата трала преобладает (точнее, остается) минтай размером 10–20 см. Средний и крупный минтай покидает верхние горизонты более активно, и только на глубине свыше 90 м при скорости траления 3,5 уз начинается уплотнение скопления этих рыб. Таким образом, на горизонтах траления до 100 м согласно модели количество неполовозрелой молоди значительно превышает число крупных рыб при условии, что исходное распределение всех размерных групп минтая равномерно по горизонту и глубине. Особенно значительное селектирующее влияние шума судна (искажение размерного состава облавливаемого скопления относительно исходного) наблюдается при глубине верхней подборы трала около 90 м, где в результате перемещения рыб из верхних слоев в зоне облова трала может находиться до 100 % сеголеток минтая размером 10 см, около 70 % минтая размером 20 см, 40 % минтая размером 30 см и лишь 21 и 11 % крупного минтая размером соответственно 40 и 50 см. На глубине свыше 90 м доля крупного минтая 40–50 см в устье трала быстро растет, и на глубине траления свыше 120 м крупного минтая в устье трала становится больше, чем молоди. Наибольшая доля попадания среднего и крупного минтая в предполагаемую зону захвата трала получена при глубине верхней подборы 120–140 м. Таким образом, при вертикальном раскрытии трала около 40 м диапазон глубин 120–180 м согласно модели является оптимальным для промысла минтая судами типа СТМ, оснащенными разноглубинными тралами РТ/ТМ 57/360 (максимальная плотность скоплений крупных рыб с минимальным приловом молоди).

С увеличением скорости движения судна плотность всех размерных групп минтая в верхних горизонтах тралений выше и возрастает с увеличением глубины более полого, а эффект концентрирования на дистанциях реагирования рыб выражен слабее. Это связано с тем, что при более высокой скорости судна покинуть область, где происходит реакция избегания, и оказаться в зоне повышенной плотности на дистанции траления позади судна успевает меньшее количество рыб. Например, при скорости траления 9 уз и глубине верхней подборы от 100 до 120 м (т.е. в зоне, где происходит «толпление» минтая) плотность скоплений минтая в устье трала согласно модели выше исходной всего на 12–15 % (в зависимости от размера рыб), а в приповерхностных горизонтах до 50 м остается от 70 до 25 % мелких и крупных рыб (рис. 11). Однако данное утверждение справедливо лишь при условии равномерного распределения облавливаемых агрегаций по глубине и требует экспериментального подтверждения.

Вид кривых на рис. 11 имеет определенное сходство с экспериментально полученной зависимостью коэффициента уловистости минтая от глубины хода трала (см. рис. 4). Значения коэффициента уловистости на глубине до 50 м во всех пробах меньше 1. С ростом глубины тралений на определенных горизонтах (в данном случае 100–200 м) и при достаточно широком распределении облавливаемых агрегаций шумовое поле судна повышает эффективность тралений (коэффициент уловистости растет), если горизонтальное избегание невелико. Оборонительная (защитная) реакция тресковых рыб и минтая в частности на шумовой раздражитель характеризуется в большей степени их затаиванием, чем стремлением уйти из опасной зоны (Кузнецов, 2011), поэтому у

этих рыб преобладают вертикальные составляющие перемещений (известное «подсаживание» минтая). За пределами зоны действия шумового поля судна его влияние на распределение минтая в трале ослабевает и значения коэффициента уловистости снижаются (см. рис. 4).

Однако есть некоторые различия в модельной и экспериментальной зависимости изменения плотности минтая в предполагаемой зоне захвата трала и коэффициента уловистости трала.

Во-первых, в модели не учитываются двигательные реакции рыб в зоне действия самого трала и его селективность, которые, как показали наблюдения, оказывают большое влияние на результирующую плотность скоплений минтая в устье трала и его уловистость. Селективность орудий лова обеспечивает избирательный отбор рыб из зоны облова орудия лова (Мельников, Мельников, 2005). На рис. 5 приведены экспериментальные зависимости коэффициента уловистости минтая от его длины в улове. Коэффициент уловистости растет, а затем уменьшается. Здесь мы имеем противоположное действие различных принципов селективности. Биофизический принцип селективности связан с неодинаковой способностью рыб различного вида и размера реагировать на действие промысловых физических полей (Мельников, Мельников, 2005), и он частично учтен в модели. Механическая селективность обусловлена отцеживающими и объеживающими свойствами сетного полотна трала. С одной стороны, более крупные рыбы из семейства тресковых сильнее реагируют на акустические раздражители, чем их молодь (Engas et al., 1996), т.е. рыбы младших возрастных классов имеют меньшую дистанцию реагирования, чем крупные, и это снижает вероятность их ухода из шумового поля судна. Поэтому коэффициент уловистости мелкоразмерного минтая, имеющего к тому же более слабые энергетические возможности и локомоции (скорости плавания), согласно модели (рис. 11) и биофизическому принципу селективности должен быть выше. С другой стороны, мелкие объекты сильнее просеиваются через сетное полотно трала и зачастую облавливаются только цилиндрической частью тралового мешка, оснащенной мелкоячейной вставкой. Уменьшение коэффициента уловистости мелкоразмерного минтая на рис. 5 может быть связано с выходом рыб через сетную оболочку трала в результате действия механического принципа селективности.

Рост уловистости с увеличением длины рыб, видимо, вызван тем, что особи средних размеров, имеющие более высокие скорости плавания, успевают быстрее достичь глубин, где наблюдается уплотнение (концентрация) минтая и чаще всего выполняются траления. При этом уменьшается действие механического принципа селективности сетного полотна самого трала. Поэтому значения коэффициента уловистости для них максимальны. Крупные и сверхкрупные особи минтая, имеющие наиболее высокие скорости плавания, успевают покинуть как область повышенного шума судна, так и зону облова трала, чем объясняется снижение коэффициента уловистости крупноразмерного минтая на рис. 5, вопреки классическим принципам селективности. Эти данные подтверждают результаты подводных визуальных наблюдений (Серебров, Попков, 1982; Заферман, Серебров, 1985).

Во-вторых, в модели пока не учтены эффекты, связанные с подъемом рыб и частичным восстановлением суммарной плотности скоплений минтая после прохождения судна, которые, наблюдались нами в результате первых экспериментов с использованием автономного плавучего гидроакустического комплекса (неопубликованные данные). Видимо, с этим связана большая разница плотности скоплений минтая в предполагаемой зоне захвата трала и его фактически измеренной уловистости на небольшой глубине выше 50 м.

Относительно коэффициента уловистости в дневных и ночных тралениях (см. рис. 6) известно, что уловы трала днем выше ночных. Это связано с тем, что ночью минтай рассеивается в толще воды и на эхограммах регистрируется в виде разреженных дисперсных слоев, совершая при этом вертикальные миграции. В светлое время суток минтай собирается в стаи на прежней глубине и фиксируется эхолотом преимущественно в виде косяков или протяженных агрегаций различной структуры и плотности. На глубинах меньших, чем дистанция реагирования рыб на шум судна, уловистость трала

днем и ночью одинаково низка, поскольку рыбы одинаково избегают опасности с помощью слуховых рецепторов, и растет на глубине, где плотность минтая становится выше исходной. Разница дневных и ночных уловов на глубине до 150 м незначительна. За пределами зоны действия шумового поля судна (свыше 150 м) уловистость дневных тралений становится выше за счет более высокой плотности рыб в скоплениях, чем при их рассеянном состоянии ночью.

Заключение

Говоря об уловистости, многие специалисты, изучающие этот вопрос, используют термин «коэффициент уловистости орудия лова». Как было показано нами ранее, изменение плотности рыбного скопления при взаимодействии с судном непосредственным образом может влиять на эхоинтеграционные оценки и уловистость орудий лова, применяемых для выполнения учетных тралово-акустических съемок (Кузнецов, Вологдин, 2009; Кузнецов, 2011, 2013). Таким образом, судно, если оно не включено в состав учетной рыболовной системы, является потенциальным источником погрешности оценки запасов рыб гидроакустическим и траловым методом. Поэтому при измерениях уловистости учетного орудия лова, с нашей точки зрения, корректнее говорить об уловистости промысловой системы «судно–трал», поскольку рыбы взаимодействуют не только с орудием лова, но и с судном, акустическое поле которого намного интенсивнее буксируемого им трала.

Исследованы зависимости коэффициента уловистости минтая от глубины хода трала, от средней длины рыб в улове и от времени суток. Полученные результаты хорошо согласуются с моделью двигательного поведения рыб в шумовом поле судна (Кузнецов, 2013). В частности, наблюдается снижение уловистости на небольших глубинах, вызванное избегающей реакцией рыб в шумовом поле судна, и увеличение уловистости с глубиной за счет уплотнения (концентрации) минтая в зоне облова трала на дистанциях реагирования рыб на шум судна. Снижение коэффициента уловистости крупноразмерного и мелкоразмерного минтая может быть вызвано селективирующим влиянием соответственно шума судна и сетной оболочки трала. Различие уловистости дневных и ночных тралений, видимо, связано с характеристиками распределения облавливаемых агрегаций рыб.

Получены модельные оценки влияния шумового поля судна на уловистость и селективность учетных тралов. Помимо вышеизложенных зависимостей, характерным является изменение размерного состава скоплений с глубиной (преобладание молодежи на горизонтах траления до 100 м и увеличение доли крупного минтая в устье трала при глубине верхней подборы 110–140 м), уменьшение плотности рыб в зоне «толпления» с увеличением скорости движения судна. Согласно расчетам диапазон глубин 120–180 м является оптимальным для промысла минтая с судов типа СТМ тралами РТ/ТМ 57/360 и РТ/ТМ 80/396.

При этом выявлены различия экспериментальной и модельной оценок плотности скоплений минтая в предполагаемой зоне захвата трала, связанные с подкильным расположением антенны эхолота при измерениях коэффициента уловистости и эффектами восстановления плотности рыб после прохода судна.

В эксперименте мы отработывали методику оценки уловистости промысловой системы «судно–трал» с использованием прецизионных научных эхолотов и компьютерных технологий обработки гидроакустической информации. Вместе с тем разработанные программные средства и полученные с их помощью результаты являются, на наш взгляд, не только усовершенствованным способом инструментальной оценки уловистости учетных тралов, но и универсальным инструментом оценки и описания множества ситуаций на траловом лове. Используя их, можно, например, сравнивать эффективность и выбирать оптимальные режимы траления по горизонтам глубины для вариаций объекта лова по размерам и плотности, судов по водоизмещению и мощности, орудий лова по размерам и скорости траления.

Поскольку измерения плотности скоплений находившихся на обловленной площади рыб выполнялись эхолотом под судном, влияние шума судна на уловистость промысловой системы в данном случае оценено лишь частично. И это является определенным недостатком используемой методики количественной оценки уловистости, поскольку пространственное распределение рыб в луче эхолота под судном уже отличается от исходного (естественного), т.е. по сути в экспериментах мы оценивали реакцию рыб, оставшихся под судном, в шумовом поле гребного винта (в пространстве между судном и тралом). Включив судно в состав учетной промысловой системы, измерения плотности рыб следует выполнять на расстояниях, превышающих дистанцию реагирования этих рыб впереди судна. Коэффициент уловистости при этом будет оцениваться как отношение количества пойманных рыб в трале к количеству рыб в протраленном объеме перед судном при естественном их распределении, т.е. до начала воздействия на рыб шумового поля судна и буксируемого им орудия лова.

Таким образом, следующим этапом работ должны стать эксперименты с использованием автономного плавучего буя со встроенным научным эхолотом при приближении к нему судна на свободном ходу или судна с тралом. Это позволит оценить естественное распределение рыб и в зоне действия промысловой системы «судно–трал». Такие работы уже начаты и их результаты будут использованы для корректировки акустической плотности рыб, измеряемой в луче эхолота по слоям глубины (при эхоинтеграционной оценке запасов) и в предполагаемой зоне захвата трала (при измерениях уловистости учетной промысловой системы), а также для уточнения модели поведения рыб.

Список литературы

- Артемов А.Г., Карпенко Э.А., Протащук В.А.** Определение уловистости трала // Совершенствование техники промышленного рыболовства : Тр. ВНИРО. — 1978. — Т. 135. — С. 52–55.
- Атлас количественного распределения nekтона в Охотском море** / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — М. : Нац. рыб. ресурсы, 2003. — 1031 с.
- Баранов Ф.И.** Техника промышленного рыболовства : моногр. — М. : Пищепромиздат, 1960. — 696 с.
- Волвенко И.В.** Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съемок // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 473–500.
- Волвенко И.В.** Технические проблемы адекватной интерпретации результатов траловых съемок и пути их решения // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 172. — С. 282–293.
- Горелов П.А.** Коэффициент уловистости сетной части донного трала // Совершенствование техники промышленного рыболовства : Тр. ВНИРО. — 1978. — Т. 135. — С. 55–59.
- Заферман М.Л.** Измерение коэффициента уловистости тралящих орудий лова // Рыб. хоз-во. — 1976. — № 3. — С. 51–52.
- Заферман М.Л., Серебров Л.И.** Методы и результаты изучения коэффициентов уловистости тралов // Исследования по оптимизации рыболовства и совершенствованию орудий лова : сб. науч. тр. — М. : ВНИРО, 1985. — С. 84–94.
- Заферман М.Л., Тарасова Г.П.** О поведении черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides*) в устье донного трала // Вопр. рыб-ва. — 2004. — Т. 5, № 4(20). — С. 753–762.
- Кадильников Ю.В.** Вероятностно-статистическая теория рыболовных систем и технической доступности для них водных биологических ресурсов : моногр. — Калининград : АтлантНИРО, 2001. — 277 с.
- Касаткина С.М.** Гидроакустические исследования характеристик распределения криля и совершенствование методов контроля за состоянием его ресурсов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М. : АтлантНИРО, 2003. — 25 с.
- Касаткина С.М.** Пелагический трал как инструмент оценки размерно-массового состава морских гидробионтов на эхо-съемках // Развитие технических методов рыбохозяйственных исследований : сб. науч. тр. — Мурманск : ПИНРО, 1999. — С. 131–146.
- Коротков В.К.** Реакции рыб на трал, технология их лова : моногр. — Калининград : МариНПО, 1998. — 398 с.
- Кручинин О.Н., Мизюркин М.А., Сафронов В.А.** Способ определения коэффициентов уловистости донного трала // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 164. — С. 374–383.

Кузнецов М.Ю. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-центра // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 172. — С. 20–51.

Кузнецов М.Ю. Дистанции реагирования различных видов рыб на гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и допустимые уровни шума // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 164. — С. 157–176.

Кузнецов М.Ю., Вологдин В.Н. Гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и их влияние на поведение и оценки запасов рыб (обзор и перспективы исследований) // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 157. — С. 334–355.

Кузнецов М.Ю., Шевцов В.И. Использование системы контроля трала SIMRAD FS20/25 для исследования геометрии трала // Сб. науч. тр. Дальрыбвтуза. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2006. — С. 74–80.

Лапшин О.М. Подходы к определению коэффициента уловистости учетных тралов // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 157. — С. 247–260.

Мамылов В.С. Некоторые аспекты оценки плотности рыбных скоплений тралово-акустическими методами // Развитие технических методов рыбохозяйственных исследований : сб. науч. тр. — Мурманск : ПИНРО, 1999. — С. 147–163.

Мамылов В.С., Ратушный С.В. К методике расчета акустической зоны тени при оценке запасов донных рыб // Инструментальные методы рыбохозяйственных исследований : сб. науч. тр. — Мурманск : ПИНРО, 1996. — С. 107–121.

Мельников А.В., Мельников В.Н. Селективность рыболовства : моногр. — Астрахань : АГТУ, 2005. — 376 с.

Серебров Л.И., Попков Г.В. Определение коэффициента уловистости донного трала с помощью БПА «Тетис» // Рыб. хоз-во. — 1982. — № 8. — С. 59–61.

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

Engas A., Lokkeberg S., Ona E., Soldal A.V. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1996. — Vol. 53. — P. 2238–2249.

MacLennan D.N., Fernandes P.G., Dalen J. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics // ICES J. Mar. Sci. — 2002. — Vol. 59. — P. 365–369.

McQuinn I.H., Reid D., Berger L. et al. Description of the ICES HAC Standard Data Exchange Format, Version 1.60 : ICES Cooperative Research Report. — 2005. — № 278. — 86 p.

Поступила в редакцию 22.06.15 г.