
ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

УДК 639.2.081.7:681.883.072

М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, В.И. Шевцов

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ШУМА СУДНА НА ЭХОИНТЕГРАЦИОННЫЕ И ТРАЛОВЫЕ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ РЫБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Получены предварительные экспериментальные оценки влияния шумового поля судна на распределение и плотность минтая. Характерным является уменьшение суммарной плотности и заглубление рыб на расстоянии 140–150 м, что соответствует расчетной дистанции реагирования минтая на шум судна. Наблюдается перераспределение плотности рыб по слоям глубины. Заглубление рыб вызывает последовательное увеличение плотности рыб в более глубоком слое. Скорость заглубления рыб по мере приближения судна растет и на порядок превышает таковую при суточных вертикальных миграциях.

Ключевые слова: оценка запаса, шум судна, реакция избегания, плотность скопления, заглубление, рассеяние.

M.Y. Kuznetsov, V.I. Polyanichko, V.I. Shevtsov

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF VESSEL NOISE INFLUENCE ON ECHO INTEGRATION AND TRAWLING FISH STOCKS ESTIMATIONS WITH USE OF HYDROACOUSTIC TECHNOLOGIES

Preliminary experimental estimations of influence of vessel noise field on distribution and density of walleye pollock are received. Reduction of total density and deepening of fishes on distance of 140–150 m is characteristic. This corresponds to estimated distance reaction of walleye pollock on vessel noise. Redistribution of fishes density by depth layers is observed. Deepening of fishes are caused by consecutive increase of fishes density in deeper layer. Speed of fishes deepening in process of vessel approach grows and 10 times exceeds that at daily vertical migrations.

Key words: abundance assessment, vessel noise, avoiding reaction, school density, deepening, dispersion.

Введение

Основную информацию по текущему состоянию запасов большинства промысловых объектов получают в ходе выполнения учетных съемок. В настоящее время на Дальневосточном бассейне наиболее часто используются траловый и гидроакустический (тралово-акустический) методы оценки запасов рыб.

С развитием инструментальных методов дистанционного зондирования водной среды и компьютерных технологий обработки информации выявляются все новые данные об особенностях двигательного поведения гидробионтов и их реакций на внешние раздражители, которые ранее из-за недостатка этой информации подвергались сомнению и не принимались во внимание при организации учетных работ. Например, влияние гидроакустических шумов судна на поведение и распределение рыб. Шум вызывает у рыб реакцию избегания, которая сопровождается уходом рыб с траектории движения судна и изменением горизонта своего

обитания, т.е. рассеянием (уменьшением плотности) и (или) заглублением стай [1]. В результате в процессе съемки или лова рыбы перед судном, под судном и перед зоной захвата трала происходит перераспределение и изменение плотности скопления и его видовой и размерно-возрастной структуры, что может служить источником погрешности оценки запасов. Ошибка в эхоинтеграционной оценке запасов возникает, в основном, вследствие изменения плотности скопления рыб на пути научно-исследовательского судна и в объеме эхолотирования под судном. Кроме этого, изменение угла наклона рыб при погружении по сравнению с дорсальным аспектом в спокойном состоянии служит причиной уменьшения силы цели рыб и занижения их численности акустическим методом [2]. Аналогичные последствия влияния шума судна на поведение рыб могут иметь и траловые оценки. Причем, если ошибка траловых измерений может быть в какой-то степени скомпенсирована дифференцированными коэффициентами уловистости трала, то эффекты влияния гидроакустических полей на акустические оценки плотности рыб под судном в настоящее время никак не учитываются.

Чтобы повысить достоверность оценки обилия рыб и уловистости траловых рыболовных систем, влияние шумового поля судна на поведение и распределение рыб должно быть минимизировано или учтено в виде поправок, компенсирующих потери энергии эхосигнала при эхоинтеграционной оценке запасов и изменения плотности рыб в протраленном объеме при проведении траловых учетных съемок.

Поэтому целью данной работы являлось выполнение экспериментальных исследований влияния шумов научно-исследовательских судов на распределение и оценки плотности рыб с использованием гидроакустических технологий.

Объекты и методы исследований

Методика количественной оценки избегательной реакции рыб в шумовом поле судна была изложена нами ранее [3]. Для проведения работ использовался специально разработанный автономный плавучий гидроакустический комплекс (АГК), на котором установлен портативный научный эхолот EK-60 SIMRAD с вертикально ориентированной антенной 38 кГц, источник питания, система связи с судном и GPS-приемник. Комплекс запускается с борта судна по Wi-Fi и автономно работает в режиме вертикальной эхолокации и автоматического сбора акустических и навигационных данных с использованием специально разработанных программных средств [4].

Схема движения и маневрирования судна вокруг АГК аналогична используемой при измерении подводного шума судна (рис. 1). Реакция рыб на шум судна оценивалась по изменению силы обратного поверхностного рассеяния s_A (плотности рыб) как коэффициента избегания и средневзвешенной глубины расположения рыб как коэффициента заглубления до и во время прохождения судна мимо АГК.

Результаты и их обсуждение

Характерным для всех экспериментов является уменьшение плотности рыб и заглубление скоплений в шумовом поле судна при его приближении к АГК, которые можно заметить даже при визуальном просмотре эхограмм (рис. 2).

На рис. 3 представлены обобщенные по всем экспериментам графики изменения коэффициента избегания судна $K_{изб}$ (s_A , галс/ s_A , фон) по слоям глубины, иллюстрирующие процесс рассеяния (уменьшения плотности) и последующего восстановления суммарной плотности скоплений минтая в шумовом поле судна при его прохождении мимо АГК с эхолотом. В диапазоне глубин 0–100 м наблюдается наиболее динамичное поведение рыб (перераспределение плотности по слоям глубины и уменьшение плотности рыб на меньших глубинах). На горизонтальном расстоянии до судна 150–130 м кривая суммарной плотности имеет тенденцию небольшого начального подъема ($K_{изб} > 1$) за счет уплотнения («толпления») реагирующих вперед по ходу судна и находящихся там рыб и затем плавного уменьшения при

дальнейшем его приближении. Устойчивое снижение суммарной плотности скоплений минтая s_A зарегистрировано на горизонтальном расстоянии до точки максимального сближения (ТМС) около 120 м (рис. 3). С учетом глубины залегания рыб и бокового смещения АГК относительно судна это расстояние (среднее по всем экспериментам) составило около 140 м, что соответствует расчетной дистанции реагирования минтая и других тресковых на шум судна [5]. Отношение плотности рыб к фоновой в момент прохода буя (ТМС) на глубинах меньше 100 м составило 0,57, т.е. плотность минтая на минимальном расстоянии от судна уменьшалась более чем на 40 % относительно исходной, измеряемой при естественном (невозмущенном) состоянии рыб впереди судна до начала воздействия на рыб шумового поля судна. Восстановление плотности рыб после прохода судна происходило более полого и лишь частично: до 80 % от исходной на расстоянии 150–200 м позади судна. В диапазоне глубин от 100 до 200 м тенденция начального подъема и уменьшения суммарной плотности скоплений минтая в ТМС менее значима – 0,85, т.е. недоучет численности рыб акустическим методом в диапазоне глубин 100–200 м под судном составляет всего 15 %. Отношение суммарной плотности рыб к фоновой в ТМС во всем диапазоне глубин 0–200 м составило соответственно 0,69 (рис. 3).

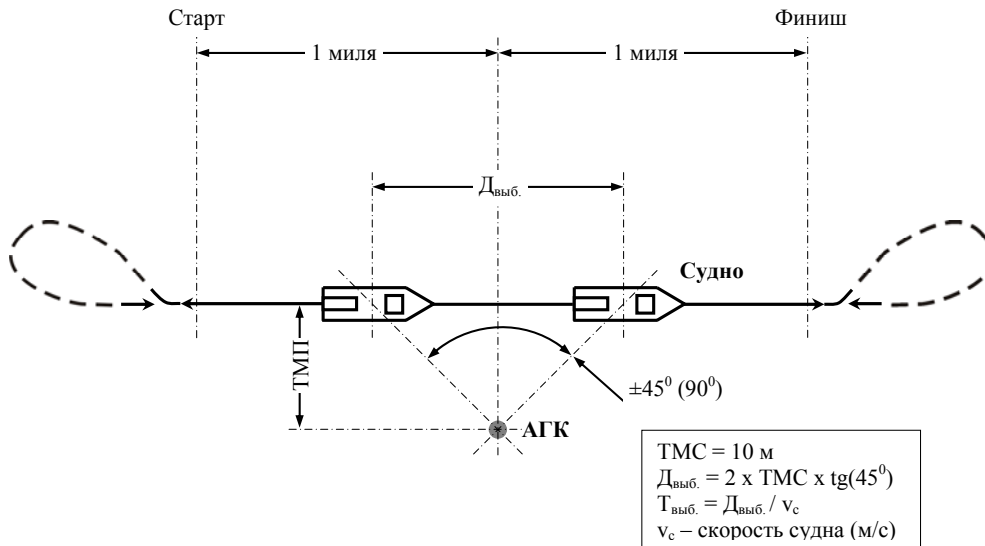


Рис. 1. Схема движения судна во время измерений
 Fig. 1. The scheme of vessel movement during measurements

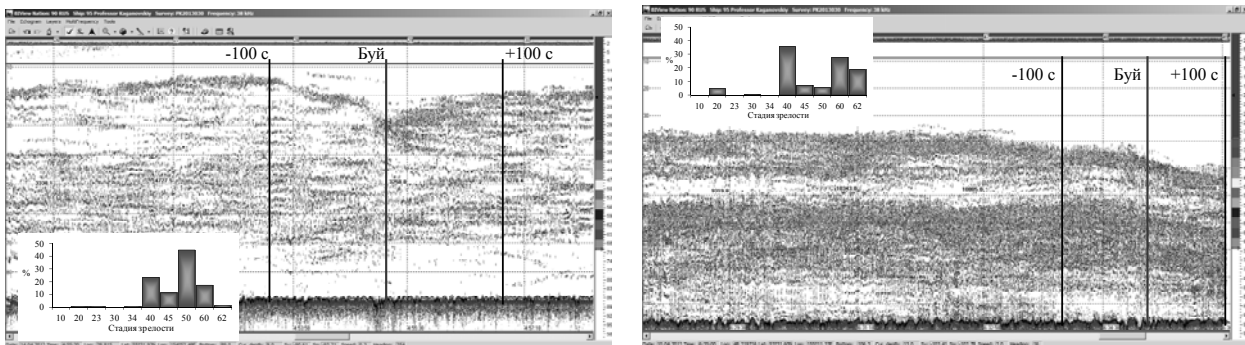


Рис. 2. Эхограммы, иллюстрирующие изменение распределения и плотности скоплений минтая при прохождении НИС «Профессор Кагановский» мимо буя с эхолотом
 Fig. 2. Walleye pollock distributions and school density change echogram during RV «Professor Kaganovsky» passage by a buoy with echo sounder

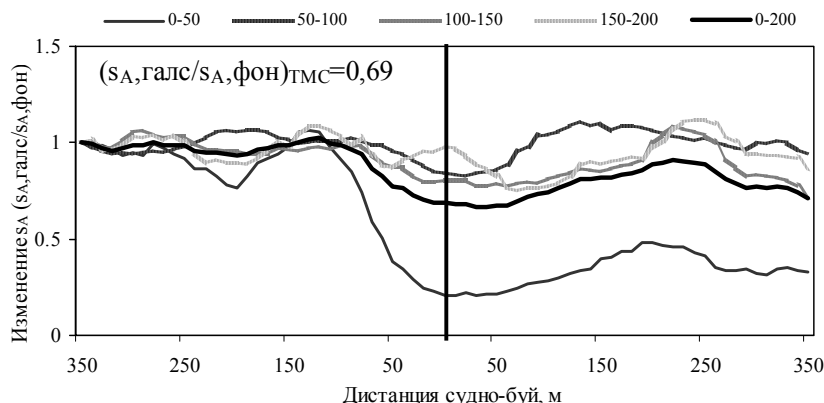


Рис. 3. Изменение плотности скоплений минтая (s_A , галс/ s_A , фон) в зависимости от дистанции между судном и АГК в поддиапазонах глубин (Охотское море, 2013–2015 гг.)
 Fig. 3. Change of walleye pollock school density (s_A , track/ s_A , background) depending on a distance between a vessel and buoy in subranges of depth (sea of Okhotsk, 2013–2015)

Скорость погружения и подъема рыб во время прохода судна сильно варьировала. Обобщенные по всем экспериментам зависимости скорости заглубления и подъема минтая от дистанции между судном и АГК показаны на рис. 4. Скорость спуска плавно нарастает между 350 м и 140 м, а на расстояниях менее 120 м резко возрастает и на минимальном расстоянии от судна становится максимальной – до 42 см/с (35 см/с средняя в поддиапазоне дистанции до судна 0–50 м). Полученные результаты показывают, что скорости спуска рыб в шумовом поле судна существенно (на несколько порядков) превышают таковые при их естественных миграциях. Например, скорость погружения и подъема минтая в Охотском море при суточных вертикальных миграциях, максимальная в средних горизонтах, составляла около 0,5 м/мин (менее 1 см/с). Средняя скорость спуска и скорость подъема минтая на границе светлого и темного времени суток были тоже примерно одинаковыми – 0,3 м/мин (0,5 см/с) [6].

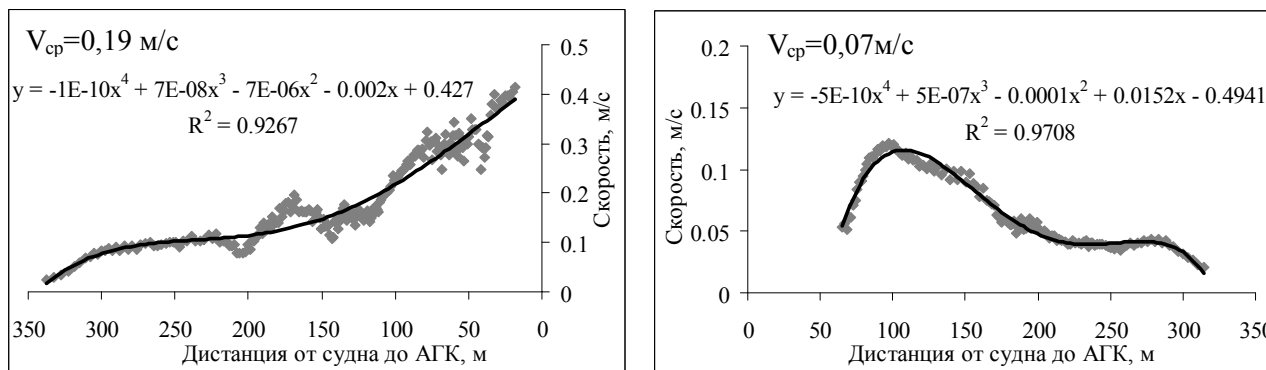


Рис. 4. Зависимости скорости заглубления (слева) и подъёма минтая (справа) от дистанции между судном и АГК в диапазоне глубин до 100 м (Охотское море, весна 2013–2015 гг.)
 Fig. 4. Dependences of walleye pollock speed deepening (at the left) and lifting (on the right) from a distance between a vessel and buoy in a range of depth less than 100 m (sea of Okhotsk, spring 2013–2015)

Скорость подъема минтая после прохода судна была меньше, чем скорость спуска, но также на порядок выше, чем во время суточных миграций. Скорость подъема после прохода судна растет и на расстоянии от судна около 100 м становится максимальной – до 12 см/с (10 см/с средняя). По мере удаления от судна скорость подъема плавно замедлялась (см. рис. 4). Полученные результаты являются подтверждением того, что шум судна является сильным раздражителем для рыб, реакция на который сопровождается вертикальным избеганием, гораздо более сильным, чем естественные вертикальные перемещения.

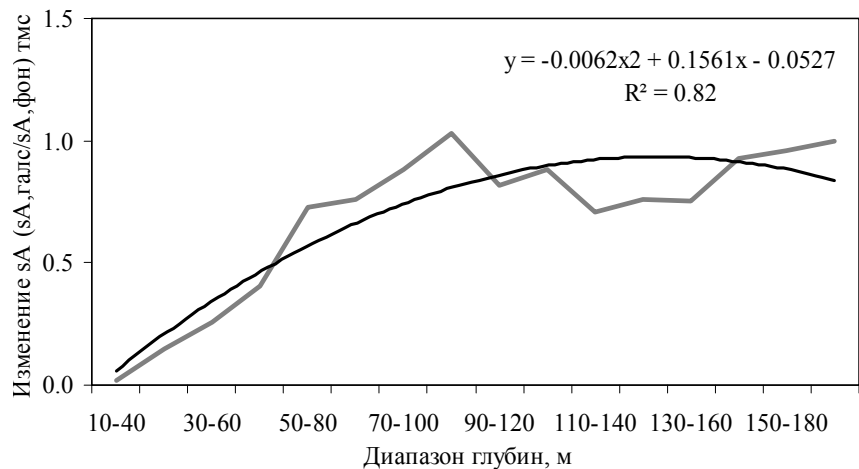
Еще одно интересное наблюдение и вывод на глубинах менее 100 м. При наличии скоплений в приповерхностных горизонтах процесс заглубления рыб начинался на расстояниях

до судна около 350–400 м, но плотность рыб в луче эхолота АГК при этом существенно не менялась. Это позволило сделать вывод о том, что минтай на этих дистанциях не совершает горизонтальных перемещений (не рассеивается). Причина таких движений в том, что на этих дистанциях рыбы слышат звук, но не могут определить направление прихода звуковой волны. Оборонительная (защитная) реакция придонных и вертикально мигрирующих видов рыб, к которым относится минтай, характеризуется в большей степени их затаиванием, чем стремлением уйти из опасной зоны. Поэтому у этих рыб на дальних дистанциях от судна, пока не локализован источник раздражения, преобладают вертикальные движения (известное «подсаживание» минтая) [5].

Направленное движение рыб от источника шума возникает, когда звуковое давление стимула на частотах повышенной слуховой чувствительности данного вида рыб превысит порог реакции на 10 дБ [5]. В экспериментах устойчивый эффект уменьшения суммарной плотности скоплений минтая был зарегистрирован на горизонтальном расстоянии от судна 120 м (увеличение уровня шума на 10 дБ – это как раз и есть сокращение дистанции между судном и бумом примерно в 3 раза). На этих дистанциях рыбы способны локализовать источник звука, и реакция сопровождается как вертикальными, так и горизонтальными движениями рыб и, соответственно, снижением их плотности в луче эхолота АГК.

Результатом обобщения полученных экспериментальных данных явился график изменения суммарной плотности скоплений минтая в ТМС относительно исходной в диапазонах глубин, соответствующих вертикальному раскрытию учетного трала РТ/ТМ 57/360 30 м с шагом по глубине 10 м: 10–40 м, 20–50 м и т.д. (рис. 5).

Рис. 5. Зависимость изменения плотности минтая в ТМС от глубины
Fig. 5. Dependence of walleye pollock density change in the point of maximum approaching from depth



Часть рыб при приближении судна уходят в стороны (рассеивается). Характерным является более сильное уменьшение плотности рыб на меньших глубинах, поэтому значения коэффициентов избегания в ТМС минимальны в приповерхностных горизонтах. С увеличением глубины реакция рыб на шумовое поле снижается. Кроме этого, вертикальные перемещения рыб вызывают последовательное увеличение плотности рыб в более глубоком слое. Соответственно при достаточно широком вертикальном распределении скоплений коэффициенты избегания растут с глубиной.

Заключение

Результаты экспериментов с использованием автономного плавучего гидроакустического комплекса показали, что реакция рыб на шум приближающегося судна сопровождается их заглублением (вертикальная реакция) и рассеиванием (горизонтальная реакция).

Наблюдается активное перераспределение плотности рыб по слоям глубины. Практически во всех экспериментах уменьшение суммарной плотности во время прохода судна происходило за счет сокращения плотности рыб в верхних горизонтах, а ее рост – за счет увеличения плотности рыб в более глубоких слоях.

В диапазоне глубин 0–100 м отношение плотности рыб к фоновой в точке максимального сближения с судном составило 0,57, а на глубинах 100–200 м реакция избегания существенно снижалась ($K_{изб} = 0,85$). Уменьшение суммарной плотности скоплений минтая (рассеяние рыб) наблюдается на расстоянии до судна 140–150 м, что соответствует расчетной дистанции реагирования минтая и согласуется с модельными оценками изменения плотности на пути судна.

Скорости спуска и подъема рыб в шумовом поле судна как минимум на порядок превышают таковые при их естественных миграциях, что подтверждает сильное раздражающее действие шума на рыб.

При накоплении достаточного статистического материала результаты исследований будут использованы при проведении учетных эхоинтеграционных и траловых съемок и для уточнения модели двигательного поведения рыб в шумовом поле судна.

Список литературы

1. Кузнецов, М.Ю. Гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и их влияние на поведение и оценки запасов рыб (обзор и перспективы исследований) / М.Ю. Кузнецов, В.Н. Вологдин // Изв. ТИНРО. – 2009. – Т. 157. – С. 334–355.
2. McQuinn I.H. A review of the effects of fish avoidance and other fish behaviours on acoustic target strength, special identification and biomass estimation // ICES FAST WG. – St. John's, Canada. – 1999. – 17 p.
3. Кузнецов, М.Ю. Методика измерений гидроакустического шума научно-исследовательских и промысловых судов и оценки реакции рыб на шумовое поле судна / М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, В.И. Шевцов // Научно-практические вопросы регулирования рыболовства: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – С. 53–59.
4. Кузнецов, М.Ю. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Ч. 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-Центра / М.Ю. Кузнецов // Изв. ТИНРО. – 2013. – Т. 172. – С. 20–51.
5. Кузнецов, М.Ю. Дистанции реагирования различных видов рыб на гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и допустимые уровни шума / М.Ю. Кузнецов // Изв. ТИНРО. – 2011. – Т. 164. – С. 157–176.
6. Кузнецов, М.Ю. Гидроакустические исследования распределения и вертикальных миграций минтая *Theragra chalcogramma* в северной части Охотского моря в весенний период / М.Ю. Кузнецов // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – Т. 23. – С. 44–53.

Сведения об авторах: Кузнецов Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, e-mail: kuznetsovm@tinro.ru;
Поляничко Владимир Ильич, инженер, e-mail: tinro@tinro.ru;
Шевцов Василий Игнатьевич, ведущий инженер, e-mail: tinro@tinro.ru.