

УДК 639.2.053.2:534.831+639.2.081.117.21

М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, И.А. Убарчук, Е.В. Сыроваткин*
Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

ВЛИЯНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА СУДНА НА ЭХОИНТЕГРАЦИОННЫЕ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ РЫБ И УЛОВИСТОСТЬ УЧЕТНОГО ТРАЛА (НА ПРИМЕРЕ МИНТАЯ ОХОТСКОГО МОРЯ)

Ранее были получены оценки уловистости минтая учетным тралом РТ/ТМ 57/360 по результатам акустических измерений плотности скопления рыб в слое траления под судном. Показано, что при таком подходе не учитывается реакция рыб на шумовое поле впереди судна. Кроме этого, искажение естественного распределения рыб на пути судна может служить источником погрешности и эхоинтеграционной оценки запасов. Представлены результаты экспериментов по оценке реакции рыб на шум судна с использованием автономного плавучего буя со встроенным научным эхолотом. Дистанция реагирования минтая на шум судна составили от 140 до 180 м, что соответствует расчетной (150 м) и согласуется с модельными оценками. Характерно более сильное уменьшение суммарной плотности (рассеяние) скоплений в верхних горизонтах. Заглубление рыб при приближении судна вызывает последовательное увеличение плотности их скопления в более глубоком слое. В диапазоне глубин 0–100 м отношение плотности скопления минтая к фоновой в точке максимального сближения с судном составило 0,56, т.е. недоучет численности этих рыб эхоинтеграционным методом может превышать 40 %. На глубинах 100–200 м за счет заглубления рыб уменьшение суммарной плотности скопления было менее значимо: $K_{изб} = 0,86$. Скорости рыб в шумовом поле судна на порядок выше, чем при их естественных вертикальных миграциях, что является показателем сильного раздражающего воздействия шума. Выявлены различия и сходство экспериментальной и модельной оценок изменения плотности скопления минтая во время прохода судна. Получены оценки результирующего (сквозного) коэффициента уловистости учетного трала РТ/ТМ 57/360 в зависимости от глубины, в которых суммируется избегание рыбами шумового поля впереди судна и уловистость самого трала. Значения коэффициента уловистости варьируют от 0,01 в приповерхностных горизонтах до 0,85 на дистанциях реагирования минтая.

Ключевые слова: шум судна, оценка запаса, научный эхолот, реакция избегания, плотность скопления, заглубление, рассеяние, дистанция реагирования, модель поведения, учетный трал, коэффициент уловистости, протраленный объем.

DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-85-100.

Kuznetsov M.Yu., Poljanichko V.I., Ubarchuk I.A., Syrovatkin E.V. Influence of hydroacoustic noise from vessel on echo integration estimations of fish stocks and catchability

* Кузнецов Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, e-mail: kuznetsovm@tinro.ru; Поляничко Владимир Ильич, младший научный сотрудник, e-mail: vladimir.polyanichko@tinro-center.ru; Убарчук Игорь Анатольевич, ведущий инженер, e-mail: tinro@tinro.ru; Сыроваткин Евгений Владимирович, ведущий инженер, e-mail: tinro@tinro.ru.

Kuznetsov Michail Yu., Ph.D., head of laboratory, e-mail: kuznetsovm@tinro.ru; Poljanichko Vladimir I., junior researcher, e-mail: vladimir.polyanichko@tinro-center.ru; Ubarchuk Igor A., leading engineer, e-mail: tinro@tinro.ru; Syrovatkin Eugeny V., leading engineer, e-mail: tinro@tinro.ru.

of accounting trawl (on example of walleye pollock in the Okhotsk Sea) // *Izv. TINRO.* — 2017. — Vol. 190. — P. 85–100.

Previously, catchability of walleye pollock was estimated for the accounting trawl RT/TM 57/360 by results of acoustic measurements of fish density in the towed layer under fishing vessel. However, fish reaction to noise field ahead of vessel was not accounted in that experiment. Besides, distortion of initial distribution of fish by the vessel noise could cause an error in fish stock estimations by methods of echo integration. Data of new experiment conducted for estimation of fish reaction to the vessel noise are presented using independent floating buoy equipped by scientific echo sounder. Distance of walleye pollock reaction to the vessel noise was estimated as 140–180 m that corresponds to the calculated value (150 m) used in modeling. Distortion of typical fish distribution was considerable: the fish density decreased in the upper layer and gradually increased in deeper layers as the fish moved down. The density decreasing in the layer 0–100 m was evaluated as 0.56, i.e. the echo integration method underestimated the fish density on more than 40 %, the decreasing in the layer 100–200 was less significant (0.86). Fish moved down under the noise effect in 10 times faster than at their daily vertical migration. The experimental data on walleye pollock density change under influence of passing fishing vessel are compared with the modeling results. Estimations of catchability coefficient for the accounting trawl PT/TM 57/360 are corrected taking into account the depth of trawling. The corrected coefficients of catchability for walleye pollock vary from 0.01 at the sea surface to 0.85 at the depth equal to the distance of its reaction to the noise.

Key words: vessel noise, fish stock estimation, scientific echo sounder, avoiding reaction, density aggregation, fish deepening, fish dispersion, reaction to noise distance, behaviour model, accounting trawl, catchability coefficient, towed volume of water.

Введение

В предыдущей статье (Кузнецов и др., 2015) был представлен инструментальный метод оценки уловистости учетных тралов, который состоит в измерении плотности скоплений рыб в слое предполагаемого прохода трала под судном и сравнении ее с уловом трала. Для этого были использованы судовые научные эхолоты EK-60 Simrad с подкильным расположением антенн и система контроля трала FS20/25 Simrad, позволяющие достаточно точно измерять плотность скоплений в слое траления и параметры трала. Разработаны соответствующие программные средства обработки акустических данных. Методикой предусматривались измерение плотности скопления рыб под судном и пересчет фактического улова трала в эквивалентные акустические единицы плотности скопления в протраленном объеме. Из отношения рассчитанной по улову и измеренной в слое траления под судном плотности скопления получали искомые коэффициенты уловистости.

При таком подходе устраняется методическая ошибка предыдущих исследований, поскольку измерения плотности рыб выполняются не в зоне действия тралового комплекса, а перед ним, т.е. до начала реагирования рыб на его приближающиеся элементы (Лапшин, 2009).

Однако распределение рыб под судном, буксирующим трал, тоже не является естественной агрегацией рыб, поскольку при движении судно создает под водой шумовое поле, которое может оказывать существенное влияние на поведение и распределение рыб (Кузнецов, 2011а, б, 2013; De Robertis, Handegard, 2013). Это влияние (по причине того, что частотные диапазоны спектра гидроакустического шума судна и слуховой чувствительности большинства промысловых рыб совпадают) выражается реакцией избегания — стремлением рыб выйти из шумового поля судна в сторону его уменьшения. Шумовое поле распространяется во все стороны от источника, в том числе и впереди судна (Кузнецов и др., 2014), поэтому пространственное распределение рыб по мере приближения судна изменяется и отличается от исходного*. А поскольку измерения плотности скопления, согласно вышеприведенной методике (Кузнецов и др., 2015), выполнялись эхолотом под килем судна, влияние гидроакустического шума на уловистость траловой системы учтено лишь частично — в зоне 2 между судном и тралом (рис. 1).

* Под исходным понимается невозмущенное (естественное) распределение рыб впереди судна до начала воздействия на них шумового поля, вызывающего реакцию избегания.

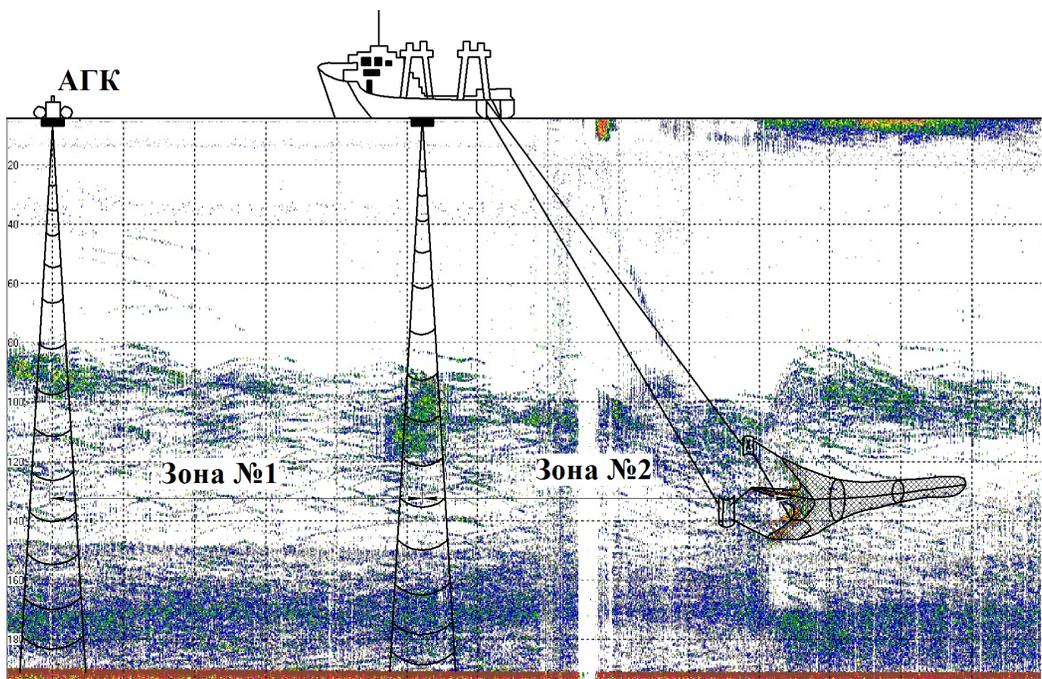


Рис. 1. Схема измерения уловистости учетной промысловой системы судно–трал
 Fig. 1. Scheme of measurements of catchability by the accounting system vessel–trawl

Кроме этого, как неоднократно указывалось нами ранее (Кузнецов, 2011а, 2013; Кузнецов и др., 2014), реакция избегания и искажение за счет этого естественного распределения и концентрации рыб на пути судна могут служить источником погрешности и эхоинтеграционной оценки запасов. Причем если ошибка траловых измерений в какой-то степени компенсируется коэффициентами уловистости трала, то эффекты влияния шумового поля судна на акустические оценки плотности скопления рыб в настоящее время никак не учитываются.

Таким образом, следующей задачей исследований логично становится оценка исходной (естественной) плотности скопления рыб впереди судна и ее изменения по мере приближения судна. Измерения должны выполняться с использованием аналогичного установленному на судне средства вертикальной эхолокации на расстояниях, превышающих дистанцию реагирования рыб на шум судна (зона 1, рис. 1), а плотности скопления, измеренные ранее в слое траления под судном, соответствующим образом корректироваться с учетом их изменения относительно исходной. Коэффициент уловистости при этом будет оцениваться по отношению количества пойманных рыб в трале к количеству рыб в предполагаемой зоне захвата трала при естественном их распределении, т.е. до начала воздействия на рыб шумового поля судна (зона 1 + зона 2).

Целью экспериментов является также повышение достоверности эхоинтеграционных съемок путем компенсации измеряемой эхолотом под килем судна плотности скопления рыб относительно исходной по слоям глубины. Чтобы разработать алгоритм такой компенсации, необходимо смоделировать двигательное поведение различных видов рыб и их расположение в результате реакции избегания шумового поля судна. Данная работа является важным шагом по уточнению используемых в модели параметров, при которых происходят избегание рыбами судна и смещенность эхоинтеграционной оценки запасов (дистанции реагирования, доля реагирующих рыб, скорости заглубления, подъема и др.).

Материалы и методы

Избегательная (оборонительная) реакция рыб заключается в изменении горизонта своего обитания, уходе объекта в сторону от судна при его приближении или в том и

другом одновременно (Кузнецов, 2011а). Горизонтальные и вертикальные перемещения рыб от источника шума, а также связанные с заглублением изменения угла наклона рыб сопровождаются уменьшением акустической плотности и увеличением глубины расположения рыб и интерпретируются нами как реакции избегания (Olsen et al., 1983; Кузнецов, Вологдин, 2009).

Эксперименты по измерению исходной плотности скопления минтая впереди судна и влияния шума судна на эхоинтеграционные оценки и уловистость трала были выполнены в периоды проведения комплексных съемок в Охотском море в 2014–2016 гг.: 20 экспериментов (42 галса) в районах ЮЗК (8-й район) и СЗК (7-й район).

Для проведения экспериментов использовался специально разработанный автономный гидроакустический комплекс (АГК). АГК выполнен в виде плавучей платформы, внутри которой установлены портативный научный эхолот EK-60 SIMRAD с вертикально направленной антенной 38 кГц, источник питания, система связи с судном и GPS-приемник (рис. 2). Комплекс запускается с борта судна по Wi-Fi и автономно работает в режиме вертикальной эхолокации на частоте 38 кГц, применяемой при эхоинтеграционной оценке численности рыб. Акустические и навигационные данные записываются на жесткий диск портативного компьютера с использованием программы ER-60 SIMRAD.

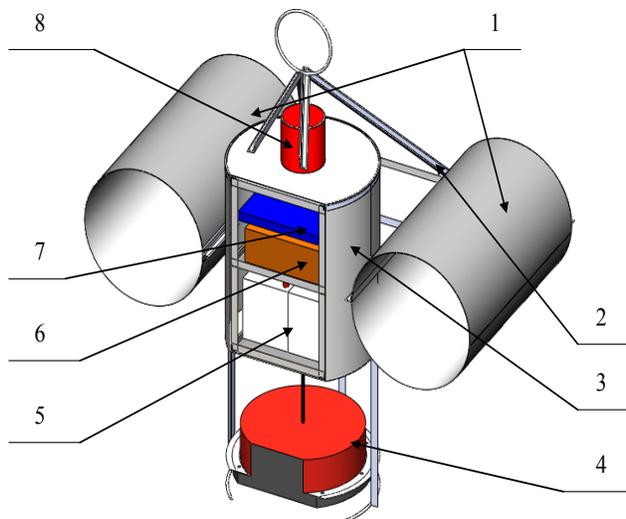


Рис. 2. Устройство автономного гидроакустического комплекса (АГК): 1 — плавучая платформа; 2 — подъемная ферма; 3 — приборный отсек; 4 — антенна эхолота 38 кГц; 5 — аккумуляторные батареи; 6 — приемопередатчик эхолота; 7 — процессорный блок; 8 — антенны Wi-Fi и GPS

Fig. 2. Autonomous hydroacoustic complex: 1 — floating platform; 2 — lifting truss; 3 — instrument compartment; 4 — echo sounder antenna of 38 kHz; 5 — rechargeable batteries; 6 — echo sounder transceiver; 7 — processor unit; 8 — Wi-Fi and GPS antennas

Измерения выполнялись при наличии равномерно распределенных скоплений минтая на глубине не более 200 м. Перед измерениями, как правило, производилось контрольное траление для идентификации эхозаписи и определения размерно-видового состава исследуемого скопления.

Схема движения и маневрирования судна во время экспериментов аналогична используемой при измерении подводного шума судна (Кузнецов и др., 2014). Дистанция до судна в точке максимального сближения (ТМС) с АГК должна составлять 10–20 м (рис. 3). Судно отходит от АГК на расстояние 1 мили, затем делает циркуляцию и начинает движение в направлении АГК. Судно проходит поочередно левым и правым бортами по прямой линии мимо АГК, с которого производятся акустические измерения плотности и вертикального распределения рыб, таким постоянным курсом, при котором достигается требуемое минимальное расстояние до АГК, когда судно находится на траверзе

(не более 20 м). Участок прямолинейного равномерного движения судна, на котором проводят акустические измерения, является измерительным галсом. Дистанции между АГК и судном и параметры движения судна в каждой точке галса рассчитываются каждую секунду с использованием GPS и программы Sounder. В точке «Старт» судно должно иметь требуемые параметры движения и поддерживать постоянную скорость, фиксированные установки ВРШ и обороты двигателя и минимальное использование рулевого управления для удержания на заданном курсе, пока судно не пройдет через точку «Финиш». Затем судно выполняет циркуляцию и выходит на следующий галс, но только после того, как скопление в точке регистрации восстановит прежнюю конфигурацию и плотность. Время между проходами обычно составляет 30–40 мин для восстановления фонового состояния рыб.

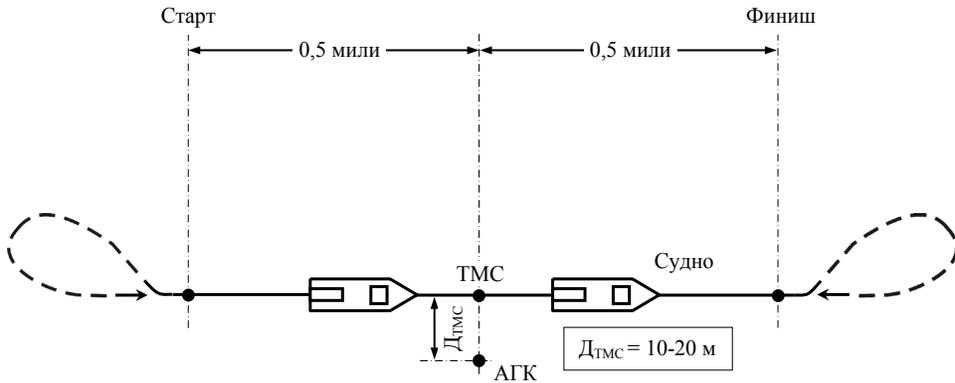


Рис. 3. Схема движения судна во время измерений
Fig. 3. Scheme of vessel movement during measurements

Реакция рыб на шум судна оценивалась инструментально по изменению плотности (силы обратного поверхностного рассеяния) и глубины расположения рыб до и во время прохождения судна мимо неподвижного относительно скопления рыб средства вертикальной эхолокации (АГК). В режиме постпроцессорной обработки эхограмм программным комплексом SALTSE (Scattering Area Coefficient, Length and Target Strength Estimation) (Убарчук, Ермольчев, 2015) измерялись коэффициенты обратного поверхностного рассеяния s_A ($\text{м}^2\text{миля}^{-2}$) и средневзвешенные глубины распределения рыб H (м): сначала их фоновые значения $s_{A\text{фон}}$ и $H_{\text{фон}}$ — до прохождения судном точки «Старт» (перед началом галса) и затем, во время галса, $s_{A\text{галс}}$ и $H_{\text{галс}}$ в течение 1- или 2-секундных интервалов интегрирования (~ 5 или 10 м горизонтального расстояния). Изменение плотности (рассеяние) и глубины расположения рыб при проходе судна мимо АГК оценивалось по отношению s_A и H на галсе к фоновому значению как коэффициенты избегания $K_{\text{изб}}$ и заглупления $K_{\text{глуб}}$:

$$K_{\text{изб}} = \frac{s_{A\text{галс}}}{s_{A\text{фон}}} \text{ и } K_{\text{глуб}} = \frac{H_{\text{галс}}}{H_{\text{фон}}}.$$

Для каждого галса строились зависимости коэффициента избегания $K_{\text{изб}}$ (изменения плотности скоплений минтая относительно исходной) в поддиапазонах глубин и слоях траления от дистанции до судна. Умножая $K_{\text{изб}}$, измеренные АГК в ТМС с судном (зона 1, см. рис. 1), на коэффициенты уловистости, рассчитанные ранее (Кузнецов и др., 2015) по результатам измерений плотности скопления в соответствующих слоях глубин траления под судном (зона 2, рис. 1), получали результирующие, или сквозные, коэффициенты уловистости по слоям глубины, в которых учитывается как избегание рыбами шумового поля судна, так и уловистость самого трала.

Результаты и их обсуждение

На рис. 4 представлены регистрируемые АГК эхограммы и соответствующие им графики изменения плотности (суммарной и по слоям глубины) и средневзвешенной

глубины расположения скоплений относительно фоновой. Типичными для большинства экспериментов являлись уменьшение плотности скоплений рыб и их заглубление за счет реакции избегания в шумовом поле судна при его приближении к АГК относительно исходного распределения, которые можно заметить даже при визуальном просмотре эхограмм.

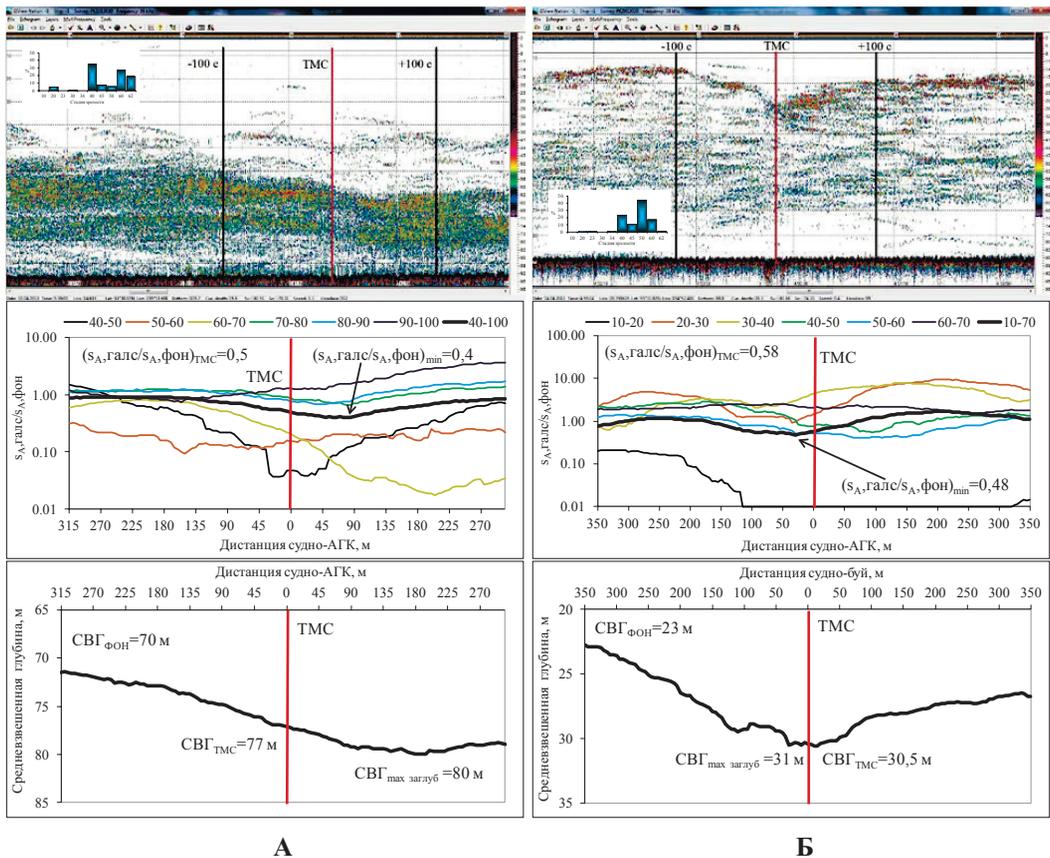


Рис. 4. Эхограммы и графики, иллюстрирующие реакцию минтая при прохождении НИС «Профессор Кагановский» мимо АГК: **А** — серия № 1; **Б** — серия № 2

Fig. 4. Echograms and graphs illustrating the walleye pollock reaction during passage of RV Professor Kaganovskiy: **А** — series № 1; **Б** — series № 2

Наблюдается активное перераспределение плотности скопления минтая по слоям глубины. Часть рыб на пути судна уходит в стороны (рассеивается). Характерно более сильное уменьшение плотности скопления на меньших глубинах. Заглубление рыб при приближении судна вызывает последовательное увеличение плотности их скопления в более глубоком слое. Таким образом, при достаточно широком вертикальном распределении скоплений и если горизонтальное избегание невелико, на определенных глубинах шумовое поле судна повышает плотность скопления рыб относительно исходной, что подтверждает данные модельных расчетов (Кузнецов и др., 2015). Практически во всех экспериментах уменьшение суммарной плотности скоплений во время прохода судна происходило за счет сокращения плотности скопления в верхних горизонтах, а ее рост — за счет увеличения плотности скопления минтая в более низких слоях глубины.

В серии экспериментов, где была высока доля созревающих и отнерестившихся рыб (рис. 4, А), устойчивый эффект уменьшения плотности скоплений минтая в приповерхностных горизонтах (на уровне 90 % и ниже от фоновой) был зафиксирован на расстоянии от судна 140–150 м. Однако процесс заглубления рыб из верхнего слоя, как это видно на эхограмме, начинался задолго до этого (в разных экспериментах на расстояниях от 180 до 500 м и больше). На некоторых галсах минтай начинал заглубляться на расстоянии от судна 160–180 м с начальной скоростью около 0,05 м/с. По

мере сближения с судном вертикальная скорость минтая увеличивалась и в 40–60 м от АГК достигала максимального значения — до 0,4 м/с. На минимальном расстоянии от судна ($D_{\text{ТМС}}$) и в шумовом поле гребного винта плотность скопления рыб продолжала уменьшаться. На расстояниях от 30 до 80 м после прохода ТМС коэффициент избегания достигал своего минимального значения, а скорость спуска снижалась до фоновой. Затем начинался медленный подъем минтая с волнообразно нарастающей скоростью до 0,06–0,12 м/с. На дистанциях от кормы судна 150–300 м процесс подъема прекращался. Плотность скопления рыб под АГК составляла около 80 % относительно фоновой и восстанавливалась полностью ($K_{\text{изб}} = 1$) на расстоянии от судна 400–500 м (через 1,5–2,0 мин). Однако средневзвешенная глубина залегания рыб оставалась на 7–10 м ниже фоновой, что отражает смещение центра концентрации рыб в нижние горизонты. Исходное вертикальное распределение рыб восстанавливалось более 10 мин.

Несколько иные результаты получены в скоплениях, где было больше половозрелых особей (рис. 4, Б). Как и в других опытах, отмечено занырявание рыб (при их наличии) из приповерхностного слоя на расстоянии от судна около 500 м. Основное отличие в том, что реакция горизонтального избегания начинала проявляться несколько ранее — на расстоянии 160–180 м перед судном, а отношение суммарной плотности скопления рыб к фоновой становилось минимальным до подхода судна к АГК на дистанциях от 50 до 30 м. Затем начинался обратный процесс восстановления плотности. На траверзе (в ТМС) и после прохода судна тенденция роста суммарной s_A продолжалась, и на расстоянии 80–120 м плотность скопления рыб восстанавливалась ($K_{\text{изб}} = 1$) и даже становилась выше фоновой.

Видимо, крупные половозрелые особи минтая, имеющие более высокую скорость плавания, быстрее покидают верхние горизонты и достигают глубин, где происходит уплотнение их скопления. А рыбы, находящиеся в более низких слоях, по мере приближения судна реагируют больше вертикальными, чем горизонтальными, движениями от судна, поэтому прекращение снижения суммарной плотности скопления рыб и следующий за этим ее рост наступают раньше (до ТМС).

В некоторых опытах реакция минтая была более поздней и скоротечной или, наоборот, более вялой. Например, процесс уменьшения плотности скопления рыб начинался на расстоянии от судна 80–110 м, но с более высокой скоростью рассеяния по мере его приближения. Скорость спуска также быстро росла и на расстояниях от судна от 30 до 40 м имела максимальные значения (до 0,38 м/с). В непосредственной близости от судна погружение рыб замедлялось, однако снижение суммарной плотности скопления рыб продолжалось вплоть до окончания галса.

Несколько галсов выполнено на сильно разреженной записи преимущественно молоди минтая. Уменьшение суммарной плотности скоплений минтая s_A на уровне 80 % было зарегистрировано на расстоянии до судна около 300 м с тенденцией очень слабого снижения по мере приближения судна. Погружение рыб стало заметно только вблизи судна на расстоянии около 100 м.

В ряде экспериментов (как, например, на рис. 4, Б) процесс заглубления рыб из приповерхностных горизонтов начинался на расстояниях до судна около 500 м, но при этом плотность скоплений в луче эхолота АГК существенно не менялась (минтай не рассеивался). Такое состояние соответствует первой фазе реакции, когда рыбы слышат звук (уровень шума превышает слуховой порог), но не могут определить направление прихода звуковой волны (Кузнецов, 2011а). Реакция быстрых приповерхностных рыб (скумбрия, тунцы, лососи) характеризуется более активными, чем фоновые, горизонтальными движениями внутри косяка или стаи. У менее подвижных видов (к которым относится минтай), пока не локализован источник шума, реакция выражается стремлением затаиться, т.е. вертикальными перемещениями рыб (Кузнецов, 1996).

Способность рыб к определению направления на источник раздражения (вторая фаза реакции) возникает, когда нарастающее звуковое давление шума превысит вызывающий первую фазу реакции уровень шума шумовой фон не менее чем на 10 дБ (порог реакции избегания). Расчетная дистанция реагирования минтая на шум НИС

«Профессор Кагановский» и «ТИНРО», соответствующая второй фазе реакции, составляет около 150 м в диапазоне максимальной чувствительности (Кузнецов и др., 2014). При условии, что звуковое давление падает обратно пропорционально расстоянию, увеличение уровня звукового давления шума на 10 дБ — это сокращение дистанции между судном и АГК в 3,16 раза, т.е. с 500 до 150–160 м. На этих дистанциях реакция становится направленной — сопровождается как вертикальными, так и горизонтальными движениями рыб от источника шума.

Обобщенные по всем экспериментам графики изменения плотности (коэффициента избегания) скоплений минтая в шумовом поле судна при его прохождении измерительными галсами мимо АГК с эхолотом представлены на рис. 5. На расстояниях до судна 180–140 м кривая суммарной плотности имеет тенденцию небольшого начального подъема ($K_{изб} > 1$) и затем устойчивого снижения при дальнейшем его приближении. Увеличение плотности скопления, видимо, вызвано горизонтальными движениями реагирующих вперед по ходу судна и уже находящихся там рыб, за счет чего происходит эффект «толпления» минтая на дистанциях реагирования. Устойчивое уменьшение суммарной плотности скоплений минтая s_A зафиксировано на горизонтальном расстоянии до судна около 120 м. Видно, что сначала это снижение происходило в основном за счет интенсивного рассеяния (сокращения плотности) рыб в приповерхностных горизонтах 0–50 м, а затем, по мере приближения судна, и в более глубоких слоях — 50–100 и 100–150 м (рис. 5). Поскольку реакция рыб сопровождается не только горизонтальным избеганием, но и их заглублением, кривые уменьшения плотности в подповерхностных слоях глубины (50–150 м) суммируют эти эффекты и имеют более пологий характер. В диапазоне глубин 150–200 м (т.е. на дистанциях реагирования минтая) вблизи ТМС наблюдался обратный процесс: увеличение плотности скоплений за счет перемещения туда рыб из верхних горизонтов аналогично «толплению» минтая впереди судна.

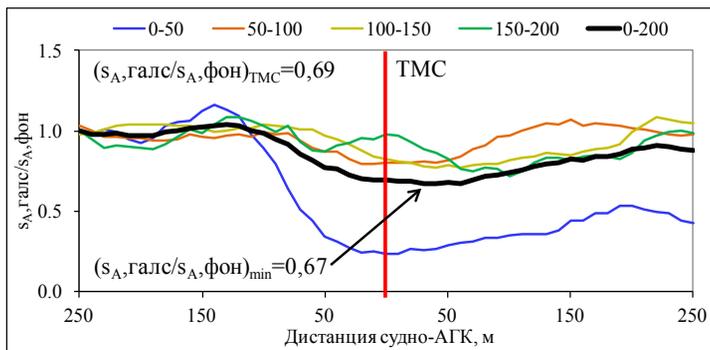


Рис. 5. Изменение плотности скоплений минтая в поддиапазонах глубин в зависимости от дистанции между судном и АГК (Охотское море, 2013–2016 гг.)

Fig. 5. Change of walleye pollock distribution density in dependence on the distance between the vessel and autonomous hydroacoustic complex, by the layers (Okhotsk Sea, 2013–2016)

Коэффициент избегания в момент прохода судна мимо АГК на глубинах меньше 100 м по обобщенным данным составил 0,56 (рис. 6). Это означает, что плотность скопления минтая на минимальном расстоянии от судна ($D_{ТМС}$) сократилась почти в 1,8 раза относительно исходной, измеряемой при естественном (невозмущенном) состоянии рыб впереди судна до начала действия шумового поля (рис. 6, А), т.е. во время съемки занижение измеряемой эхолотом под килем судна численности рыб в слое 0–100 м может составить более 40 %. В диапазоне глубин от 100 до 200 м (рис. 6, Б) тенденция начального подъема и последующего уменьшения суммарной плотности скоплений в ТМС за счет заглубления рыб была менее значима — $K_{изб} = 0,86$, т.е. недоучет численности минтая гидроакустическим эхоинтеграционным методом в диапазоне глубин 100–200 м не превышал 15 % под судном и 20 % позади судна. Отношение суммарной плотности скопления рыб к фоновой в ТМС во всем диапазоне глубин 0–200 м составило 0,69 (см. рис. 5).

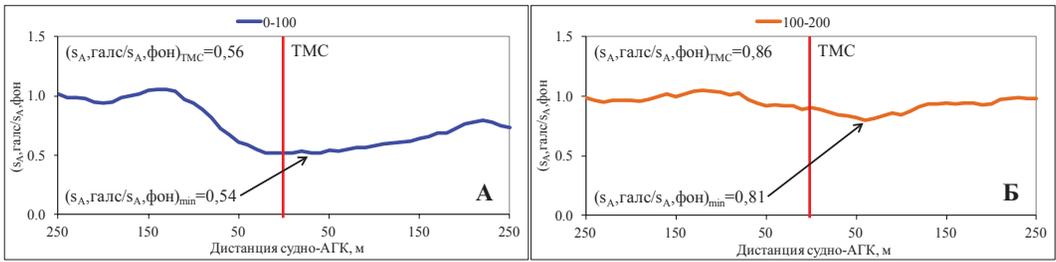


Рис. 6. Изменение плотности скоплений минтая в зависимости от дистанции между судном и АГК в диапазонах глубин: **А** — 0–100 м; **Б** — 100–200 м

Fig. 6. Change of walleye pollock distribution density in dependence on the distance between the vessel and autonomous hydroacoustic complex, by the layers: **А** — 0–100 м; **Б** — 100–200 м

После прохода ТМС по мере удаления судна уменьшалась плотность скопления в слое 150–200 м под АГК, т.е. рыбы покидали зону уплотнения, которая образовалась на дистанциях реагирования под судном. Затем, на горизонтальном расстоянии от судна свыше 50 м, стал заметен процесс обратного восстановления плотности скопления рыб в других слоях, начиная с более глубокого. Восстановление суммарной плотности скопления рыб происходило более полого, чем ее снижение, на расстоянии 220–240 м после прохода судна и лишь частично, до 80 % от исходной в диапазоне глубин 0–100 м и до 90 % от исходной в диапазоне глубин 0–200 м. В диапазоне глубин 100–200 м снижение и восстановление суммарной плотности скопления позади судна шло примерно с одинаковой скоростью.

На рис. 7 приведены аналогичные модельные оценки изменения плотности скоплений минтая на пути судна по мере его приближения. Исходное распределение рыб в модели равномерно по горизонту и глубине (Кузнецов, 2013; Кузнецов и др., 2015). В диапазоне глубин 0–100 м модельная кривая, как и экспериментальная, имеет тенденцию небольшого начального подъема за счет горизонтального избегания и уплотнения («толпления») скопления рыб впереди по ходу судна. Уплотнение начинается на расстоянии впереди судна 180–160 м, что хорошо согласуется с экспериментальным графиком (см. рис. 6(А), 7(А)).

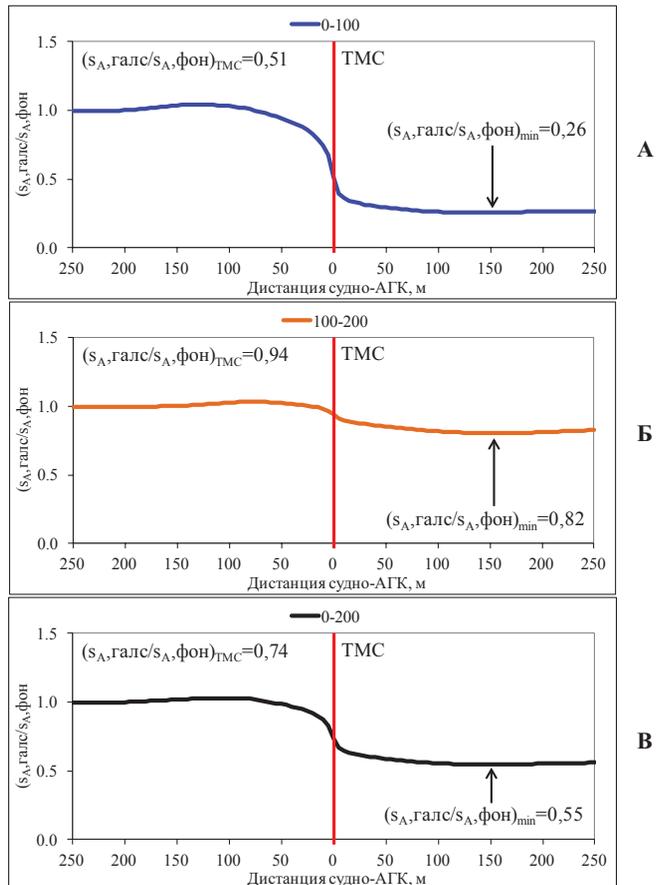


Рис. 7. Изменение плотности скоплений минтая в зависимости от дистанции до судна в диапазонах глубин: **А** — 0–100 м; **Б** — 100–200 м; **В** — 0–200 м (модельные оценки)

Fig. 7. Change of walleye pollock distribution density in dependence on the distance to the vessel, by the layers: **А** — 0–100 м; **Б** — 100–200 м; **В** — 0–200 м (model estimates)

Однако при дальнейшем сближении с судном поведение экспериментальной и модельной кривых расходится. Экспериментальная кривая после подъема характеризуется экспоненциальным снижением плотности скопления рыб, которое постепенно замедляется и практически завершается в ТМС. Модельная, наоборот, имеет тенденцию более плавного начального и сильного (лавинообразного) уменьшения плотности скопления вблизи судна. Это объясняется тем, что в модели все рыбы движутся в направлении, противоположном градиенту звукового давления шума (минимизации стимула). Поэтому вдали от судна особи, расположенные на малых курсовых углах, в стороны почти не уходят: реакция сопровождается главным образом вертикальными движениями рыб. В результате большая часть рыб попадает в луч эхолота (7°), и плотность скопления рыб на модельной кривой уменьшается медленно. При дальнейшем приближении судна курсовые углы между рыбами и судном растут и, соответственно, становится заметнее боковое избегание находящихся там особей. Кроме этого, скорости рыб, согласно модели, вблизи судна максимальны, поэтому процесс уменьшения плотности скопления идет наиболее интенсивно.

Несмотря на различия вида кривой, в точке прохода судна (ТМС) отношение плотности скопления рыб к фоновой в диапазоне глубин 0–100 м (табл. 1) согласно модели составило 0,51, что очень близко с экспериментальными оценками (0,56). В слое 100–200 м, куда в процессе реакции перемещается часть рыб из верхних горизонтов, модельные и экспериментальные оценки коэффициента избегания тоже достаточно сходны (0,94 и 0,86, см. рис. 6(Б), 7(Б)). В результате близки и суммарные оценки — соответственно 0,74 и 0,69.

Таблица 1

Экспериментальные и модельные оценки $K_{изб}$ минтая в ТМС по диапазонам глубин (Охотское море, весна 2013–2016 гг.)

Table 1

Experimental and model estimates of the avoidance coefficient for walleye pollock at the closest point of vessel approach, by the layers (Okhotsk Sea, spring 2013–2016)

Диапазон глубин, м	Коэффициент избегания	
	Эксперимент	Модель
0–100	0,56	0,51
100–200	0,86	0,94
0–200	0,69	0,74

Принятое в модели равномерное исходное распределение рыб по глубине в экспериментах наблюдается крайне редко. Чаще всего рыбы изначально находились глубже 20–30 м. Медленное снижение плотности скопления рыб на небольших расстояниях до судна свидетельствует о том, что рыбы, изначально находящиеся в более низких слоях глубины, по мере его приближения реагировали больше вертикальными, чем горизонтальными движениями от судна. В то время, как в модели преобладали горизонтальные составляющие реакции избегания приповерхностных рыб с увеличением их скорости вблизи судна. Поэтому усредненная по всем экспериментам зависимость имеет сглаженный характер (в отличие от модельной, где уменьшение плотности скопления вблизи судна лавинообразно). Возможна также экспериментальная погрешность из-за бокового смещения АГК относительно судна при его приближении и в ТМС.

В диапазоне глубин 100–200 м одновременно наблюдаются эффекты горизонтального избегания (рассеяния) и увеличения плотности скоплений за счет перемещения туда рыб из верхних горизонтов, которые взаимно компенсируют друг друга. В результате снижение плотности скопления рыб на экспериментальном и модельном графиках по мере приближения судна менее заметно, чем на глубинах до 100 м.

Пока остается невыясненной тенденция восстановления суммарной плотности скопления в шумовом поле позади судна на расстояниях меньше дистанции реагирования. Причиной этого может быть ослабление уровня шума за кормой судна в насыщенной пузырьками воздуха кильватерной струе. Возможно, продолжительное

воздействие шума вызывает адаптацию рыб к этому не имеющему информационного содержания стимулу.

Причиной расхождения вида экспериментальной и модельной кривых могли стать не совсем корректные параметры модели: например, используемые в алгоритме горизонтальная и вертикальная составляющие скорости движения рыб и соответствующего им смещения особей, минимизирующего влияние шума (Кузнецов, 2011а). Формулы для расчета скорости плавания рыб на разных расстояниях от судна в зависимости от фазы реакции избегания (крейсерская, максимальная, бросковая), вида и размера рыб взяты нами из различных литературных источников (Андреев, 1977; Аминаева, Яржомбек, 1984; He, Wardle, 1988). Переход от одной скорости к другой и границы этих переходов в процессе реакции выбраны весьма условно. К тому же, эти формулы не являются универсальными даже для рыб одного вида (Коротков, 1998).

Обобщенные по всем экспериментам зависимости скорости заглубления и подъема минтая от дистанции между судном и АГК показаны на рис. 8. Скорость спуска плавно нарастает от 0,04 до 0,15 м/с между 350 и 150–180 м (табл. 2). На этих дистанциях поведение рыб по уровню шума соответствует первой фазе реакции (горизонтальное избегание отсутствует). На расстояниях менее 120 м (источник шума локализован) скорость заглубления резко возрастает и на минимальном расстоянии от судна становится максимальной — до 42 см/с (на расстояниях менее 50 м средняя скорость 35 см/с). Полученные результаты показывают, что скорости спуска рыб в шумовом поле судна существенно (больше чем на порядок) превышают таковые при их естественных миграциях. Например, скорость погружения и подъема минтая в Охотском море при суточных вертикальных миграциях, максимальная в средних горизонтах, составляет около 0,5 м/мин (менее 1 см/с) (Кузнецов 2011б). Правда, эти данные были получены тоже при движении судна, но на глубинах более 150 м, где влияние шумового фона на рыб уже незначительно. Кроме этого, поскольку съем данных велся круглосуточно, погрешность измерений средневзвешенных глубин обитания рыб за счет избегания

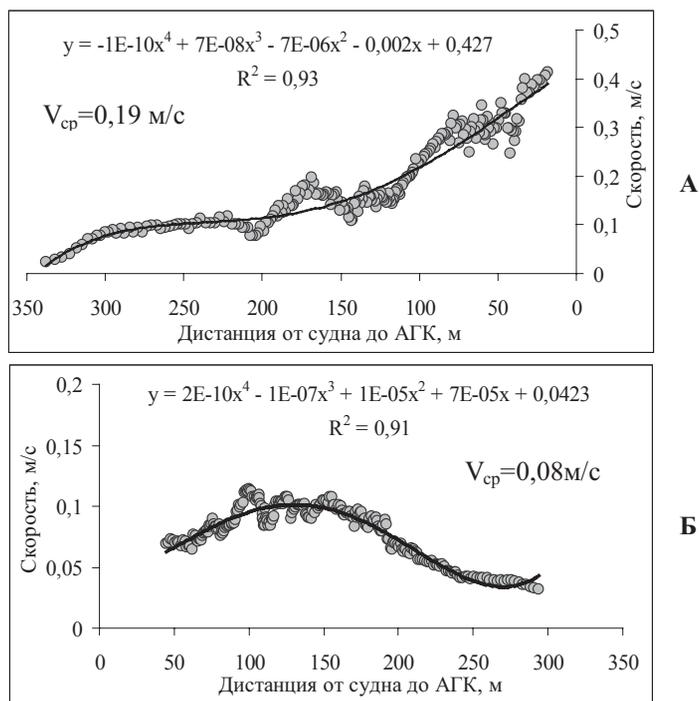


Рис. 8. Зависимость скорости заглубления (А) и подъёма (Б) минтая от дистанции между судном и АГК в диапазоне глубин до 100 м (Охотское море, весна 2013–2016 гг.)

Fig. 8. Dependence of downward (А) and upward (Б) movement velocities for walleye pollock on the distance between the fishing vessel and autonomous hydroacoustic complex for the upper 100 m layer (Okhotsk Sea, spring 2013–2016)

была систематической и не влияла на скорости спуска и подъема, рассчитываемые по разнице этих глубин за определенное время.

Таблица 2

Скорости заглубления (V_3) минтая в поддиапазонах дистанции до судна

Table 2

The downward movement velocities (V_3) for walleye pollock in dependence on the distance to the fishing vessel

Показатель	Дистанция до судна, м						
	0–50	50–100	100–150	150–200	200–250	250–300	300–350
Кол-во измерений, n	30	48	52	37	21	20	14
Среднее значение V_3 , м/с	0,35	0,29	0,16	0,15	0,10	0,09	0,04
Станд. отклонение, S	0,14	0,12	0,08	0,08	0,06	0,04	0,03
Станд. откл. среднего, S_{cp}	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Коэф. Стьюд. (5 %, n-1), t	2,05	2,01	2,01	2,03	2,09	2,09	2,16
Доверит. интервал, ДИ	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02
Относит. ошибка, δ	0,15	0,12	0,13	0,18	0,27	0,21	0,47

Скорость подъема минтая после прохода судна меньше, чем скорость спуска, но тоже существенно выше, чем во время суточных миграций. На расстоянии от судна около 100 м скорость подъема становится максимальной — до 0,12 м/с (0,10 м/с средняя на дистанциях 100–150 м, табл. 3). По мере удаления от судна скорость подъема плавно замедляется (рис. 8).

Таблица 3

Скорости подъема (V_n) минтая в поддиапазонах дистанции до судна

Table 3

The upward movement velocities (V_n) for walleye pollock in dependence on the distance to the fishing vessel

Показатель	Дистанция до судна, м						
	0–50	50–100	100–150	150–200	200–250	250–300	300–350
Кол-во измерений, n	7	31	22	32	30	19	9
Среднее значение V_n , м/с	0,07	0,09	0,10	0,07	0,04	0,04	0,02
Станд. отклонение, S	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,01	0,01
Станд. откл. среднего, S_{cp}	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Коэф. Стьюд. (5 %, n-1), t	2,45	2,04	2,08	2,04	2,05	2,10	2,31
Доверит. интервал, ДИ	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Относит. ошибка, δ	0,51	0,17	0,12	0,23	0,15	0,14	0,57

Полученные результаты подтверждают, что шум судна является сильным раздражителем для рыб, реакция на него сопровождается вертикальным избеганием, гораздо более сильным, чем естественные вертикальные перемещения. Эти данные будут использованы в модели как вертикальные составляющие двигательной реакции рыб в шумовом поле судна.

В результате обобщения экспериментальных данных по слоям глубины получен график изменения суммарной плотности скоплений минтая в ТМС относительно исходной (зона 1, см. рис. 1) в поддиапазонах глубин, соответствующих среднему вертикальному раскрытию учетного трала 30 м с шагом по глубине 10 м: 10–40 м, 20–50 м и т.д. (рис. 9). В табл. 4 приведены значения коэффициентов избегания в точке максимального сближения, дифференцированные по глубине.

Отметим более сильное уменьшение плотности скопления рыб относительно исходной на меньших глубинах, поэтому значения коэффициента избегания в приповерхностных горизонтах минимальны (рис. 9). С увеличением глубины реакция рыб на шумовое поле снижается. Кроме этого, часть рыб на пути судна в процессе реакции перемещается из верхних горизонтов в нижние, что вызывает увеличение плотности скопления рыб в более глубоком слое. Эта тенденция уменьшения плотности скопления на небольших глубинах и увеличения оценок s_A с глубиной хорошо согласуется с моделью двигательного поведения рыб в шумовом поле судна (Кузнецов и др., 2015).

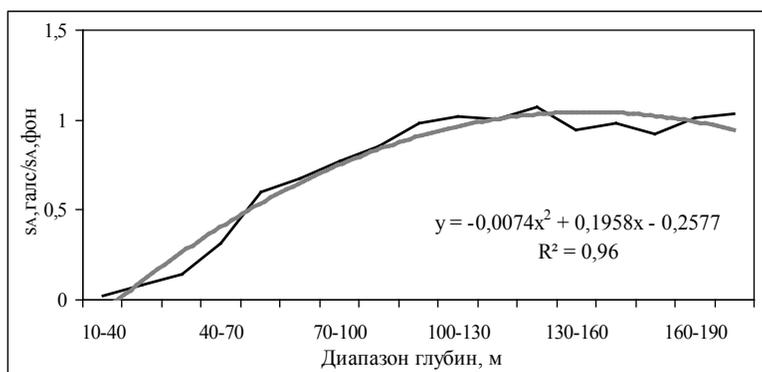


Рис. 9. Изменение плотности скоплений минтая в ТМС относительно исходной (зона 1) в диапазонах глубин траления (Охотское море, весна 2013–2016 гг.)

Fig. 9. Change of walleye pollock distribution density at the closest point of vessel approach relative to initial state (in zone 1), by the layers (Okhotsk Sea, spring 2013–2016)

Таблица 4

Значения коэффициента избегания в ТМС в диапазонах глубин хода трала (Охотское море, весна 2013–2015 гг.)

Table 4

Values of the avoidance coefficient at the closest point of vessel approach, by the layers (Okhotsk Sea, spring 2013–2015)

Диапазон глубин, м	10–40	20–50	30–60	40–70
$K_{изб}$ (ТМС)	0,03	0,23	0,28	0,40
Диапазон глубин, м	50–80	60–90	70–100	80–110
$K_{изб}$ (ТМС)	0,73	0,76	0,81	1,03
Диапазон глубин, м	90–120	100–130	110–140	120–150
$K_{изб}$ (ТМС)	0,81	0,88	0,71	0,76
Диапазон глубин, м	130–160	140–170	150–180	160–190
$K_{изб}$ (ТМС)	0,75	0,93	0,96	1,00

Реакция избегания, связанная с заглублением косяков, находящихся на глубинах меньших, чем дистанция реагирования рыб, вызывает эффект уплотнения (концентрации) скоплений минтая, аналогично эффекту «толпления» рыб впереди судна. В результате, если горизонтальное избегание от судна невелико, образуется слой, где плотность скоплений минтая может стать даже выше исходной. За пределами зоны действия шумового поля судна значения плотности скопления рыб приближаются к исходному ($K_{изб} = 1$).

Акустические данные для оценки уловистости собраны в ходе проведения комплексных съемок в Охотском море на НИС «Профессор Кагановский» в 2012–2016 гг. Сопоставлялись рассчитанные по улову и измеренные в слое предполагаемого прохода трала под судном плотности скопления рыб (зона 2, см. рис. 1). Результаты количественной оценки уловистости минтая разноглубинным учетным тралом РТ/ТМ 57/360 приведены в нашей предыдущей работе (Кузнецов и др., 2015). Выявлена зависимость коэффициента уловистости от глубины с интервалом 50 м.

Полученные оценки уловистости пересчитаны в соответствующие вертикальному раскрытию трала поддиапазоны глубин с шагом 10 м (рис. 10). Значения коэффициента уловистости, минимальные при тралениях вблизи поверхности, имеют тенденцию относительного роста с глубиной за счет уплотнения скоплений рыб на дистанциях реагирования и снижения на глубинах более 200 м.

Таким образом, мы имеем оценки уловистости учетного трала как отношение количества пойманных рыб в трале к количеству рыб в обловленном объеме под судном (рис. 10) и значения коэффициентов избегания как отношения плотности скоплений минтая в ТМС к исходной впереди судна в соответствующих слоях траления поддиапазонах глубин (см. рис. 9).

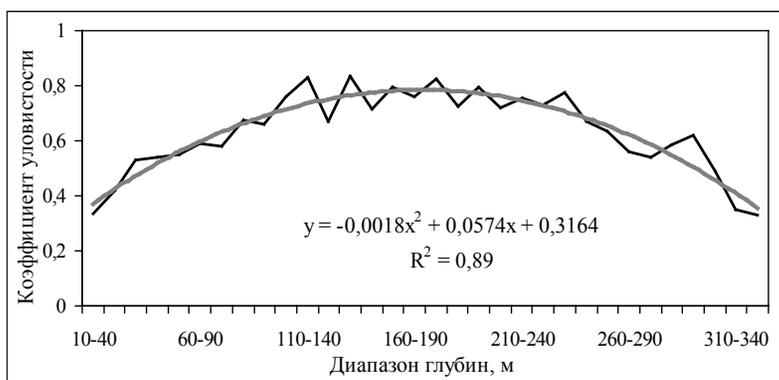


Рис. 10. Зависимость коэффициента уловистости минтая между судном и тралом (зона 2) от глубины хода трала (Охотское море, апрель-май 2012–2016 гг.)

Fig. 10. Dependence of the catchability coefficient for walleye pollock in the area between the fishing vessel and trawl (in zone 2) on the depth of trawling (Okhotsk Sea, April-May 2012–2016)

Теперь в результате простого арифметического умножения коэффициентов уловистости трала, измеренных между судном и тралом (зона 2, см. рис. 1), и соответствующих коэффициентов избегания, характеризующих поведение рыб впереди судна (зона 1, рис. 1), могут быть вычислены значения сквозного, или интегрального, коэффициента уловистости (табл. 5), в которых учитываются избегание рыбами шумового поля судна на различных глубинах и уловистость самого трала. На рис. 11 представлена зависимость средних значений результирующего (сквозного) коэффициента уловистости учетного трала РТ/ТМ 57/360 от глубины как отношение количества пойманных рыб в трале к количеству рыб в протраленном объеме при естественном их распределении, т.е. до начала воздействия на рыб шумового поля судна и буксируемого им трала. Значения интегрального коэффициента уловистости хорошо аппроксимируются полиномиальной зависимостью ($R^2 = 0,92$), которая на глубинах меньше 100 м имеет тенденцию более крутого снижения, чем между судном и тралом (см. рис. 10).

Средние в поддиапазонах глубин значения результирующего (сквозного) коэффициента уловистости учетного трала РТ/ТМ 57/360 (Охотское море, апрель-май 2012–2016 гг.)

Table 5

Mean values of the resulting catchability coefficient of the trawl RT/TM 57/360 for walleye pollock, by the layers (Okhotsk Sea, April-May 2012–2016)

Диапазон глубин*, м	10–40	20–50	30–60	40–70
Кoeff. уловистости	0,01	0,04	0,07	0,17
Диапазон глубин, м	50–80	60–90	70–100	80–110
Кoeff. уловистости	0,33	0,40	0,45	0,58
Диапазон глубин, м	90–120	100–130	110–140	120–150
Кoeff. уловистости	0,65	0,77	0,83	0,72
Диапазон глубин, м	130–160	140–170	150–180	160–190
Кoeff. уловистости	0,78	0,71	0,73	0,77
Диапазон глубин, м	170–200	180–210	190–220	200–230
Кoeff. уловистости	0,85	0,72	0,80	0,72
Диапазон глубин, м	210–240	220–250	230–260	240–270
Кoeff. уловистости	0,75	0,73	0,77	0,67
Диапазон глубин, м	250–280	260–290	270–300	280–310
Кoeff. уловистости	0,63	0,56	0,54	0,59
Диапазон глубин, м	290–320	300–330	310–340	320–350
Кoeff. уловистости	0,62	0,49	0,35	0,33

* Первая цифра соответствует горизонту хода верхней подборы трала, вторая — нижней подборы (среднее вертикальное раскрытие трала 30 м).

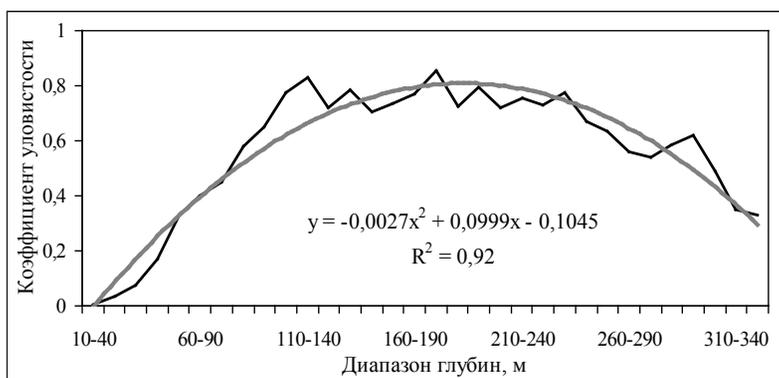


Рис. 11. Зависимость результирующего (сквозного) коэффициента уловистости учетного трала РТ/ТМ 57/360 от глубины хода трала (Охотское море, апрель-май 2012–2016 гг.)

Fig. 11. Dependence of the resulting catchability coefficient of the trawl RT/TM 57/360 for walleye pollock on the depth of trawling (Okhotsk Sea, April-May 2012–2016)

В диапазоне глубин 0–100 м, где, как показали эксперименты, в результате реакции избегания наблюдалось наиболее активное перераспределение и уменьшение плотности скопления рыб (см. рис. 9), значения сквозного коэффициента уловистости минимальны — от 0,01 в приповерхностных горизонтах до 0,45 на глубинах до 100 м. С увеличением глубины траления влияние шумового поля впереди судна (зона 1) на результирующие коэффициенты уловистости становится менее заметно. На дистанциях реагирования значения коэффициента уловистости варьируют от 0,70 до 0,85 и на глубинах более 200 м имеют тенденцию дальнейшего плавного снижения (см. рис. 11).

Заклучение

На данном этапе исследований выявлялась погрешность измерения коэффициента уловистости трала и эхоинтеграционной оценки запасов, связанная с подкильным расположением антенны эхолота, за счет чего при измерениях не учитывается исходное распределение и избегание рыбами шумового поля впереди судна.

Результаты экспериментов с использованием автономного плавучего гидроакустического комплекса показали, что реакция рыб на шум приближающегося судна сопровождается их заглублением (вертикальная составляющая) и рассеиванием (горизонтальная составляющая). Дистанции реагирования минтая на шум судна составили от 140 до 180 м от судна, что соответствует расчетной и согласуется с модельными оценками. На таких дистанциях реакция этих рыб становится направленной и сопровождается их начальным уплотнением и последующим снижением плотности скопления по мере приближения судна. Скорости вертикальных перемещений минтая, как минимум, на порядок превышают таковые при его естественных миграциях, что свидетельствует о сильном раздражающем действии шума судна на рыб.

Выявлены сходство и различия экспериментальной и модельной оценок изменения плотности скопления минтая и соответствующих коэффициентов избегания по слоям глубины во время прохода судна. Недооценки численности этих рыб под судном достаточно близки и превышают 40 % на глубинах до 100 м. Однако различается вид (поведение) экспериментальной и модельной кривых в процессе сближения с судном. Потребуется уточнение алгоритма модели с учетом полученных данных, в частности горизонтальных и вертикальных составляющих двигательной реакции.

Вычислены результирующие (сквозные) коэффициенты уловистости учетного трала РТ/ТМ 57/360, в которых плотность скопления рыб в трале соотносится с исходной впереди судна, за счет чего устраняется методическая ошибка предыдущих измерений плотности скопления под килем судна. Значения сквозного коэффициента уловистости подчиняются эмпирической зависимости, согласно которой наблюдается существенное снижение уловистости на небольших глубинах, вызванное реакцией избегания рыб в

шумовом поле впереди судна, и увеличение уловистости с глубиной за счет уплотнения (концентрации) скоплений минтая в зоне облова трала на дистанциях реагирования.

Результаты работы следует считать предварительными. Требуется продолжить исследования по уточнению коэффициентов избегания и уловистости не только учетных орудий лова на свободном ходу, но и судна с тралом, расширить диапазон глубин (в том числе на изобатах меньше дистанции реагирования) и количество опытов в зависимости от физиологического состояния рыб (сезона), времени суток, параметров среды и др.

Список литературы

Аминева В.А., Яржомбек А.А. Физиология рыб : учеб. — М. Лег. и пищ. пром-сть, 1984. — 200 с.

Андреев Н.Н. К теории лова рыбы траллирующими орудиями // Тр. ВНИРО. — 1977. — Т. 122. — С. 58–76.

Коротков В.К. Реакция рыб на трал, технология их лова : справочное издание. — Калининград : Страж Балтии, 1998. — 398 с.

Кузнецов М.Ю. Биотехническое обоснование и разработка пневмоакустических систем для управления поведением рыб в процессе лова : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 1996. — 28 с.

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. — 2011а. — Т. 164. — С. 157–176.

Кузнецов М.Ю. Гидроакустические исследования распределения и вертикальных миграций минтая *Theragra chalcogramma* в северной части Охотского моря в весенний период // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 2011б. — Т. 23. — С. 44–53.

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., Поляничко В.И., Убарчук И.А. Совершенствование методов оценки уловистости траловых учетных систем с использованием гидроакустических средств (на примере минтая Охотского моря) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 183. — С. 259–277.

Кузнецов М.Ю., Шевцов В.И., Поляничко В.И. Характеристики гидроакустического шума научно-исследовательских судов ТИНРО-центра // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 177. — С. 235–256.

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

Убарчук И.А., Ермольчев В.А. Программа для ЭВМ «SALTSE» (Scattering Area Coefficient, Length and Target Strength Estimation) : Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613954. — 2015. — 1 с.

De Robertis A., Handegard N.O. Fish avoidance of research vessels and the efficacy of noise-reduced vessels: a review // ICES J. Mar. Sci. — 2013. — Vol. 70, Iss. 1. — P. 34–45. DOI: 10.1093/icesjms/fss155.

He P., Wardle C.S. Endurance at intermediate swimming speeds of Atlantic mackerel, *Scomber scombrus* L., herring, *Clupea harengus* L. and saithe, *Pollachius virens* L. // J. Fish Biol. — 1988. — Vol. 33, Iss. 2. — P. 255–266.

Olsen K., Angell J., Lovik A. Quantitative estimations of fish behaviour on acoustically determined fish abundance // Symp. on Fisheries Acoustics : FAO Fish Rep. — Bergen, Norway, 1983. — Vol. 300. — P. 139–149.

Поступила в редакцию 4.07.17 г.

Принята в печать 12.07.17 г.