

Федеральное агентство по рыболовству
Государственный научный центр Российской Федерации
Тихоокеанский филиал Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РЫБНОГО
ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ»
Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»)

На правах рукописи



Поляничко Владимир Ильич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ
УЛОВИСТОСТИ УЧЕТНЫХ ТРАЛОВ И ЗАПАСОВ РЫБ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

4.2.6 Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук
Кузнецов Михаил Юрьевич

Владивосток – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ПРЯМОГО УЧЕТА ЗАПАСОВ РЫБ И ОЦЕНКИ УЛОВИСТОСТИ.....	12
1.1 Основные методы оценки запасов рыб.....	12
1.1.1 Гидроакустический (эхоинтеграционный) метод.....	14
1.1.2 Метод площадей	22
1.2 Понятие «коэффициент уловистости».....	29
1.2.1 Механистический подход к определению коэффициента уловистости.....	31
1.2.2 Поведенческий подход к определению коэффициента уловистости	51
1.3 Выводы по главе 1	61
ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОВЕДЕНИЕ РЫБ И УЛОВИСТОСТЬ ТРАЛОВЫХ РЫБОЛОВНЫХ СИСТЕМ.....	64
2.1 Определение «поведение рыб».....	64
2.2 Шум судна – главный раздражающий фактор, влияющий на поведение объекта лова.....	66
2.3 Зоны стереотипных поведенческих реакций рыбы в промысловой системе «судно – трал»	70
2.4 Выводы по главе 2	76
ГЛАВА 3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	78
3.1 Методика оценки коэффициента уловистости учетных тралов с использованием подкильного гидроакустического комплекса	78
3.2 Методика экспериментальной оценки реакции рыб на шумовое поле судна с использованием автономного гидроакустического комплекса.....	87
3.3 Выводы по главе 3	92
ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКЦИИ РЫБ И КОЭФФИЦИЕНТА УЛОВИСТОСТИ ТРАЛОВЫХ РЫБОЛОВНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	93
4.1 Результаты первого этапа экспериментов.....	93
4.2 Результаты второго этапа экспериментов	96

4.3 Выводы по главе 4	108
ГЛАВА 5 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ РЫБ В ШУМОВОМ ПОЛЕ СУДНА.....	110
5.1 Определение «математическая модель».....	110
5.2 Конструкция и параметры модели двигательного поведения рыб.....	111
5.2.1 Структура модели двигательного поведения рыб.....	111
5.2.2 Характеристики шумового поля судна.....	112
5.2.3 Слуховые способности рыб	114
5.2.4 Пороги реакции и дистанции реагирования рыб.....	116
5.2.5 Плавательные характеристики рыб.....	119
5.3 Программное обеспечение для оценки взаимодействия скоплений рыб с промысловой системой судно–трал (работа модели)	127
5.4 Сопоставление экспериментальных данных с моделью двигательного поведения рыб в шумовом поле судна.....	146
5.5 Выводы по главе 5	152
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	154
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	160
Приложение А – Акт внедрения полученных результатов	186
Приложение Б – Акт внедрения полученных результатов.....	187
Приложение В – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.....	189
Приложение Г – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.....	190

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одной из основных задач рыбохозяйственной науки является оценка запасов промысловых видов гидробионтов. В условиях естественных изменений сырьевой базы рыболовства и интенсивного промысла, огромную роль играют знания о состоянии водных биологических ресурсов, прогнозирование и определение той допустимой части запаса гидробионтов, которую можно изъять без нарушения их воспроизводства. Поэтому оценка состояния эксплуатируемых популяций и установление на этой основе общего допустимого улова (ОДУ) того или иного промыслового вида гидробионтов является основным способом управления водными биоресурсами и рационального ведения промысла. В связи с этим, вопросам повышения точности и достоверности оценки запасов придается большое значение в рыбохозяйственных исследованиях.

Широкое распространение на практике получили методы прямого учета, основанные на информации, полученной в ходе выполнения комплексных учетных съемок. В настоящее время на Дальневосточном бассейне проводятся комплексные исследования по оценке запасов массовых промысловых видов рыб с использованием в основном тралового (площадной) и гидроакустического (эхоинтеграционный) методов.

Оценки численности и биомассы промысловых видов рыб, получаемые с помощью тралового метода, зависят от применяемых во время учетных съемок коэффициентов уловистости. Данный параметр показывает, какой процент от общего числа облавливаемых рыб данного вида попадает в улов трала и является наиболее критичным. Коэффициент уловистости зависит от технических особенностей орудия лова, режима траления и поведения самих гидробионтов, не всегда поддающегося учету в существующих математических моделях. Помимо этого, обычно игнорируется реакция рыб на акустическое поле судна, интенсивность которого существенно выше, чем у буксируемого трала.

Методика судовых эхоинтеграционных съемок предполагает использование научных эхолотов, антенны которых установлены под килем судна. При такой конфигурации также не принимаются во внимание эффекты влияния шумового поля судна на результаты акустических измерений плотности рыб. При оценке обилия измеренные плотности рыб под судном необходимо соотносить с естественными концентрациями рыб за пределами зоны влияния судна, а уловистость орудия лова нужно рассматривать как результат взаимодействия всех элементов рыбопромысловой системы с объектом лова.

Часто информация, полученная в таких комплексных учетных съемках, является основной и в настройке моделей оценки запасов считается точной в абсолютном масштабе. Применение некорректных величин коэффициента уловистости или отсутствие достоверной информации о естественном пространственном распределении и плотности скоплений исследуемых видов рыб может привести к существенному искажению оценок их запасов. Например, перелов рыбы при завышенной величине оценки запасов может привести к частичному или полному закрытию промысла и долгому восстановлению популяции. В таких условиях требования, предъявляемые к используемым методикам оценки запасов рыб и коэффициентов уловистости, постоянно возрастают, а их совершенствование в настоящее время является актуальной проблемой.

Использование для этих целей различных технических средств и, в частности, средств дистанционного акустического зондирования ранее сдерживалось отсутствием прецизионной аппаратуры и несовершенством методов, позволяющих с достаточной точностью оценивать параметры трала и плотность рыб в контролируемом объеме водной среды. Имеющиеся на данный момент гидроакустические приборы и программные комплексы обработки акустических данных обеспечивают непрерывный мониторинг водной среды. Данные системы позволяют синхронно контролировать обстановку в подкильной зоне, по курсу судна, в зоне между судном и траловой системой, а также внутри самого трала. Благодаря этому применение гидроакустических технологий получило широкое распространение в рыбохозяйственных исследованиях, поскольку они обеспечивают высокоточную регистрацию пространственного распределения гидробионтов и параметров траловой системы в реальном времени.

Степень разработанности темы. Вопросам изучения уловистости орудий лова (включая трал) и влияния шумового поля судна на поведение и оценки запасов рыб в рыбохозяйственной науке посвящено большое количество работ многих отечественных и зарубежных ученых, в том числе: Ф.И. Баранова, В.А. Ионаса, А.И. Трещева, В.Н. Войникайнис-Мирского, В.Н. Честного, Н.Н. Андреева, Ю.В. Кадильникова, А.В. Засосова, Ю.С. Сергеева, А.Л. Фридмана, М.М. Розенштейна, В.К. Короткова, В.Н. Мартышевского, А.С. Кузьминой, М.Л. Зафермана, Л.И. Сереброва, Э.А. Карпенко, Ю.А. Изнанкина, О.М. Лапшина, М.Ю. Кузнецова, О.Н. Кручинина, А.И. Шевченко, М.А. Мизюркина, Е.Г. Норинова, В.Н. Мельникова, А.М. Лихтера, С.В. Левченко, J.E. Paloheimo, G.R. Morgan, D.G. Chapman, N. Ehrhardt, R. Hilborn, C.J. Walters, C.D.

Wilson, R. Vabø, K. Olsen, P. Suuronen, M. Soria, A.N. Popper, E. Ona, D.A. Mann, N.J. Williamson, N.O. Handegard, O.R. Godø, A. De Robertis и других авторов. Несмотря на значительное количество исследований в данной области, каждый из применяемых методов обладает существенными недостатками и не может считаться оптимальным. В современной практике оценки рыбных запасов до сих пор применяются фиксированные значения коэффициентов уловистости, полученные экспертно или рассчитанные с использованием методологически некорректных подходов, требующих в настоящее время пересмотра.

Расчетные методы оценки уловистости трала основаны на определении концентрации рыб непосредственно в зоне облова, то есть оценивают исключительно улавливающие свойства самого орудия лова. Наибольший научный и практический интерес представляет поведенческий подход, основанный на оценке плотности скоплений рыбы не в зоне активного воздействия траловой системы, а в предтраловом пространстве. Тем не менее, значения коэффициента уловистости, полученные при таком подходе, являются невалидными, поскольку не учитывают поведенческие реакции рыб на акустическое поле судна, интенсивность которого намного выше, чем буксируемого им орудия лова.

Судно, если оно не включено в состав учетной рыболовной системы, является потенциальным источником погрешности оценки запасов рыб гидроакустическим и траловым методом. При оценке обилия влияние шумов судна на поведение и распределение рыб должно быть оценено и учтено в виде поправок, компенсирующих потери энергии эхосигнала при эхоинтеграционной оценке запасов и изменения плотности рыб в протраленном объеме при определении коэффициента уловистости учетного трала.

С развитием инструментальных методов и средств дистанционного акустического зондирования водной среды и компьютерных технологий визуализации и обработки гидроакустической информации, эта задача становится технически выполнимой.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы – выработать новый подход по определению коэффициентов уловистости учетных тралов и выявлению влияния шума судна на поведение и оценки запасов рыб с использованием гидроакустических средств и информационных технологий. Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- рассмотреть имеющиеся методы оценки запасов биоресурсов и определения коэффициента уловистости траловых учетных систем, выявить погрешности этих методов и предложить способы их устранения;

- обобщить данные об особенностях поведения рыб в различных зонах промысловой системы «судно–трал» и факторах, влияющих на поведение рыб и уловистость траловых рыболовных систем;

- разработать методику измерений и алгоритм расчета коэффициента уловистости учетных тралов с использованием судового подкильного гидроакустического комплекса;

- разработать методику экспериментальной оценки реакции рыб на шумовое поле судна с использованием мобильного гидроакустического комплекса;

- выявить и оценить характеристики пространственного распределения и реакции избегания минтая шумового поля судна;

- оценить коэффициенты уловистости минтая Охотского моря в составе учетной рыболовной системы «судно-трал»;

- разработать математическую модель поведения рыб в шумовом поле судна.

Объектом исследования является шумовое поле судна и его влияние на эхоинтеграционные оценки обилия и уловистости учетных тралов.

Предметом исследования являются инструментальные методы и средства оценки коэффициента уловистости учетных тралов и реакции рыб на шумовое поле судна.

Научная новизна исследования:

1) Научно обоснована и разработана методика инструментальной оценки коэффициентов уловистости тралов с использованием стационарных и мобильных средств эхолокации.

2) Продемонстрирована возможность использования гидроакустической аппаратуры для оценки естественного (исходного) распределения и плотности минтая и их изменения по мере приближения судна.

3) Разработана методика экспериментальной оценки реакции рыб на шумовое поле судна с использованием автономного гидроакустического комплекса.

4) Дано уточненное определение «коэффициент уловистости» и выполнены измерения дифференцированных по глубине коэффициентов уловистости минтая Охотского моря в составе учетной рыболовной системы «судно-трал».

5) Получены новые данные о реакции избегания шумового поля судна в виде изменения акустической плотности, глубины и скорости заглубления рыб при приближении судна.

6) Разработана модель двигательного поведения рыб в шумовом поле судна, которая позволяет оценить его влияние на естественное распределение рыб и повысить, за счет этого, точность эхоинтеграционных и траловых съемок.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке алгоритмов использования стационарных и мобильных гидроакустических средств для измерения распределения и плотности рыб в различных зонах промысловой системы «судно–трал», выявлении с их помощью закономерностей поведения и параметров двигательной реакции рыб в шумовом поле судна и разработке, на этой основе, математической модели поведения рыб для решения задачи повышения точности и достоверности оценки биоресурсов, выполняемой траловым и акустическим методами.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования разработанных методов инструментальной оценки коэффициента уловистости тралов и влияния шумового поля судна на поведение рыб в практике ресурсных исследований. Внедрение в алгоритм оценки запасов минтая дифференцированных по глубине коэффициентов уловистости и поправок на реакцию избегания шумового поля судна, измеренных с использованием прецизионных гидроакустических средств согласно научно обоснованным методикам, позволит получать более точные величины численности и биомассы этого вида рыб в процессе учетных съемок.

Разработанные методики являются универсальными для инструментальной оценки коэффициентов уловистости и реакции на шумовое поле судна всех других образующих протяженные скопления пелагических видов рыб.

Модель поведения рыб и программные средства обработки гидроакустической информации являются одновременно инструментом оценки и описания множества ситуаций не только в практике ресурсных съемок, но и на промысле. Используя их, можно выбирать оптимальные режимы траления по горизонтам глубины и вариаций объекта лова по размерам и плотности скоплений, а также сравнивать результативность промысла судов по водоизмещению и мощности, орудий лова по размерам и скорости траления.

Еще одним направлением использования полученных результатов является проведение акустической аттестации (сертификации) судов с выработкой рекомендаций по

снижению гидроакустического шума судна с целью исключения его отрицательного воздействия на поведение объектов ресурсных исследований или промысла.

Не менее важным является образовательный аспект практического использования полученных результатов. Использование разработанной в диссертационной работе модели поведения рыб в учебном процессе подготовки специалистов промышленного рыболовства и промысловой гидроакустики, в алгоритмах рыбопромысловой тренажерной техники, позволит углубить получаемые ими теоретические знания о поведении объекта промысла и дать практические навыки ведения тралового лова и использования гидроакустических средств.

Методы исследования. Для достижения цели использованы следующие методы:

- методы и средства дистанционного акустического зондирования водной среды, имеющие прецизионные характеристики, большой динамический диапазон и использующие технологию расщепленного луча;
- компьютерные технологии визуализации и постпроцессорной обработки гидроакустической информации;
- гидроакустический эхоинтеграционный метод измерения плотности рыб в выделенном водном слое;
- статистический анализ результатов численных и натуральных экспериментов;
- методы математического моделирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

- инструментальный метод оценки коэффициента уловистости тралов с использованием стационарных (подкильных) средств эхолокации;
- инструментальный метод оценки реакции рыб на шумовое поле судна с использованием автономного гидроакустического комплекса;
- экспериментальные оценки дистанции реагирования минтая и реакции избегания шумового поля судна;
- экспериментальные оценки дифференцированных по глубине коэффициентов уловистости минтая в составе учетной рыболовной системы «судно-трал»;
- модель двигательного поведения рыб в шумовом поле судна.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследования подтверждается обоснованным выбором калиброванных высокоточных измерительных систем, применением современных компьютерных технологий визуализации

зации и обработки получаемых данных, корректностью разработанных методов инструментальных исследований, большим объемом акустических измерений и экспериментальных данных, соответствием выявленных закономерностей и параметров поведения рыб модельным оценкам. Экспериментальные и теоретические результаты, полученные автором, в основном согласуются с опубликованными данными других исследователей.

Основные теоретические и практические положения диссертационного исследования были представлены и обсуждены на национальных и международных конференциях: I Всероссийской заочной научно-технической конференции аспирантов, молодых ученых и специалистов «Комплексные исследования водных биоресурсов: рыболовство, аквакультура, экология, переработка, экономика и управление рыбохозяйственной отраслью» (Владивосток, 2012); II Международной научно-практической конференции «Научно-практические вопросы регулирования рыболовства» (Владивосток, 2013); III Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана» (Владивосток, 2014); Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли» (Владивосток, 2014); Научно-практической конференции «Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление» (Петропавловск-Камчатский, 2017); III научной школе молодых учёных и специалистов по рыбному хозяйству и экологии, с международным участием, посвященной 140-летию со дня рождения К.М. Дерюгина (Москва, 2018); Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (Санкт-Петербург, 2018); Международной научной конференции «The effects of noise on aquatic life» (Берлин, 2022); XII Международном Балтийском морском форуме (Калининград, 2024).

Декларация личного участия. Автор принимал участие в разработке методики инструментальной оценки коэффициента уловистости траловых комплексов с использованием подкильных эхолокационных приборов, разработке методики экспериментальной оценки реакции рыб на шумовое поле судна с использованием автономного плавучего гидроакустического комплекса. В 2013-2017 гг. автор организовал и провел экспериментальные работы по оценке реакции рыб на шумовое поле судна с использованием мобильного научного эхолота ЕК-60, проводил обработку и математический анализ

данных, полученных в ходе экспериментов, участвовал в разработке алгоритма и апробации математической модели поведения рыб.

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования изложены в 30 работах (в 28 публикациях и 2 объектах интеллектуальной собственности), в том числе: 11 – в изданиях из перечня Российских рецензируемых научных журналов ВАК Минобрнауки России, 1 – в иностранном сборнике «Effects of noise on aquatic life: principles and practical» издательства Springer Nature, 1 – в изданиях из Международных баз Web of Science и Scopus, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ, 12 – в материалах конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, включающего практические рекомендации и предложения по использованию результатов исследования, библиографического списка и четырех приложений. Общий объем диссертации составляет 190 страниц машинописного текста (с учетом приложений), 53 рисунка, 6 таблиц. Список использованных источников состоит из 283 работ и 93 работы принадлежит иностранным авторам.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, кандидату технических наук Кузнецову Михаилу Юрьевичу за неоценимую помощь в формировании структуры диссертационной работы, разработку методической части экспериментальных работ, подборе теоретического материала, главному специалисту сектора промысловой гидроакустики «ТИНРО» Убарчуку Игорю Анатольевичу за разработку программного обеспечения, используемого в данном исследовании, ведущим специалистам сектора промысловой гидроакустики «ТИНРО» Шевцову Василию Игнатьевичу и Сыроваткину Евгению Владимировичу за помощь в проведении экспериментальной части научной работы. Автор искренне признателен всем сотрудникам «ТИНРО», принимавшим участие в весенних комплексных экспедициях в Охотское море в 2013–2017 гг.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ПРЯМОГО УЧЕТА ЗАПАСОВ РЫБ И ОЦЕНКИ УЛОВИСТОСТИ

В данной главе дается анализ применяемых методов определения коэффициента уловистости траловых учетных систем и оценки биоресурсов на основе научно-технической литературы, «механистический» и «поведенческий» подходы к определению коэффициента уловистости, траловый и тралово-акустический методы выполнения учетных работ, погрешности оценки запасов, определяются слабые и неизученные аспекты проблемы, обосновывается цель и задачи исследований.

1.1 Основные методы оценки запасов рыб

В условиях современного интенсивного промысла рыбных ресурсов, для их сохранения необходима рациональная эксплуатация – рациональное рыболовство, так как при неправильной организации этого вида деятельности возможно причинение водным экосистемам огромного ущерба. Каждый вид рыб характеризуется специфичной для него численностью и структурой, особенностями динамики численности. Численность, биомасса и состав рыб (размерный и половой состав) постоянно варьируют в связи с изменением условий жизни и, прежде всего, условий внешней среды, условий размножения и обеспеченности пищей, а также под влиянием промысла. Для долгосрочного использования биоресурсов должны быть обеспечены такие условия, чтобы при ведении промысла численность видов не уменьшалась со временем. Рациональное рыболовство – это и есть рыболовство, которое в полной мере и наиболее эффективно использует биологические свойства и особенности промысловых объектов, обеспечивая постоянно высокие и устойчивые уловы [1]. При осуществлении рационального рыболовства соблюдается принцип полного сохранения водных биоресурсов. Рыбодобытчики обязаны знать ту пороговую величину изъятия промыслового объекта, превышение которой ведет к сокращению численности его популяции. Чтобы избежать экологических катастроф, государства, ведущие промысел, организуют постоянный научный мониторинг за состоянием природных ресурсов в условиях осуществляемого рыболовства [2]. В рамках этой задачи ведутся специализированные исследования, сбор и первичная обработка биопромысловых данных, осуществляется оценка состояния запасов рыб, тенденций их

изменений и, как итог всей предварительной работы, прогнозируется допустимое промысловое изъятие (ОДУ). Под ОДУ (общим допустимым уловом) подразумевается научно обоснованная величина годового промыслового изъятия из единицы запаса, соответствующая её текущему состоянию и принятой для этого запаса стратегии эксплуатации [3].

Мониторинг водных биоресурсов, и в частности их оценка запасов, достаточно сложный процесс, что связано с большим видовым разнообразием гидробионтов и различной степенью их изученности. Под «запасом» понимается внутривидовая группировка, имеющая собственную динамику численности и соответственно изучаемая и прогнозируемая отдельно от других запасов этого вида. Обычно запас – это популяция или группировка субпопуляционного уровня в каком-либо районе ареала распространения [4]. При проведении работ по оценке запасов учитывается количество рыбы определенного вида в исследуемом районе для конкретного промежутка времени.

Абсолютную точность в количественной оценке того или иного вида или даже только скопления рыбы можно получить, лишь мгновенно обследовав весь район исследований и подсчитав всю рыбу, находящуюся на всех глубинах водной толщи. Очевидно, что это технически невозможно. Принимая это во внимание, учеными рыбохозяйственной науки за долгие годы исследований было создано большое разнообразие методов для количественной оценки запасов рыб. Все эти методы можно подразделить на эмпирические – методы прямого учета, и аналитические – все математические модели оценки численности и регулирования промысла.

Методы прямого учета численности и оценки запасов – это методы, учитывающие рыбу посредством специальных исследовательских ловов, производимых с целью учета, или посредством репрезентативных промысловых ловов. К прямым методам относятся учетные съемки: траловые, снюрреводные, ловушечные, гидроакустические, аэровизуальные, съемки с подводных аппаратов, подсчет нерестового запаса по количеству отложенной икры (ихтиопланктонный метод) и др. [5]. В ходе выполнения таких исследований получают ценную исходную информацию для расчета величины запасов по каждому промысловому виду. Обычно подобные съемки выполняются на научно-исследовательских судах (НИС-ах), оснащенных стандартизированным орудием лова и современным оборудованием: навигационным, гидроакустическим, гидрологическим, видео и др. Во время морских экспедиционных исследований учёные определяют вели-

чину улова, производят отбор проб, охватывающих весь потенциальный диапазон для конкретного целевого вида. Полученные в результате данные по размерному, видовому и половому составу уловов, а также эхоинтеграционные данные используются в расчетах оценки запасов рыб.

Ко второй группе относятся методы, основанные на данных о запасах, полученных по различным математическим моделям с учетом данных промысловых уловов и популяционных параметров вида [5]. Выбор той или иной модели определяется спецификой прогнозируемого объекта, наличием и качеством исходной информации. Эти данные не всегда достоверны и не могут отражать в полной мере пространственное, видовое, размерное распределение гидробионтов. Например, где-то имеет место сокрытие уловов, а где-то отражены только данные официальной сдачи рыбопродукции, а весьма многочисленные выбросы за борт (например, молоди) не учтены, и т.д. Метод же прямого учета базируется на информации, полученной в ходе выполнения комплексных учетных съемок, и не зависит от данных статистики вылова.

В настоящее время на Дальневосточном бассейне проводятся учетные тралово-акустические комплексные съемки «минтаевой» и «сельдево-минтаевой» направленности с использованием гидроакустического (эхоинтеграционный) и тралового (площадной) методов оценки запасов рыб.

1.1.1 Гидроакустический (эхоинтеграционный) метод

Современные мониторинговые исследования по оценке запасов водных биологических ресурсов (ВБР) не обходятся без применения гидроакустического метода, что обусловлено его преимуществами, включая оперативность и возможность получения дополнительных данных о пространственном и вертикальном распределении и поведении гидробионтов.

Гидроакустический мониторинг ВБР проводится с использованием гидроакустического оборудования – эхолота и гидролокатора. Работа этих приборов базируется на принципе активной эхолокации, включающем излучение акустических волн заданной частоты в водную толщу и прием отраженных сигналов от объектов. При этом энергия эхосигналов пропорциональна плотности распределения биологических объектов. Для обеспечения необходимой для таких устройств направленности эхосигнала при неболь-

ших габаритах преобразователя, все эти приборы работают на ультразвуковых частотах, недоступных слуху абсолютного большинства промысловых рыб и не оказывающих в связи с этим существенного влияния на поведение гидробионтов [6–10].

Методики сбора и обработки гидроакустических данных, применяемые в комплексных исследованиях по оценке запасов промысловых видов рыб, достаточно подробно представлены в работах как российских, так и зарубежных ученых [11–23].

Гидроакустические измерения проводятся во время мониторинговых работ по оценке обилия гидробионтов и выполняются по галсам (прямолинейным участкам маршрута судна), прокладываемым на основе стандартной для района исследований сетки гидрологических, ихтиопланктонных станций и точек проведения контрольных тралений, по результатам которых производится идентификация акустических изображений рыбных скоплений. Гидроакустические данные собираются непрерывно на протяжении всего маршрута исследований и затем усредняются с шагом от 0,01 до 1 морской мили, в зависимости от обследуемой акватории. В то же время контрольные обловы, в результате которых получают биологическую информацию о гидробионтах (видовой, размерный, половой состав и другие параметры), проводятся намного реже. Например, расстояние между траловыми станциями во время комплексных исследований может составлять от 20 миль (в Охотском море при оценках численности минтая) до 60 миль (в северо-западной части Тихого океана (СЗТО) и Беринговом море при оценках тихоокеанских лососей). Подобная пространственная разреженность данных может приводить к увеличению погрешности при оценке обилия гидробионтов траловым методом. Данная погрешность усиливается для рыб, образующих высокоподвижные скопления. При этом характерной особенностью таких агрегаций является высокая локальная плотность при сравнительно малой пространственной протяженности. Поэтому для получения достоверных оценок численности и биомассы гидробионтов значимым является учет пространственной структуры их распределения, включая частоту встречаемости агрегаций и площадь занимаемого ареала на участках между точками контрольных тралений.

Современные эхолокационные комплексы, установленные на научно-исследовательских судах (НИС-ах), позволяют непрерывно и с достаточно большой скоростью получать на протяжении всего маршрута исследований детализированную

информацию о пространственной структуре рыбных скоплений (распределение по глубине и пройденной дистанции).

В практике мировых биоресурсных исследований используются научные эхолоты фирм «SIMRAD» (ЕК-500, ЕК-60, ЕК-80, ME70, EA440) [24], «BioSonics» (DT-X Extreme Scientific Echo Sounder, MX Aquatic Habitat Echo Sounder) [25], «Furuno» (FQ-80, FCV-30, FCV-38) [26].

В настоящее время из всех известных эхолотов, наиболее широкое применение получил SIMRAD ЕК-60, который задействован в гидроакустических исследованиях рыбохозяйственных институтов Норвегии, США, Канады, Японии, Великобритании, России и других стран. В нашей стране эхолоты этой марки установлены на НИС-ах проекта «Атлантик-833» [27] «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии» («ВНИРО»). Научно-исследовательскими судами такого класса являются «Профессор Кагановский», «ТИНРО», «Атлантноро» и «Атлантида» [28, 29].

Эхолокационная система SIMRAD ЕК-60 включает в себя антенну (transducer), приемопередатчик GPT (General Purpose Transceiver), который генерирует, принимает и оцифровывает эхосигнал и блок управления эхолотом, состоящий из персонального компьютера с программным обеспечением для настройки технических параметров системы, отображения и записи эхограмм (рисунок 1.1). Гидроакустические измерения на протяжении всего маршрута исследований должны сопровождаться навигационными данными (координаты судна), для регистрации которых используется GPS (Global Positioning System) или ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система). SIMRAD ЕК-60 обладает функцией одновременного подключения нескольких антенн, что обеспечивает получение комплексных данных о водной среде на различных частотах. Использование низких частот (12–18 кГц) позволяет исследовать глубоководную структуру и рельеф дна, тогда как диапазон 38–120 кГц применяется для анализа пространственного распределения пелагических рыб, кальмаров и водорослей, а также для определения границы термоклина (слой температурного скачка). Более высокие частоты (200–500 кГц) позволяют детектировать зоопланктон и медузы. Для количественной оценки численности и биомассы рыб в гидроакустических исследованиях Тихоокеанского филиала «ВНИРО» («ТИНРО») используется частота 38 кГц.

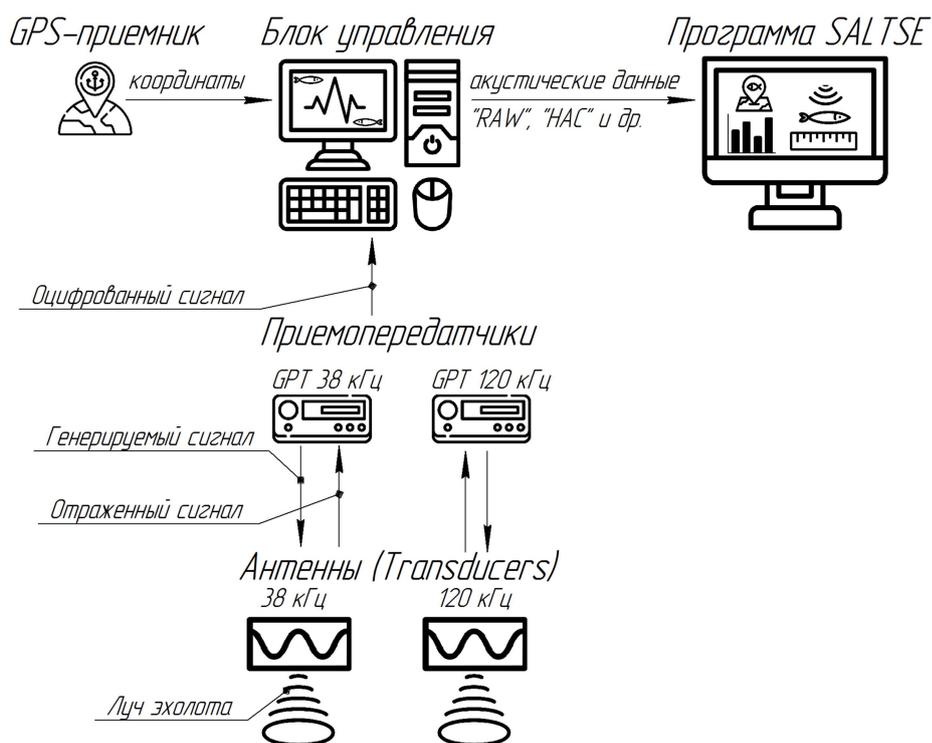


Рисунок 1.1 – Схема гидроакустических измерений

Научные эхолоты измеряют по заданному диапазону глубины мощность отраженного сигнала (P) и сохраняют значения этого параметра вместе с навигационной информацией (координаты, курс судна) в одном из стандартных форматов: «SIMRAD RAW», «HAC», «BI500», «Biosonics DT 4», «Lowrance sn2» и др.

Существует два основных способа обработки гидроакустических измерений:

1) Эхосчет – метод подсчёта эхосигналов от одиночных объектов, при этом число эхосигналов от озвученного объема пропорционально концентрации в нем рыб. Данный метод реализуется путём фиксации превышения амплитуды эхосигнала над пороговым уровнем. Применяется, например, для учёта тихоокеанских лососей на реках Камчатки в период их нерестовых подходов [30, 31].

2) Эхоинтеграционный метод – основан на интегрировании квадрата амплитуды эхосигнала, что позволяет оценить биомассу даже при невозможности разрешения отдельных особей. Используется при проведении гидроакустических съемок для оценки плотности, распределения и обилия массовых видов гидробионтов, ведущих стайный образ жизни и регистрирующиеся на эхограммах в виде скоплений разного характера. В Дальневосточном бассейне этот метод применяется при исследованиях минтая, сельди,

сайки, мойвы, японской скумбрии, дальневосточной сардины, японского анчоуса и других промысловых видов рыб [32–37].

Для последующей камеральной обработки полученных гидроакустических данных используются специальные программные средства: «EP500», «BI500», «Echoview», «LSSS», «Movies3D», «PyEcholab», «SonarX», «EchoPyre», «MatEcho», «ESP3» [38–47]. Помимо зарубежных программных комплексов существует отечественный – «SALTSE» [48], разработанный в лаборатории промысловой гидроакустики Тихоокеанского филиала «ВНИРО». Алгоритм программы позволяет из измеренных научным эхолотом значений P вычислять параметр s_A – коэффициент поверхностного рассеяния на квадратную морскую милю ($\text{м}^2 \text{миля}^{-2}$):

$$s_A = 4 \times \pi \times (1852)^2 \times \int_{z_1}^{z_2} s_v dz , \quad (1.1)$$

где s_v – объёмный коэффициент обратного рассеяния, (м^{-1}),

z_1 и z_2 – верхняя и нижняя границы слоя интегрирования;

dz – шаг интегрирования, зависит от разрешения эхолота (частоты оцифровки сигнала). Эхолот измеряет отражённый сигнал не мгновенно по всей глубине, а постепенно, слоями (шагами dz).

Величина s_A используется в расчетах акустической оценки плотности скопления [49]:

$$\rho_a = s_A / \{4\pi \langle \sigma_{bs} \rangle\} = s_A / \langle \sigma_{sp} \rangle \left(\text{миля}^{-2} \right) , \quad (1.2)$$

где ρ_a – плотность целей, выраженная как количество гидробионтов на единицу поверхностной площади слоя; σ_{bs} – акустическое поперечное сечение обратного рассеяния одиночной цели; σ_{sp} – акустическое поперечное сечение цели при сферическом рассеянии [21]. Акустическое поперечное сечение – это условная площадь, дающая такое же отражение во все стороны, что и реальный объект в данном направлении [23].

$$\sigma_{bs} = r^2 I_{bs}(r) 10^{\alpha r/10} / I_{inc} , \quad (1.3)$$

$$\sigma_{sp} = 4\pi r^2 I_{bs}(r) 10^{\alpha r/10} / I_{inc} , \quad (1.4)$$

где r – расстояние между объектом и точкой приема;

I_{inc} – интенсивность падающей звуковой волны;

$I_{bs}(r)$ – интенсивность звуковой волны, рассеиваемой объектом, в точке приема;

α – акустический коэффициент поглощения.

Параметры σ_{bs} , σ_{sp} являются производными силы цели (TS), которая в свою очередь представляет собой логарифмическую форму выражения отражательной способности объектов [21]:

$$TS = 10\log_{10}(\sigma_{bs}) = 10\log_{10}(\sigma_{sp}/4\pi) \quad (1.5)$$

Сила цели используется в алгоритме расчёта численности рыб как функция их зоологической длины (L , см) и задается уравнением регрессии:

$$TS = a\log_{10}(L) + b \quad , \quad (1.6)$$

где a и b — коэффициенты регрессии, задающие наклон и точку пересечения кривой оси Y .

Помимо зоологической длины сила цели зависит от вида рыбы [50–65], размера плавательного пузыря [66–68], физиологического состояния рыбы [69–71]. У рыб одного вида и размера, объем и форма плавательного пузыря зависят от жирности, размеров половых продуктов, наполнения желудка и других факторов [72, 73]. Так, например, по результатам наших исследований у постнерестового минтая Охотского моря значения отражательной способности будут на 5.5 дБ ниже, чем у нагульного, и на 2.5 дБ ниже, чем у преднерестового и нерестового минтая [71].

Технология обработки данных и оценки обилия. Технология обработки акустических данных строится на принципе детальной стратификации (выделения страт) района работ с учетом размерно-частотной композиции регистрируемых скоплений, выявляемой по результатам контрольных тралений (рисунок 1.2). «Страта – отрезок маршрута исследований, соответствующий характерному акустическому изображению скопления с определённым видовым и размерно-возрастным составом, подтверждаемым результатами контрольного траления, в пределах которого выполняется усреднение акустиче-

ских данных» [21, 48]. Смена страт происходит согласно изменению характера акустической записи.

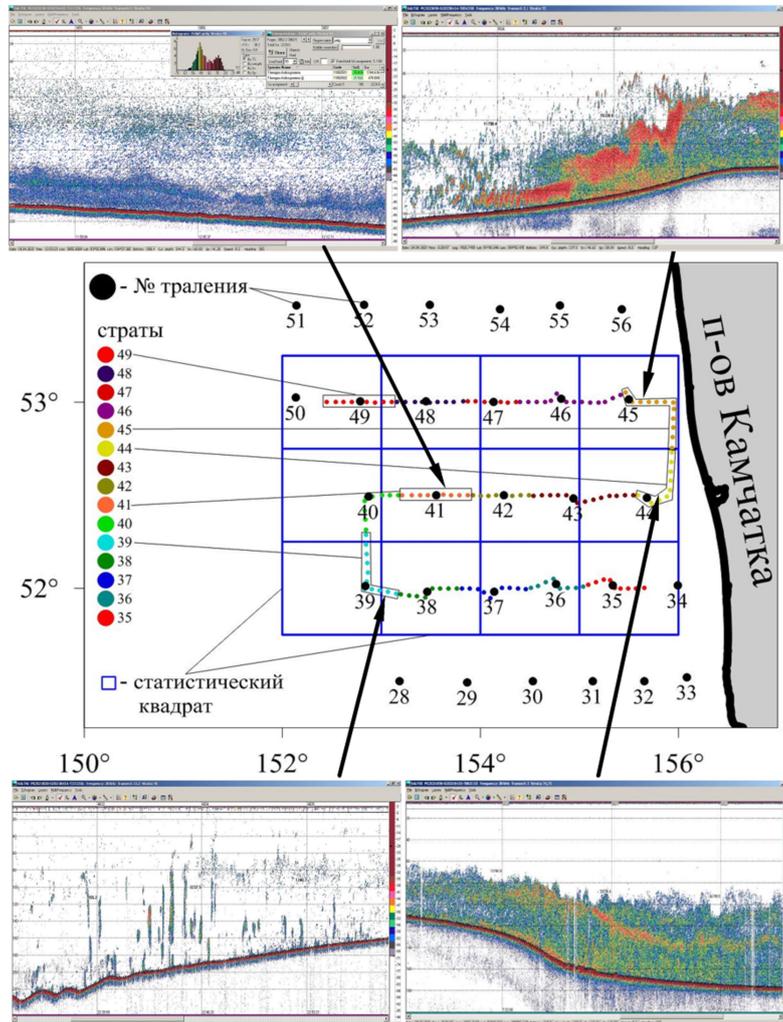


Рисунок 1.2 – Схема стратификации района исследований с характерными акустическими изображениями скоплений минтая в этих стратах

После локализации всех страт на обследуемой акватории в соответствии с алгоритмом программы «SALTSE» осуществляется количественная оценка плотности рыбных скоплений в акустических единицах S_A – $m^2/миля^2$, а также в единицах численности и массы – тыс. экз./ $миля^2$ и тонн/ $миля^2$. По завершении определения плотностных характеристик исследуемого объекта строятся карты пространственного и вертикального распределения (рисунок 1.3).

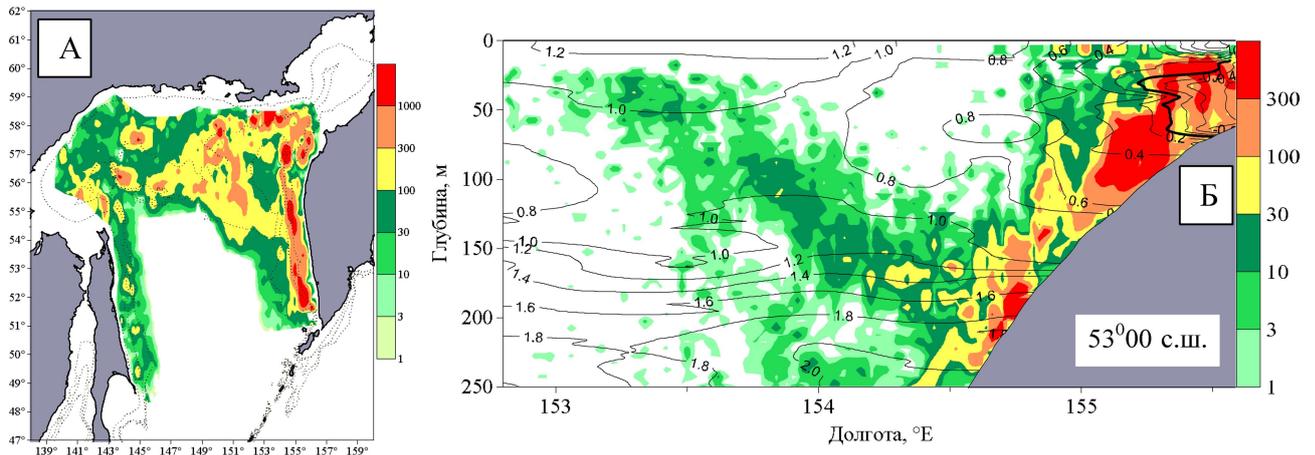


Рисунок 1.3 – Пример карт распределения плотности скопления минтая в Охотском море по результатам гидроакустических измерений весной 2021 г.: А – пространственное (тыс. экз./миля²); Б – вертикальное распределение (м²/миля²) вдоль широтного разреза с указанием температуры вод (°С) по глубине

Для оценки абсолютных запасов рыб обследуемую акваторию делят на статистические квадраты [13] (см. рисунок 1.2). Размер квадрата зависит от площади обследуемой акватории и расстояния между траловыми станциями. Например, в Охотском море при оценке численности минтая, расстояние между учетными тралениями составляет 20 миль, а сетка квадратов имеет шаг 0,5°×1° (широта × долгота). В прикурильских водах СЗТО для оценок обилия тихоокеанских лососей расстояние между тралениями гораздо больше – 60 миль, используется сетка 1°×2°.

Значения плотности (тыс. экз./миля² и тонн/миля²) усредняют в пределах каждого статистического квадрата. Затем усредненные показатели плотности (численность и масса) умножают на площадь соответствующего квадрата. Суммируя полученные значения по всем квадратам, рассчитывают общую численность и биомассу гидробионтов на обследуемой акватории. Алгоритм расчётов оценок обилия рыб гидроакустическим методом реализован в программном обеспечении «SALTSE» [48] и показан на рисунке 1.4.

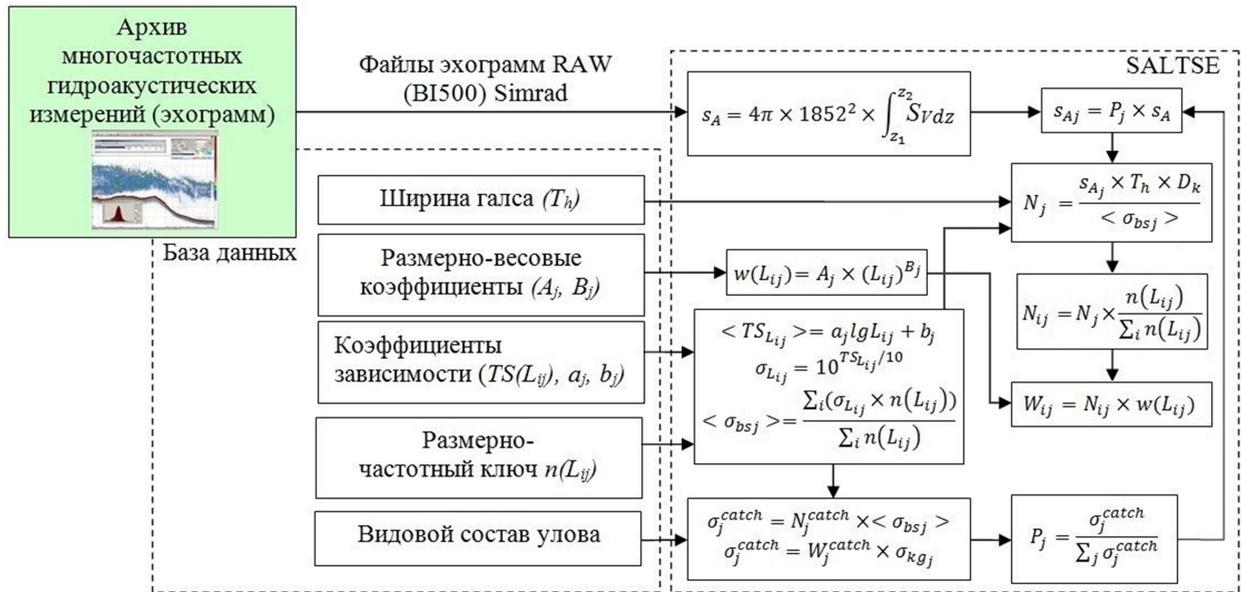


Рисунок 1.4 – Алгоритмическая схема расчётов оценок обилия рыб гидроакустическим методом: i – индекс длины объекта; j – индекс вида объекта; s_A – коэффициент обратного поверхностного рассеяния на квадратную морскую милю ($\text{м}^2/\text{миля}^2$); s_v – объёмный коэффициент обратного рассеяния (м^{-1}); z_1 и z_2 – верхняя и нижняя границы слоя интегрирования; L_{ij} – зоологическая длина объекта (см); $\langle TS_{L_{ij}} \rangle$ – среднее значение силы цели объекта (дБ); a_j, b_j – коэффициенты для расчета $TS(L_{ij})$; $n(L_{ij})$ – количество особей i -й длины, j -го вида в улове (экз.); $\sigma_{L_{ij}}$ – поперечное сечение обратного рассеяния (м^2); $\langle \sigma_{bsj} \rangle$ – среднее значение поперечного сечения обратного рассеяния единичного объекта (м^2); σ_j^{catch} – суммарное поперечное сечение обратного рассеяния по улову (м^2); σ_{kgj} – среднее значение поперечного сечения обратного рассеяния 1 кг рыбы (м^2); $N_j^{\text{catch}}, W_j^{\text{catch}}$ – численность и биомасса рыб по улову (экз., кг); D_k – длина интервала интегрирования (миля); P_j – пропорция по σ в улове; w_{ij} – вес рыбы i -й длины, j -го вида (кг); N_{ij}^j, W_{ij}^j – численность и биомасса рыб, пересчитанная на площадь района исследований (экз., кг) [21, 48]

1.1.2 Метод площадей

Впервые данный метод подсчета запасов промысловых видов рыб применил И.И. Месяцев [74]. В 1929 г., разбив условно промысловый район Баренцева моря на квадраты, он наблюдал за величиной улова тресковым тралом. Затем по средней величине улова за 1 час траления высчитывал количество экземпляров трески в промысловом квадрате в данный момент. При этом И.И. Месяцев полагал, что когда трал идет по дну, то улавливается вся рыба, встречающаяся на пути его движения, то есть коэффициент горизонтального облова равнялся 1. Кроме того, основываясь на собственных наблюдениях и специальных промысловых экспериментах, он считал необходимым учитывать поправку на распределение рыбы в толще воды и вводил коэффициент вертикального облова, показывающий, какую часть рыбы берет трал. Для тресковых рыб он принял ко-

эффицент, равный 0,04. Этим же способом И.И. Месяцев в 1932 г. определил запасы сиговых в Ладожском озере, а в 1935 г. — запасы рыбы в Северном Каспии [74].

Аналогичный метод использовал В.Н. Майский [75] для определения запасов хамсы и тюльки в Азовском море. В качестве показателя Майский брал улов лампы за один замет. Он считал, что орудие лова не способно удержать всю захваченную рыбу, и принимал уловистость лампы, равной 0,25. Учитывая неравномерность распределения уловов по акватории моря, он определял количество рыбы суммированием по площадям, охваченным контурами, заключающими области равновеликих уловов за замет. В.Н. Майский считал метод площадей несовершенным. Даже уточнение коэффициента уловистости лампы и других поправок не дает абсолютно точного определения численности и биомассы рыб. По его мнению, абсолютные оценки, приводимые этим методом, являются приближенными. Их следует рассматривать как цифровые показатели тенденции изменения численности и биомассы рыб и степени этой тенденции в сравнении с прошлыми годами.

Более подробное описание площадного метода было дано в работе З.М. Аксютинной [76]. Для определения количественной оценки численности рыб З.М. Аксютинна использует понятие «средняя численность рыб». Этот параметр показывает, что при условии, если бы удалось пересчитать все особи рыб в водоеме, то отношение числа всех рыб к площади водоема определило бы среднюю их численность на единицу площади водоема. Так как подобная операция невыполнима, то информацией об этой средней величине может служить средний улов. Действительно, разделив средний улов на площадь зоны облова, получаем приближенную информацию о средней численности рыб на единицу площади. Но так как, орудие лова захватывает лишь часть рыбы, находящейся в зоне облова, то автор в расчеты вводит поправку на систематическую ошибку – коэффициент уловистости орудия лова. В итоге, экстраполируя полученную величину на всю площадь водоема и применив коэффициент уловистости, можно оценить численность рыб в водоеме:

$$\tilde{N} = \frac{Q \times \bar{x}}{k \times q}, \quad (1.7)$$

где \tilde{N} – количественная оценка популяции рыб;

Q – площадь водоема;

q – площадь зоны одного облова;

k – коэффициент уловистости орудия лова, равный отношению количества рыбы в улове ко всему количеству рыб, находящихся в зоне облова;

\bar{x} – средний улов на один замет орудия лова.

В настоящее время в комплексных исследованиях водных биоресурсов Дальневосточных морей, проводимых Тихоокеанским филиалом «ВНИРО» («ТИНРО»), для предварительной оценки численности и биомассы основных промысловых объектов, таких как минтай и сельдь, также используется метод площадей (траловый). В отличие от стандартной трактовки метода Аксютиной, метод траловых съемок, используемый на ДВ бассейне, имеет свои особенности. Траления в этих съемках выполняются круглосуточно. Продолжительность тралений в основном составляет от 0,5 до 1 часа и время траления сокращается лишь в случаях явно однородных, протяженных, либо очень плотных «акустических записей» – чтобы избежать чрезмерных уловов, а также – в сложных навигационных и ледовых условиях. Облавливаемый горизонт всегда соответствует слою эхозаписей. Если однородная эхозапись имеет значительное вертикальное развитие, то траление выполняется в нескольких горизонтах, так называемый «ступенчатый лов» [77], по полчаса или по 15–20 минут в каждом, начиная с нижнего. При этом считается, что состав улова однороден, как и эхозапись, и улов на час траления вычисляется обычным способом. Если эхозаписи в двух горизонтах существенно различаются по характеру или не соприкасаются друг с другом, то облавливаются поочередно оба горизонта, а улов на час траления умножается на 2, руководствуясь тем, что разным «акустическим записям» могут соответствовать разные составы улова [34]. В качестве учетного орудия лова в исследованиях использовался разноглубинный канатный трал РТ/ТМ 57/360 с ячеей в траловом мешке 30 мм и мелкоячейной вставкой на последних 10 метрах мешка с ячеей 10 мм.

Суть площадного метода в общем виде заключается в том, что величины уловов (в единицах численности или массы) умножаются на отношение площади обследованного района к фактически обловленной площади, то есть фактический вылов экстраполируется на обследованный район. В общем виде формулы расчетов обилия основных видов nekтона методом площадей, используемые в комплексных съемках «ТИНРО», выглядят следующим образом:

$$N_p = \sum_{i=1}^n \frac{N_{i, \text{час}} \times S_i \times K_{oi}}{S_{(\text{тр})i, \text{час}} \times K_y}, \quad (1.8)$$

$$M_p = \sum_{i=1}^n \frac{M_{i, \text{час}} \times S_i \times K_{oi}}{S_{(\text{тр})i, \text{час}} \times K_y}, \quad (1.9)$$

где N_p и M_p – расчетные численность и масса для биостатистического района или съемки;

$N_{i, \text{час}}$ и $M_{i, \text{час}}$ – фактический улов i -того траления за 1 час в единицах численности и массы;

S_i – обследованная площадь, принадлежащая i -тому тралению;

$S_{(\text{тр})i, \text{час}}$ – фактическая площадь облова i -тым тралением за 1 час;

$\sum_{i=1}^n$ – суммирование по некоторому количеству тралений для биостатистического района или съемки;

K_{oi} – коэффициент объемности i -того траления;

K_y – коэффициент уловистости какого-либо вида (постоянный для всех тралений).

Одной из первых задач, возникающих при использовании учетного трала для количественной оценки биоресурсов, является определение зоны облова ($S_{i, \text{час}}$) – обловленной площади или процеженного через трал объема воды. Для этого, кроме времени и скорости траления, которые фиксируются судовыми приборами и позволяют точно рассчитать пройденное расстояние, нужно знать горизонтальное и вертикальное раскрытие трала, без которых невозможно определить плотность гидробионтов на единицу площади (или пространства). Эти переменные заранее никогда не известны, для каждого траления они измеряются инструментально с помощью приборов контроля орудия лова. В настоящее время для этих целей на НИС-ах Тихоокеанского филиала «ВНИРО» («ТИНРО») используются кабельные системы контроля орудия лова “SIMRAD FS20/25” и “SIMRAD FS70” компании “SIMRAD” и бескабельный траловый комплекс “ScanBas” компании “SCANMAR”. Данная аппаратура позволяет с высокой точностью оценивать геометрические параметры орудий лова [78, 79], что даёт возможность избежать ошибки при использовании этих параметров для расчётов обловленной площади.

При оценке запасов пелагических видов рыб, таких как минтай и сельдь, с помощью метода площадей, используется упрощенное понятие о процессе лова. Пелагический трал является гибкой объемной конструкцией непостоянной формы, которая в

процессе траления облавливает трехмерное пространство водной среды. Легко представить, как объемная фигура, описанная устьем трала при его прямолинейном движении, дает на поверхности воды плоскую проекцию – прямоугольник, площадь которого зависит от горизонтального раскрытия устья и пройденного расстояния:

$$S_{(\text{тр})} = B_{(\text{тр})} \times V_i \times t_i , \quad (1.10)$$

где $B_{(\text{тр})}$ – горизонтальное раскрытие трала, км;

V_i – скорость хода судна при выполнении i -того траления, км/ч;

t_i – продолжительность i -того траления, часы.

Фактическая площадь облова определяется для каждого траления и приводится к 1 часу:

$$S_{(\text{тр})i,\text{час}} = S_{(\text{тр})} \times 60/t_i , \quad (1.11)$$

Таким образом, объем протраленной воды заменяется на площадь траления, а вертикальное раскрытие трала и вертикальный охват скопления тралом в процентном соотношении учитывается с помощью вводимого коэффициента вертикального охвата или так называемого коэффициента объемности [77]:

$$K_o = h_{\text{скопления}}/h_{\text{тр}} , \quad (1.12)$$

где $h_{\text{скопления}}$ – высота скопления, регистрируемого эхолотом в месте траления, м;

$h_{\text{тр}}$ – вертикальное раскрытие устья трала, м.

Этот параметр вычисляется в процессе учетного траления на основе визуального анализа эхограммы и измерений вертикального раскрытия трала с помощью системы контроля орудия лова. Например, если в ходе траления облавливалась «акустическая запись» высотой 90 м, а вертикальное раскрытие трала составляло 30 м, то $K_o = 3$. С учетом этого коэффициента рассчитывается улов на час траления (в шт. и кг.) для всех учетных тралений.

Улов за траление носит характер случайной величины, спрогнозировать которую заранее не возможно, к тому же принцип случайности отбора информации является необходимым условием при проведении контрольных обловов.

Существенное значение для достоверности результатов имеет способ экстраполяции фактических уловов ($N_{i, \text{час}}$ и $M_{i, \text{час}}$) на площадь исследований. Для съемки с равновеликой сеткой разрезов и станций это корректно сделать через суммарный улов всех тралений и отношение площади района к общей площади облова всеми тралениями, другими словами – увеличив улов каждого траления в одно и то же количество раз. В случаях, когда траления на разрезах располагаются неравномерно, что связано с неоднородностью распределения скоплений рыб и, кроме того, существенно различаются уловы (размер и видовой состав), то применение этого способа экстраполяции может неизбежно привести к ошибке – завышению или занижению результата. В этой ситуации наиболее целесообразно определять расчетные численность и биомассу nekтона отдельно для площадей, принадлежащих каждому конкретному тралению, а затем суммировать эти величины по тем или иным районам и съемкам в целом. Для этого акватория каждой съемки разбита на «микрорайоны» по количеству тралений. Площадь, принадлежащая каждому тралению (S_i), определяется как произведение расстояний между разрезами (сумма половин расстояний данного разреза от предыдущего и последующего) на расстояние между тралениями (сумма половин расстояний данного траления от предыдущего и последующего). Очевидно, что с увеличением частоты тралений уменьшается принадлежащая каждому из них площадь, на которую экстраполируется результат. Этим ограничивается ошибка за счет случайных высоких и низких уловов, более адекватно оцениваются «вклад» в результаты по съемкам районов с изменчивыми «записями» и уловами, иначе говоря, «вклад» каждого траления в суммарный результат «взвешивается» через принадлежащую данному тралению площадь района исследований. Работает схема: с увеличением неоднородности распределения nekтона увеличивается частота тралений, но снижается «вес» каждого из них.

Наконец, в расчетах применяется еще один немаловажный и, при этом, наиболее критичный показатель – коэффициент уловистости (K_y). Этот параметр используется в качестве критерия оценки орудия лова, позволяющего дать информацию, насколько эффективно оно может улавливать тот или иной вид гидробионта. Суть его заключается в том, что лишь часть особей из зоны облова трала затем оказываются в улове. Коэффи-

циент уловистости видоспецифичен, выражается в долях единицы и вводится в знаменатель формул расчета численности и биомассы.

Применение некорректного коэффициента уловистости дает наибольшую погрешность – занижение или завышение абсолютной численности и биомассы рыб в предварительных расчетах. В то же время исключение этой величины из расчетов или принятие уловистости за 100 % ($K_y = 1$), может дать большую погрешность в использовании метода площадей. Так, например, О.А. Булатов в своей работе [80], анализируя современные методологии оценки запасов и прогнозирования ОДУ, пишет следующее: «Американские и японские исследователи, изучавшие межгодовую изменчивость запасов минтая Берингова моря [81–83], не применяли поправку на уловистость, допуская её равной 100 % ($K_y = 1$). Сравнение результатов траловых работ, выполненных японскими и американским учёными в 1980-е гг. на шельфе восточной части Берингова моря, показало, что в среднем японские уловы были в четыре раза выше, чем американские [81], несмотря на то, что уловистость в том и другом случае допускалась равной 1. Анализ сравнительной уловистости японских и отечественных донных тралов, применяемых у побережья Северных Курильских островов, показал, что отечественными тралами улов на 1 ч траления минтая оказался в семь раз меньше [84]». Приведенный пример свидетельствует о том, что пренебрежение учетом коэффициента уловистости приводит к значительным искажениям в оценках численности и биомассы промысловых объектов, для которых не оцениваются коэффициенты доступности запаса для съёмки в последующих моделях.

Используемые в практике ресурсных исследований на Дальневосточном бассейне дифференцированные по видам и размерным группам nekтона значения коэффициентов уловистости варьируются от 0,01 до 0,5. Согласно немногочисленным публикациям по данной теме, лишь некоторые из этих коэффициентов получены методами прямых подводных наблюдений или по параметрам орудия лова и математическим моделям, то есть в какой-то мере серьёзно биологически и технически обоснованы [85, 86]. В большинстве же своем они определены экспертно путем экстраполяции данных о размерах и поведении гидробионтов [87] и поэтому не могут обеспечить высокую точность и достоверность оценки их численности.

По И.В. Волвенко «...коэффициенты уловистости, применяемые в практике экосистемных исследований, во многих случаях являются экспертными и не общепризнан-

ными...» [88]. Поэтому вопрос оценки коэффициента уловистости имеет большую значимость и является сложной задачей, затрагивающей непростые отношения рыболовных комплексов с живыми биологическими объектами, которую, как будет показано ниже, без надлежащей методологии экспериментальных исследований и приборного оснащения решить невозможно.

1.2 Понятие «коэффициент уловистости»

Определение «коэффициента уловистости» в своих работах рассматривается многими исследователями. Впервые количественная характеристика «уловистости» орудия лова была предложена выдающимся русским и советским ученым Ф.И. Барановым, заложившим основы современных принципов теории рационального рыболовства. Понятие «уловистость невода» ученый интерпретировал как: «отношение количества рыбы, вылавливаемой неводом за некоторый промежуток времени, к количеству рыбы, проходящей по реке за это же время» [89].

В своих ранних трудах [89] Ф.И. Баранов пишет: «Весьма интересным и важным является вопрос об уловистости невода и о том преграждении, какое представляет тоня для прохода рыбы. Очевидно, этот вопрос может быть решен лишь условно, для некоторых идеальных условий лова, ибо преграждение может быть неодинаково для различных тоней, и может изменяться для одной и той же тони с изменением условий тяги невода, главным образом, с изменением высоты уровня воды и быстроты течения реки. Это касается геометрического преграждения реки. Еще более сложным является вопрос о действительном преграждении, ибо рыбы, находившиеся в обметываемом неводом пространстве, могут уйти из него при приближении невода и частью даже ускользнуть из невода». В своих рассуждениях для нахождения уловистости невода Ф.И. Баранов определяет следующие «идеальные условия лова»:

- «1) лов рыбы производится в течение достаточно продолжительного времени;
- 2) тоня, лежащая выше, находится в одинаковых условиях с тоней, расположенной ниже по течению реки и уловистость этих тоней одинакова» [89].

В более поздних работах, описывая «уловистость трала», автор писал: «объективным показателем работы трала может быть отношение количества пойманных рыб ко

всему количеству рыб, находившихся на обловленной площади, характеризующее абсолютную уловистость трала – данного трала для данной рыбы» [90].

Математически коэффициент уловистости (φ), согласно формулировке профессора Баранова, представлен в следующем виде:

$$\varphi = Q/N, \quad (1.13)$$

где Q – количество рыб в улове; N – количество рыб, находящихся в зоне действия орудия лова.

Количественный учет рыб в улове не представляет методологических сложностей, в отличие от достоверной оценки абсолютной численности рыбных скоплений в зоне действия орудия лова. Данное обстоятельство послужило основанием для проведения многочисленных исследований представителями рыбохозяйственной науки, ставящих целью разработку и совершенствование методов оценки уловистости орудий лова.

«Коэффициент уловистости» до сих пор является предметом научных дискуссий и имеет многогранную интерпретацию. Кроме того, в научных публикациях «коэффициент уловистости» обозначается различными терминами, такими как «коэффициент облова», «абсолютная уловистость», «вероятность лова» и другими.

В работах, описывающих улавливающую способность орудий лова, «коэффициент уловистости» служит ключевым параметром при решении широкого круга задач, включая оптимизацию уловистости – повышение улавливающих свойств орудия лова [91–95], выявление и анализ факторов, влияющих на уловистость орудия лова [96–103], сравнительная оценка улавливающих характеристик рассматриваемого и эталонного орудий лова (относительная уловистость) [104–110], непосредственное измерение этого параметра с помощью инструментальных методов [111–123], влияние коэффициента уловистости на оценку запасов гидробионтов [124, 125].

Достаточно подробный анализ исследований по уловистости орудий лова представлен в работе О.М. Лапшина [86]. Все разнообразие методов оценки уловистости орудий лова О.М. Лапшин разделяет на две группы: «механистический» и «поведенческий» [86].

1.2.1 Механистический подход к определению коэффициента уловистости

Говоря о «механистическом» подходе О.М. Лапшин пишет следующее: «По причине слабой изученности вопроса поведения рыбы в зоне облова, представители этого подхода при оценке уловистости были вынуждены вводить комплекс допущений и предположений. Большинство авторов делали акцент на установлении связей между техническими параметрами орудия лова и уловистостью и не учитывали ни вопросы поведения рыбы в зоне облова, ни сам процесс лова рыбы» [86]. К наиболее известным отечественным представителям «механистического» подхода относятся: В.А. Ионас [126–128], Н.Н. Андреев [129, 130], В.Н. Честной [131], А.И. Трещев [113, 132], В.Н. Войникайнис-Мирский [133, 134], А.В. Засосов [135], В.Н. Лукашов [136, 137], И.В. Никоноров [138], Ю.С. Сергеев [139], М.М. Розенштейн [100, 140], А.Л. Фридман [141], А.Д. Дубровский [104], Ю.В. Кадильников [142, 143], С.М. Касаткина [107, 122], А.Е. Толкунов [144, 145], В.В. Николаев [146, 147] и др.

Далее рассмотрим наиболее известные интерпретации термина «коэффициент уловистости», предлагаемые представителям «механистического» подхода.

В.А. Ионас, рассматривая производительность трала пишет: «Конечной целью всех исследований по промышленному рыболовству является повышение уловистости орудий лова. Исследования должны быть направлены на повышение уловов при минимальных затратах на добычу рыбы. Однако при проведении таких исследований возникает необходимость в выборе критерия уловистости и его количественной оценке. К сожалению, до сих пор нет обоснованных критериев, позволяющих объективно оценивать уловистость орудий лова, равно как нет теории уловистости, без которой немислим существенный прогресс в этом направлении» [128].

В.А. Ионас дает следующее определение уловистости: «абсолютная уловистость (φ) – это безразмерный параметр, характеризующий улавливающее действие орудия лова и представляющий отношение количества рыб в улове (n) к количеству рыб, находящихся в зоне облова (N). При этом (φ) трала зависит от его геометрии (площадь устья), скорости траления (V) и поведения объекта лова, характеризующегося расстоянием, на котором рыба ощущает трал как опасность (r), и скоростью ухода рыбы из зоны облова трала (V_p)» [126].

Обозначив количество рыб, ушедших из зоны облова – (m), а количество рыб в улове – ($n = N - m$), В.А. Ионас получил следующее выражение:

$$\varphi = \frac{n}{N} = 1 - \frac{m}{N} \quad (1.14)$$

Количество рыб, среагировавших на трал и ушедших от него, В.А. Ионас представляет в виде функции:

$$m = f(r, V_p, t_1, \rho_1) , \quad (1.15)$$

где t_1 – время ухода рыб от трала;

ρ_1 – число рыб в единице протраленного объема, среагировавших на трал как на опасность.

Количество рыб, находящихся в зоне облова перед устьем трала, определялось по формуле:

$$N = \rho SVt , \quad (1.16)$$

где ρ – число рыб в единице объема (промысловая концентрация);

S – площадь устья трала;

V – скорость траления;

t – время траления.

Подставив значение N в формулу и преобразовав m , выражение φ будет представлено в виде:

$$\varphi = 1 - \frac{\rho_1 r^2 V_p t_1}{\rho SVt} \quad (1.17)$$

Далее в своих рассуждениях для решения уравнения (1.17) В.А. Ионас вводит ряд упрощений: время траления равно времени, в течение которого рыба уходит из протраленного объема ($t = t_1$); все рыбы находящиеся в единице протраленного объема, реа-

гировали на приближение трала ($\rho = \rho_1$). В этом случае формула принимает следующий вид:

$$\varphi = 1 - \frac{r^2 V_p}{SV} \quad (1.18)$$

Исходя из того, что характеристики рыбы (r и V_p) не определялись точно путем прямых измерений, а их численные значения, полученные в промысловых условиях не были известны, автором было предложено использовать метод количественной оценки абсолютной уловистости трала без значений этих параметров (r и V_p). В дальнейших рассуждениях В.А. Ионас делает замечание, что трал не будет ловить рыбу при условии $\varphi = 0$. Тогда, приравнивая формулу (1.18) к нулю и заменив $r^2 V_p$ на $S_0 V_0$ — характеристику трала, при которой $\varphi = 0$, получается следующее:

$$\varphi = 1 - \frac{S_0 V_0}{SV} \quad (1.19)$$

Затем В.А. Ионас убирает из уравнения площадь устья трала, так как этот параметр, по его мнению: «слабо зависит от скорости траления (или вообще не зависит, как например у бимтрала и рингтрала)» [126]. В этом случае формула упрощается до выражения:

$$\varphi = 1 - \frac{V_0}{V} \quad (1.20)$$

где V_0 – нулевая скорость траления (скорость при которой трал уже не ловит рыбу).

В дальнейших своих рассуждениях В.А. Ионас пишет: «для вычисления абсолютной уловистости трала при скорости траления V оказывается достаточно знать только одну характеристику – V_0 » [126]. Для вычисления значений φ В.А. Ионас приводит следующий пример: «нулевая скорость траления трески равна примерно 2-2,5 узла, а обычная промысловая скорость 3-3,5 узла, следовательно, в среднем $\varphi \cong 0,3$. При ловле сельди $V_0 \cong 2,5-3$ узла, а $V \cong 3,5-4$ узла, что свидетельствует о низкой абсолютной уловистости сельдяных тралов: $\varphi \cong 0,2$ » [126].

В.А. Ионас в своих исследованиях сделал попытку теоретического решения задачи уловистости трала, прибегнув к упомянутым выше упрощениям. Решить задачу уловистости без упрощений удастся только при точном измерении параметров, описывающих технические характеристики траловой системы, а также биологию и поведенческие характеристики объекта лова.

В.Н. Честной в своих исследованиях вопроса уловистости трала [131] представил возможным связать между собой поведение рыбы в зоне действия трала и скорость траления. Для определения коэффициента уловистости трала он предлагает использовать следующую формулу:

$$k = 1 - \frac{sV_p}{rnV_{тр}}, \quad (1.21)$$

где s – расстояние, которое проходит трал за время t от начала бегства рыб до момента их поимки, двигаясь со скоростью $V_{тр}$ ($s = V_{тр} \times t$), м;

V_p – скорость движения рыбы при испуге, м/с;

$V_{тр}$ – скорость буксировки трала, м/с;

n – количество рыб, которое находилось в протраленной зоне, шт.;

r – коэффициент пропорциональности, учитывающий взаимосвязь между расстоянием (h), которое рыба преодолевает за время (t) от начала бегства до ее поимки и площадью, с которой рыба уходит из зоны облова. При условии, если рыба в зоне облова распределена равномерно, то с увеличением h , большее количество рыбы будет уходить из зоны облова.

В формуле В.Н. Честного (1.21) прямое определение коэффициента уловистости связано с необходимостью оценки ряда величин, характеризующих поведение рыб, и определение их численных значений, что является сложно выполнимой задачей. В то же время некоторые величины, которые заведомо могут влиять на уловистость трала: геометрические параметры трала (вертикальное и горизонтальное раскрытие), его конструкция, режим эксплуатации и т.д., совсем не представлены.

А.И. Трещев в своих исследованиях [132] придерживается классической формулировки и рассматривает коэффициент уловистости (k_c) как отношение количества пой-

манных рыб (N_c) к их общему количеству (N), находившемуся в «обловленном объеме воды» (V), то есть:

$$k_c = N_c/N \quad (1.22)$$

Под «обловленным объемом воды» автор понимает: «объем воды (рассчитанный или измеренный), на который распространяется действие рыболовного орудия, а находящиеся в нем промысловые объекты имеют потенциальную возможность быть пойманными данным орудием лова за данное время лова» [132].

По А.И. Трещеву «коэффициент уловистости – это величина, зависящая от множества непрерывно изменяющихся факторов: глубина лова, ориентация трала по отношению к свету, гидрометеорологическая обстановка, угол подхода рыб к орудию лова, геомагнитные поля, физиологическое состояние и поведение рыб в каждый момент времени и т.д. Применительно к тралам значения коэффициента уловистости для каждого траления колеблются в широком диапазоне» [132]. В связи с этим, по мнению автора: «существует лишь один вполне достоверный способ учета уловистости тралов – определять его фактическое значение для каждого трала и объекта в каждом тралении по результатам лова» [132]. Число рыб в улове автор предлагает определять по формуле:

$$N_c = C/\bar{\omega} \quad , \quad (1.23)$$

где C – улов рыбы данного вида, кг;

$\bar{\omega}$ – средняя масса одной рыбы, кг;

А.И. Трещев считал, что: «отрыв от практики в вопросах уловистости привел к тому, что и коэффициент уловистости, предназначенный для практического использования, оказался недоступным для однозначного определения, так как в него входит количество рыб, находящихся перед орудием лова, без указания способа его подсчета. Только с введением метода оценки параметра N , вопрос определения коэффициента уловистости будет решен» [132].

В свою очередь, общее количество рыб (N) автором предлагается находить исходя из плотности скопления рыб δ_f в облавливаемом объеме воды:

$$N = \bar{\delta}_\Phi V, \quad (1.24)$$

где $\bar{\delta}_\Phi$ – средняя плотность рыб в скоплении, шт/м³;

V – обловленный объем воды, м³;

В итоге формула k_c принимает следующий вид:

$$k_c = C / \bar{\omega} \bar{\delta}_\Phi V \quad (1.25)$$

Плотность рыб в единице объема воды (δ_Φ) автором предлагается рассчитывать с помощью гидроакустической аппаратуры, позволяющей на пути движения трала записывать фактическую плотность концентрации ловимых объектов. Таким образом, А.И. Трещев в своих исследованиях предложил теоретическое решение такого важного технического вопроса в теории уловистости, как оценка общего числа рыб в зоне действия орудия лова (N), но на практике автором не были получены значения коэффициента уловистости.

Ряд других исследователей, изучавших теорию уловистости (В.Н. Войникайнис-Мирский, В.Н. Лукашов, И.В. Никоноров, Ю.С. Сергеев, М.М. Розенштейн, Ю.В. Кадильников и др.) исходили из того, что орудие лова действует во времени и пространстве. Под «пространством» они подразумевали зону орудия лова и подразделяли ее на отдельные участки, в которых происходят последовательные этапы процесса облова рыбы. В таком случае, коэффициент уловистости трала представлялся в виде совокупности отдельных коэффициентов уловистости, характеризующих каждый этап процесса облова рыбы тралом и зависящих от биологических характеристик объекта лова.

Профессор В.Н. Войниканис-Мирский определяет уловистость как способность орудий лова улавливать рыбу или соответствующий нерыбный объект [133]. Это качественное понятие он выражает количественно с помощью системы отдельных коэффициентов уловистости, включающей в себя зональный коэффициент (β), практический коэффициент (δ) и полный коэффициент уловистости (λ).

Зональным коэффициентом уловистости (β) называется отношение количества рыб, прошедших в зону действия (Q_1), к количеству рыб, попавших в зону влияния (Q_0):

$$\beta = Q_1 / Q_0 \quad (1.26)$$

«Зоной влияния» В.Н. Войниканис-Мирский называет «пространство, в котором сказывается влияние стоящего или движущегося орудия лова на поведение рыбы», а «зоной действия орудия лова – пространство, в котором рыба подвергается улавливающему действию орудия лова» [134]. Зона влияния включает в себя зону действия, но значительно шире ее. Как пишет автор: «Рыба, попавшая в зону действия орудия лова, должна быть им поймана, так как она попала в область, на которую распространяются улавливающие свойства орудия лова. Рыба, попавшая в зону влияния, вовсе не обязательно пройдет в самую зону действия орудия лова. Она может, испугавшись орудия лова, свернуть в сторону, отвернуть назад, рассеяться по водоему и т.д. То есть в зоне влияния действуют различные отпугивающие факторы некоторых орудий лова» [134].

«Практический коэффициент уловистости (δ) – это отношение количества действительно уловленных рыб (Q) к количеству рыб, прошедших в зону действия орудия лова (Q_1)» [133]:

$$\delta = Q/Q_1 \quad (1.27)$$

Полный коэффициент уловистости (λ) находится из произведения зонального (β) и практического коэффициента уловистости (δ):

$$\lambda = \beta\delta \quad (1.28)$$

В результате подстановки выражений 1.26 и 1.27 в уравнение 1.28, было получено следующее равенство:

$$\lambda = \beta\delta = \frac{Q_1}{Q_0} \times \frac{Q}{Q_1} = \frac{Q}{Q_0} \quad (1.29)$$

Таким образом, В.Н. Войниканис-Мирским было получено классическое выражение Ф.И. Баранова, однако его использование не предоставляет достаточных оснований для разработки практических методов оценки рассматриваемого коэффициента.

Касаясь темы уловистости, В.Н. Лукашов считал, что: «уловистость рыболовной системы является следствием качества работы различных блоков этой системы и особенностей поведения рыбы» [136, 137]. Уловистость представлена им в виде произведе-

ния следующих, также весьма неопределённых характеристик, соответствующих этапам лова [136, 137]:

$$\psi = \psi_y \times \psi_z \times \psi_o \times \psi_V , \quad (1.30)$$

где ψ_y – коэффициент управления поведением рыбы, равный отношению количества рыбы, направленного в захват с единицы объема, занятого обловленной частью скопления рыб, к плотности последнего;

ψ_z – коэффициент захвата рыбы, равный отношению количества рыбы, оказавшейся в захвате с единицы объема воды обловленной части скопления, к количеству рыбы, направленному в захват с единицы того же объема воды;

ψ_o – коэффициент прицельности лова, равный отношению объема водного пространства обловленной части скопления рыб ($V_{o,c}$), к объему водного пространства, занятому всем скоплением рыб (V_c);

ψ_V – коэффициент идентичности объемов, равный отношению объема, занятого скоплением рыб (V_c), к объёму обловленного пространства (V_o).

Аналитическое определение этих коэффициентов даётся без каких-либо экспериментальных обоснований. Так, для донного трала коэффициент эффективности управления поведением рыб определяется выражением:

$$\psi_y = \frac{l_K}{l_D} \left(1 + \frac{2c}{l_K} \times \frac{\varepsilon}{\varepsilon_K} \times e^{1-\varepsilon/\varepsilon_o} \right) , \quad (1.31)$$

где l_K – расстояние между крыльями трала;

l_D – расстояние между досками трала;

c – расстояние от доски до крыла, $c = (l_D - l_K)/2$;

ε – коэффициент относительной скорости траления, $\varepsilon = V_T/V_p$ (V_T – скорость траления, V_p – скорость движения рыбы);

ε_K – коэффициент критической скорости траления, $\varepsilon_K = l/\mu c$;

l – длина кабелей;

μ – коэффициент, учитывающий реакцию рыбы на шлейф от взмученной траловыми досками воды; $\mu = V_p l / V_{kc}$; V_{kc} – критическая скорость траления, при которой наблюдается максимальный эффект сгоняющего действия шлейфов;

ε_0 – коэффициент оптимальной скорости траления, при которой $\psi_y = 1$.

Коэффициент эффективности захвата рыб выражается следующим образом:

$$\psi_z = 1 - 2r/l_k \varepsilon, \quad (1.32)$$

где r – расстояние от плоскости устья трала, на котором рыба реагирует на трал.

Как видно из этой формулы, коэффициент захвата определяется чисто механическими параметрами.

Коэффициент прицельности лова ψ_0 показывает, с какой вероятностью в трал может попасть рыба из облавливаемого скопления и это зависит от точности наводки устья трала на скопление рыб. Автор предлагает находить прицельность, исходя из того, что объем скопления ограничен поверхностью кругового цилиндра с радиусом R_c и горизонтально расположенной осью. Площадь устья трала – круг с радиусом R_t . Центр устья трала перемещается по прямой, параллельной оси скопления рыб. Тогда коэффициент прицельности лова представляется в виде:

$$\psi_0 = \frac{S_{o.c.}}{S_c}, \quad (1.33)$$

где S_c – площадь поперечного сечения скопления рыб;

$S_{o.c.}$ – часть площади S_c , оказавшейся в устье трала.

Величину $S_{o.c.}$ определяют два основных фактора: площадь устья трала S_t и отклонение центра устья трала от оси скопления рыб Δr . В этих условиях при минимальном значении Δr будет улавливаться максимальное количество рыб с площади $S_{o.c.}$, а при максимальном Δr будет наблюдаться обратная ситуация. Повысить прицельность лова В.Н. Лукашов предлагает с помощью увеличения площади устья трала или уменьшения относительного отклонения. Но даже идеальное наведение устья трала на скопление ($\Delta r = 0$) позволит лишь обловить часть скопления рыб. Например, площадь устья трала

в два раза меньше площади скопления рыб, то трал обловит лишь четверть этого скопления.

Высокая вариативность и сложность в определении параметра Δr приводит к тому, что находить коэффициент ψ_0 и применять его в расчетах коэффициента уловистости представляется почти невозможным. Об этом говорит и сам В.Н. Лукашов [136, 137], он для удобства расчетов приводил этот коэффициент равным $\psi_0 = 1$.

Коэффициент идентичности объемов ψ_V при траловом лове предлагается находить исходя из того, что объем обловленного водного пространства (V_0) определяется площадью устья трала и продолжительностью траления. Тогда изменение геометрических размеров устья трала может теоретически привести к увеличению ψ_V , но при этом может измениться прицельность лова и скорость облова водного пространства.

Искажение В.Н. Лукашовым довольно ясной формулировки коэффициента уловистости, данной Ф.И. Барановым, приводит к тому, что сам непосредственный коэффициент уловистости разделяется на составные части, которые в свою очередь не вполне понятно как можно вычислить или их расчет сводится к появлению дополнительных неопределенностей и погрешностей.

И.В. Никоноров, подобно В.Н. Войниканис-Мирскому, рассматривает коэффициент уловистости по зонам воздействия тралового комплекса на объект лова. В своей работе автор представляет абсолютный коэффициент уловистости η как отношение величины улова Q_p ко всему количеству рыб, находящихся в зоне влияния орудия лова Q_{p_0} . [138]:

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_{p_0}} \quad (1.34)$$

Под «зоной влияния» автор понимает «пространство, в котором проявляется влияние силовых полей орудия лова на скопление рыб, в результате чего поведение рыбы изменяется» [138]. В зависимости от конструкции орудия лова зона влияния оказывает различное воздействие на поведение рыб. Находящаяся в «зоне влияния» рыба не вся улавливается орудием лова, а только часть ее – Q_{p_1} , другая часть – Q_{p_2} , может выйти из зоны действия орудия лова. «Зона действия – пространство, в котором проявляется дей-

ствие силовых полей орудия лова на скопление рыб, в результате чего происходит улавливание рыбы» [138].

В «зоне влияния» орудия лова улавливается следующее количество рыб [138]:

$$Q_{p_1} = Q_{p_0} - Q_{p_2} \quad (1.35)$$

Помимо «зоны влияния» и «зоны действия» И.В. Никоноров использует в своих расчетах «зону удерживания – пространство в котором проявляется удерживающая способность орудия лова, из которой часть рыбы (Q_{p_3}) может выходить» [138]. Тогда улов, с учетом этой зоны составит:

$$Q_p = Q_{p_1} - Q_{p_3} \quad (1.36)$$

Улов с учетом его улавливающей и удерживающей способности выражается как:

$$Q_p = Q_{p_0} - Q_{p_2} - Q_{p_3} \quad (1.37)$$

Подставив полученное выражение Q_p (1.37) в формулу (1.34) получим итоговое уравнение абсолютного коэффициента уловистости:

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_{p_0}} = \frac{Q_{p_0} - Q_{p_2} - Q_{p_3}}{Q_{p_0}} = 1 - \left(\frac{Q_{p_2} + Q_{p_3}}{Q_{p_0}} \right) \quad (1.38)$$

Полученное уравнение коэффициента уловистости не дает полной картины того, каким образом вычислять параметры: Q_{p_2} , Q_{p_0} , Q_{p_3} . И.В. Никоноров убрал из итоговой формулы величину улова (Q_p) и заменил ее на Q_{p_2} , Q_{p_3} . Параметр Q_{p_2} автор предлагает находить опытным путем, наблюдая за поведением рыбы в зоне влияния трала. Так же нет понимания, как численно находить количество рыбы, вышедшей из трала через устье (Q_{p_3}). Так например, рыба в течение траления попадает в устье, затем через некоторое время часть этой рыбы может выйти из трала и теряя силы вновь попасть в устье трала. То есть может возникнуть повторный учет этих особей (Q_{p_3}). К тому же не приводится сама методика расчета параметров Q_{p_2} , Q_{p_0} , Q_{p_3} .

Подобный алгоритм расчета коэффициента уловистости с разделением его на составные части использовал в своих исследованиях Ю.С. Сергеев [139]:

$$f = u \times k , \quad (1.39)$$

где k – относительный захват;

u – относительное удержание.

Под «относительным захватом» автор понимает: «отношение среднего количества рыб, захватываемых тралом в единицу времени (m) к среднему количеству рыб, находившихся в зоне облова (M_1) (объеме воды, процеживаемом через устье трала в единицу времени)» [139]:

$$k = \frac{m}{M_1} , \quad (1.40)$$

В своих рассуждениях автор указывает на то, что «большинство промысловых видов рыб активно реагирует на приближающийся трал и детали его оснастки, и увеличение захватывающих качеств трала может происходить за счет увеличения скорости траления» [139]. В этом случае уравнение относительного захвата (k) будет выглядеть следующим образом:

$$k = 1 - e^{-\beta(V-V_0)} , \quad (1.41)$$

где V – скорость траления, м/с;

V_0 – скорость траления, при превышении которой трал начинает захватывать рыбу (нулевая скорость), м/с;

e – основание натурального логарифма ($e \approx 2,72$);

β – средний показатель ухода рыбы от трала, который характеризует эффективность относительного захвата рыб тралом (k) от скорости траления (V) в долях относительного ухода.

Параметр β автор предлагает находить из следующего уравнения [139]:

$$\beta = \frac{d(1-k)}{(1-k)dV}, \quad (1.42)$$

где $d(1-k)$ – разница в относительной величине ухода рыб от трала при разности в скорости траления dV :

$$d(1-k) = (1-k)(V+dV) - (1-k)(V), \quad (1.43)$$

где $(1-k)$ – доля рыб, которая уходит от трала при скорости V .

Ю.С. Сергеев в своих исследованиях под термином «относительное удержание» подразумевал величину, которая показывает: «какая часть поступающих в трал рыб в среднем удерживается им в единицу времени» [139]:

$$u = \frac{n}{m \times t}, \quad (1.44)$$

где n – средний улов рыб за время t , рыб;

m – средняя скорость (интенсивность) поступления рыбы в трал заданной конструкции и размеров при данной скорости траления, шт/мин.

По Ю.С. Сергееву: «средний улов за траление (n) при заданной скорости траления пропорционален средней скорости захвата рыбы (m), обратно пропорционален средней интенсивности ее ухода (α) и нелинейно зависит от продолжительности траления (t) [139]:

$$n = \frac{m}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}), \quad (1.45)$$

где α – средняя относительная скорость ухода рыбы из трала.

При этом: «параметры m и α зависят от условий и тактики лова, вида и физиологического состояния ловимой рыбы, размеров и конструктивного совершенства трала и оснастки, скорости траления и т.п. и являются, поэтому, одновременно характеристиками трала и ловимой рыбы (при работе в заданных условиях)» [139].

Подставив полученное выражение (1.45) в формулу (1.44) получим, что относительное удержание равно:

$$u = \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha t} \quad (1.46)$$

В своих исследованиях Ю.С. Сергеев показал возможность применения полученного им подхода определения уловистости орудия лова для анализа и оценки промысловой работы трала и совершенствования его конструкции и технологии промысла. Тем не менее, теория предложенная автором исследования, имеет методические недостатки. Автор вводил ряд идеальных условий для промысла: по всей площади акватории рыба имеет равномерное распределение, обеспечивается постоянная рабочая форма (геометрия трала) и устойчивость хода трала, а скорость хода трала остается неизменной. В действительности эти показания в процессе траления колеблются и оказывают случайное влияние на улов. Так, например, зависимость относительного улова от продолжительности траления (αt) имеет статистическую природу и может быть верной лишь в приложении к значительному по числу повторений опытному материалу, другими словами Ю.С. Сергеев предлагает определять переменную α через статистику уловов разных тралов при разной продолжительности тралений. При численном выражении переменной β (1.42) наибольшую погрешность представляет собой вычисление доли рыб, которая уходит от трала при скорости V .

М.М. Розенштейн при определении уловистости рыболовных тралов исходит из следующего: «процесс лова донным тралом распадается на три этапа: 1) управление поведением рыб, находящихся в зоне действия орудия лова; 2) захват облавливаемого косяка сетной частью трала; 3) удержание захваченных рыб в сетном мешке» [140]. М.М. Розенштейн, говоря об уловистости донного трала, рассматривает понятие «общий коэффициент уловистости» (γ), учитывающий все эти три этапа процесса лова [140]:

$$\gamma = \alpha \times \beta \times \delta = \frac{1 + \frac{l_k}{l} \times \frac{V_p}{V} \times \left(2 - \frac{V_p}{V} \times \frac{1}{\sin \theta}\right)}{1 + \frac{l_k}{l} \sin \theta} \times \left(1 - \frac{\Delta F V_p}{F_y V}\right) \times \delta, \quad (1.47)$$

где α – коэффициент управления;

β – коэффициент захвата;

δ – коэффициент удержания рыбы;

l – горизонтальное раскрытие сетной части трала, м;

l_k – длина кабеля, м;

θ – угол атаки кабеля, град;

V_p – скорость ухода рыбы от трала, м/с;

V – скорость траления, м/с;

ΔF – площадь части устья трала, с которой рыба отпугивается и стремится избежать захвата, м²;

F_y – площадь устья трала, м².

Величину ΔF М.М Розенштейн определяет следующим образом [140]:

$$\Delta F = 2Hr + 2(l - 2r)r , \quad (1.48)$$

где H – вертикальное раскрытие трала, м;

l – горизонтальное раскрытие трала, м;

r – расстояние от периметра орудия лова, на котором удерживаются рыбы при облове, м.

В приведенной выше формуле (1.47) наименее исследованной является зависимость коэффициента удержания рыб (δ) от технических характеристик трала и режима его буксирования. Основываясь на подводных наблюдениях, М.М. Розенштейн приходит к выводам, что: «1) величина коэффициента (δ) зависит лишь от интенсивности выхода рыб из трала в направлении устья; 2) наибольшее влияние на интенсивность выхода рыб из трала оказывает скорость траления» [140]. В связи с этим автор предлагает проводить траления на скоростях больших, чем «критические» ($V_{кр}$ – скорость при которой у рыб не хватает энергетического запаса для выхода из трала) и принимать коэффициент удержания рыб (δ) равный 1.

В представленной методике определения коэффициента уловистости М.М. Розенштейн определил параметры, связанные с техническими характеристиками траловой системы (l , l_k , V , θ), но оставил трудным к пониманию, как находить параметры, связанные с объектом лова. Например, параметры V_p и r определяются видовыми и размерными свойствами рыб и поэтому должны измеряться экспериментально во время промысловых операций, что является очень сложной задачей.

Как пишет сам автор: «полученные зависимости коэффициентов α и β от технических характеристик трала нуждаются в экспериментальной проверке. Однако прямая проверка этих зависимостей трудно выполнима, так как в результате морских опытов в районе промысла могут быть получены данные лишь об общем коэффициенте уловистости (γ). Поэтому более доступным является сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований коэффициентов уловистости, на основании которых могут быть сделаны приближенные оценки достоверности теоретических зависимостей для коэффициентов α , β , δ » [140].

Ю.В. Кадильников, рассматривая эффективность работы рыболовной системы и техническую доступность водных биологических ресурсов, дал свое определение уловистости: «уловистость трала является вероятностью сложного события поимки хотя бы одной рыбы из множества, то есть вероятность получения улова отличного от нуля» [142, 143]. Математически «вероятность получения улова отличного от нуля» или «полная уловистость» ученым выражена следующей формулой [142, 143]:

$$P = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \times P_5 \times P_6 \times P_7 \times P_8 \times P_9 \times P_{10} , \quad (1.49)$$

где P_1 – вероятность попадания рыбы между подборами трала;
 P_2 – вероятность попадания рыбы между досками трала;
 P_3 – вероятность захвата рыбы по трассе траления;
 P_4 – вероятность попадания рыбы между крыльями трала;
 P_5 – вероятность попадания рыбы в устье трала;
 P_6 – вероятность попадания рыбы в зону, облавливаемую мелкоячейной частью;
 P_7 – вероятность удержания рыбы в трале при тралении;
 P_8 – вероятность удержания рыбы сетной оболочкой мешка трала;
 P_9 – вероятность удержания рыбы в трале при его подъеме;
 P_{10} – вероятность удержания рыбы в трале за интервал времени t_k от момента входа последней стаи до начала подъема трала [142].

Ю.В. Кадильников в своих работах [142, 143] представил довольно сложную методику для оценки «полной уловистости» трала, хотя и подробно математически описал алгоритм расчета для каждого элемента коэффициента уловистости. Эти элементы представляют собой вероятности попадания рыбы в определенную зону траловой рыбо-

ловной системы [142]. Но даже при таком подходе данный алгоритм расчета является неточным, так как в формулах используется большое количество параметров, представляющих случайные величины, значения которых могут находиться в широком диапазоне и должны быть получены в ходе натуральных экспериментов. Так, например, расположение рыб в движущейся стае рассчитывается как математическое ожидание расстояния от какого-либо промыслового объекта до ближайшего к нему случайного такого же промыслового объекта, то есть данная величина является гипотетической и не отражает естественной картины распределения рыб. Что касается средней плотности рыб в стаях, то эта величина должна рассчитываться отдельно для каждого траления с помощью гидроакустической аппаратуры. Так же большое значение имеет дальность реакции рыбы, так как положение скопления объекта лова по отношению к тралу меняется от момента обнаружения орудия лова рыбой до момента попадания ее в улов.

Таким образом, использование большого количества переменных, входящих в состав формул расчета вероятностей ($P_1 \dots P_{10}$), не только усложняет вычисление, но и приводит к увеличению числа погрешностей и уменьшению достоверности полного коэффициента уловистости.

В большинстве иностранных исследований, посвященных динамике запасов водных биоресурсов, коэффициент уловистости не рассматривается как самостоятельный объект изучения, а используется в качестве параметра в моделях вылова, где, как правило, предполагается постоянной величиной. Такое допущение существенно влияет на точность и надежность этих моделей. Данная проблема активно обсуждается в научной литературе и вызывает значительные затруднения у специалистов, занимающихся вопросами рыболовства. Коэффициент уловистости не является постоянной величиной, а демонстрирует значительную изменчивость, причем источники и степень этой изменчивости варьируются в зависимости от характеристик эксплуатируемой популяции. Как отметил W.E. Ricker: «изменчивость коэффициента уловистости, вероятно, представляет собой наиболее значительный источник ошибок в моделях, основанных на показателе улова на единицу усилия (CPUE) при условии постоянной уловистости» [148].

Одной из первых моделей, включающей параметр уловистости, была оценка размера популяции в замкнутой системе [149]. В данной модели предполагалось, что показатель улова на единицу усилия (U) является индексом плотности популяции:

$$U(t) = q(N_0 - C_c(t)) , \quad (1.50)$$

где $U(t)$ – улов на единицу усилия в момент времени (t);

q – коэффициент уловистости;

N_0 – начальная численность популяции;

$C_c(t)$ – совокупный улов в момент времени (t).

Таким образом, уловистость (q) определяется как доля численности особей в момент времени (t) относительно оставшейся части популяции после изъятия некоторого количества особей ($C_c(t)$). В данном контексте уловистость является функцией плотности популяции:

$$q = U(t)/(N_0 - C_c(t)) , \quad (1.51)$$

Схожее уравнение, разработанное De Lury [150], описывает динамику численности популяции как функцию накопленного промыслового усилия:

$$U(t) = qN_0(N(t)/N_0) , \quad (1.52)$$

где $N(t)$ – представляет численность популяции в момент времени (t).

Поскольку доля запаса, изымаемая за одно промысловое усилие, является незначительной, выражение в правой части уравнения, автор предлагает использовать для описания доли запаса, остающегося после приложения промыслового усилия:

$$U(t) = qN_0(e^{-qE_c t}) , \quad (1.53)$$

где E_c – совокупное рыболовное усилие за время (t).

Исходя из вышеприведенной формулы (1.53) коэффициент уловистости равен:

$$q = U(t)/N_0(e^{-qE_c t}) , \quad (1.54)$$

В работе J.E. Paloheimo [151] коэффициент уловистости интерпретируется как изменение численности рыб за единицу времени и единицу промыслового усилия. В дан-

ном случае она является прямым измерением промысловой смертности за одно промысловое усилие:

$$q = (Z(t) - M)/E(t) , \quad (1.55)$$

где $Z(t)$ – мгновенный коэффициент общей смертности;

M – мгновенный коэффициент естественной смертности (предполагаемый постоянным);

$E(t)$ – промысловое усилие.

Для оценки уловистости некоторые зарубежные ученые использовали метод мечения или маркировки, представляющий собой учет процента вылова помеченных гидробионтов [152–154]. D.G. Chapman в своей работе по оценке параметров популяции [152] приводит следующую формулу коэффициента уловистости:

$$\lambda = \sum_{i=1}^k t_i / \sum_{i=1}^k f_i T_i , \quad (1.56)$$

где t_i – пойманная помеченная рыба за период времени i ;

T_i – все помеченные рыбы за период времени i ;

f_i – промысловое усилие за период времени i .

Метод мечения весьма труден в использовании, так как требует большого количества меченных рыб и высокой интенсивности промысла. Этот метод предполагает, что меченые и немеченые особи имеют одинаковую вероятность быть пойманными. Однако на практике это может быть не так. Например, меченые особи могут быть менее доступны для повторного отлова сразу после мечения из-за стресса или изменений в поведении (это называется «ошибка типа С», как упоминается в статье). Это делает оценку коэффициента уловистости ненадежной.

В.А. Megrey в своей работе [155] использует аддитивную модель, в которой коэффициент уловистости зависит от совокупных факторов: размера рыбы, структуры и плотности популяции, объема промысла:

$$q(a, t) = f(a, t, s(a), N(a, t, E))^{\varphi} E(t)^{\delta} , \quad (1.57)$$

где a – возраст рыбы, определяемый на основе биологических данных;

t – время за которое определяется q ;

$s(a)$ – коэффициент селективности для возрастного класса рыбы, который отражает вероятность того, что рыба определенного возраста будет поймана данным орудием лова;

$N(a, t, E)$ – численность (количество) возрастного класса a в момент времени t при заданном рыболовном усилии E ;

$E(t)$ – эффективное рыболовное усилие в момент времени t ;

δ – коэффициент плотности популяции;

φ – коэффициент насыщенности орудия лова. Насыщение происходит, когда орудие лова достигает максимальной эффективности и дальнейшее увеличение усилий не приводит к пропорциональному увеличению улова. Это связано с тем, что орудие лова физически не может поймать больше рыбы, чем его вместимость или пропускная способность.

В одних работах коэффициент уловистости оценивался для каждого размерного класса в определенный промежуток времени [156, 157], в других исследованиях использовались зависящие от времени коэффициенты уловистости, учитывающие сезонное и межгодовое изменение уловистости [158].

Уловистость, зависящая от плотности и размера популяции наиболее изучена у пелагических рыб семейства *Clupeidae* [159–161], где уловистость обратно пропорциональна размеру запаса.

В рассмотренных выше работах представители «механистического» подхода делали акцент на возможность выявления скрытых параметров и связей, заложенных в формуле уловистости трала (1.13) с различными факторами, влияющими на эффективность орудий лова. Различные допущения и введение ряда коэффициентов, таких как: «коэффициент захвата», «коэффициент управляющего воздействия», количество особей среагировавших на трал, и т.д. приводят к тому, что вычисление их каким-либо адекватным и верифицированным способом не представляется возможным. Наличие этих параметров (коэффициентов) в формулах расчета коэффициента уловистости приводят к погрешности. Такой подход в изучении улавливающей способности трала является не полноценным, т.к. рыба при этом рассматривается в качестве неодушевленного предмета, инертно плавающего в толще воды.

1.2.2 Поведенческий подход к определению коэффициента уловистости

Научный прогресс и развитие техники позволили внедрять в практику отечественных рыбохозяйственных исследований методы подводного инструментального изучения. Применение различного рода подводной техники — от легководолазной до автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) и подводных научно-исследовательских лабораторий — позволило расширить горизонт знаний о поведении рыб в толще воды и у дна, характеристиках скоплений (форма, размер, плотность), реакциях рыб на физические поля, взаимодействиях рыб с орудиями лова и т.д. Полученная информация дала возможность по-новому взглянуть на теорию уловистости и способствовала развитию так называемого «поведенческого» подхода в оценке коэффициента уловистости орудий лова.

Поведенческий подход основан на прямом сравнении улова с количеством рыб, находящихся в зоне облова и реализован с помощью технических средств, которые должны давать объективную информацию о плотности и составе рыбного скопления. Привязка метода подводных наблюдений к лову в пространстве и времени осуществлялась в основном двумя способами: 1) с помощью независимой одновременной буксировки трала и средства наблюдения (рисунок 1.5). В качестве средств наблюдения использовались обитаемые и необитаемые буксируемые подводные аппараты (БПА), [117, 119];

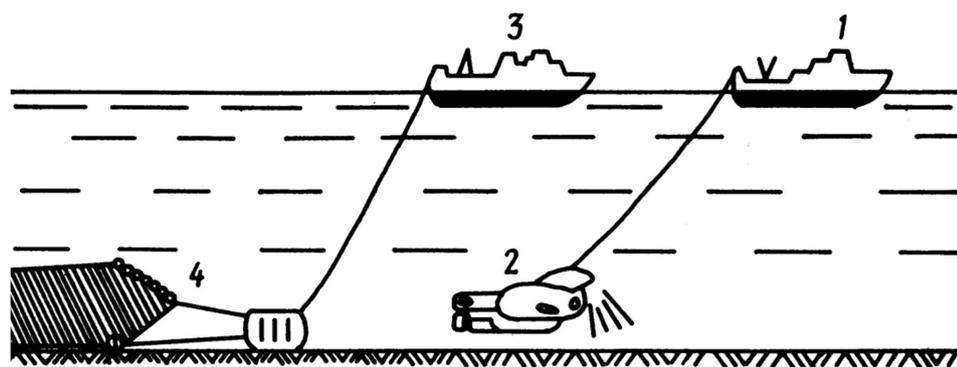


Рисунок 1.5 – Экспериментальная схема расположения судов при определении коэффициента уловистости трала: 1 – судно-носитель; 2 – буксируемый подводный аппарат (БПА); 3 – траулер; 4 – исследуемый трал

2) регистрирующая аппаратура (фото-, видео- и телевизионная аппаратура, гидро-акустические сканирующие устройства и др.) устанавливалась на элементах траловой системы (верхняя подбора, фальшподбора, ваера и т.п.) (рисунок 1.6) [162–164].

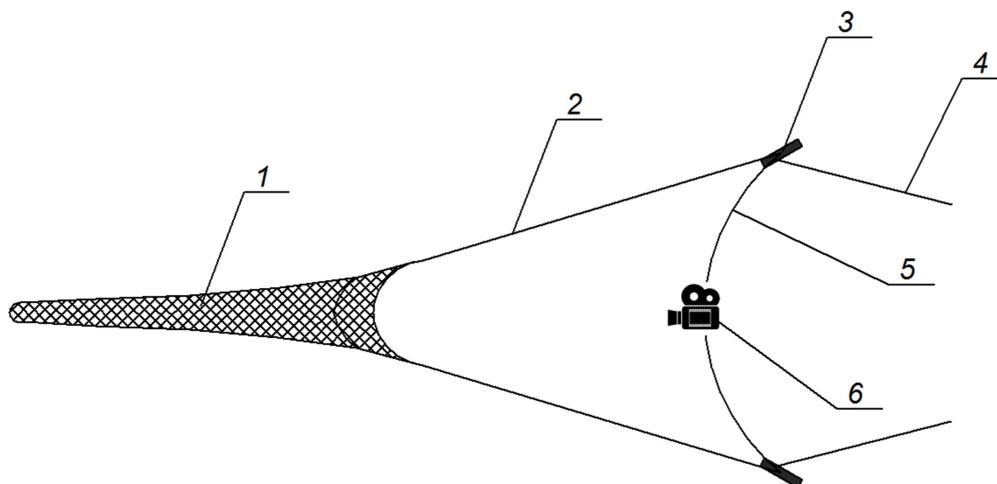


Рисунок 1.6 – Схема буксировки фотоавтомата на фальшподборе между траловыми досками:
1 – трал; 2 – кабель; 3 – траловая доска; 4 – ваер; 5 – фальшподбора; 6 – видеокамера

Значительный вклад в становление «поведенческого подхода» внесли такие ученые как В.К. Коротков, В.Н. Мартышевский, А.С. Кузьмина, М.Л. Заферман, Л.И. Серебров, Э.А. Карпенко, Ю.А. Изнанкин, В.Н. Мельников.

В.К. Коротков в процессе своих исследований установил, что: «уловистость трала зависит от большого числа взаимозависимых факторов и для всестороннего описания процесса облова рыб тралом потребовалась бы слишком громоздкая математическая модель, которая может потерять практическую значимость» [118].

Используя метод визуальной оценки плотности концентраций рыб с помощью подводных аппаратов (ПА) и погружных телевизионных систем, автор определил уловистость донного трала при облове донных и придонных видов рыб в промысловых районах северо-западной части Атлантического океана. При этом коэффициент уловистости трала определяется согласно классическому выражению Ф.И. Баранова [165]:

$$\alpha = \tilde{Q} / \bar{N} = \frac{\sum Q_i}{m} / \frac{\sum N_i}{m} = \frac{\sum Q_i}{\sum p_i \times W_i}, \quad (1.58)$$

где α – абсолютный коэффициент уловистости; \tilde{Q} – усредненный улов из серии выборок, шт.; \bar{N} – усредненное количество рыбы, находящееся в зоне облова трала за

цикл траления из серии выборок, шт.; m – количество зачетных тралений; Q_i – величина улова при i -ом тралении, шт.; N_i – количество рыбы, находящееся в зоне облова i -го траления, шт.; p_i – плотность концентрации рыб, в зоне облова при i -ом тралении, шт./м²; W_i – протраленная площадь дна при i -ом тралении, м².

По результатам подводных наблюдений, проводимых с помощью подводного аппарата «Атлант-1», В.К. Короткову и В.Н. Мартышевскому удалось получить сведения о работе движущегося трала и поведении рыбы вблизи него, что позволило определить уловистость (α) донного трала. При облове донных рыб значения α варьировались от 0,14 до 0,18, а придонных рыб – от 0,22 до 0,31 [166].

Ряд исследований с использованием техники подводного наблюдения (фотоавтомат, гидростат «Север-1», ПА «Север 2» и ПА «Тетис») были проведены в период с 1973 по 1981 гг. сотрудниками «Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии» («ПИНРО») М.Л. Заферманом, Л.И. Серебровым, Г.В. Попковым и др. [117, 119, 162]. Плотность естественного скопления перед тралом определяли по так называемой «визуально-геодезической» методике [167]. До траления наблюдатели определяли размеры просмотренного пространства дна или толщи воды, учитывая углы зрения, высоту над дном и скорость подводного аппарата, и отмечали встреченных на маршруте рыб в магнитофонной записи. После подъема аппарата подсчитывали число рыб каждого вида и плотность их концентрации в просмотренном пространстве, рассчитывали протраленную площадь дна или объем воды и число рыб на пути трала. Сравнивая это число с уловом, получали величину коэффициента уловистости. В ходе экспериментальных работ в Баренцевом море и Северо-Западной Атлантике учеными были определены коэффициенты уловистости донного трала по основным промысловым видам рыб – треске, черному палтусу, клюворылому окуню, камбалам, ершам и креветкам.

Полученные значения коэффициента уловистости (K_y) сильно варьировались, так, например, по данным исследований с помощью фотоавтомата, K_y трески составил 0,064, а при измерении с помощью ПА «Тетис» $K_y=0,233$ [117, 121]. Такие низкие значения K_y показывают, что трал во время экспериментов захватывал сравнительно небольшое количество рыбы, попавшей в его зону действия. Это можно объяснить с помощью представлений о взаимодействии рыбы с тралом, где главную роль играет скорость плавания рыбы и технических особенностей ПА. В проводимых экспериментах с участием ПА

«Север-2», «Тетис» (см. рисунок 1.5), скорость их движения ограничена и составляет 2-3 уз., при этом трал движется примерно с такой же или меньшей скоростью. Рыбы при таких же условиях могут развивать большую скорость и стремительно уходить в сторону, не попадая в трал. К тому же, ПА может оказывать воздействие на объекты наблюдения, создавая поля возмущения различной природы, воспринимаемые рыбой как раздражитель, который искажает реальную картину поведения гидробионтов. При измерениях с помощью фото и видеоаппаратуры (см. рисунок 1.6), из-за ограниченной видимости под водой, используются источники света (светильники, прожекторы), которые с высокой вероятностью могут влиять на объект лова, отпугивая его на больших расстояниях. В результате чего, рыба уходит из зоны наблюдения регистрирующей техники. Так, например, норвежские исследователи в хорошо поставленном эксперименте показали, что уловы палтуса при установке на трале видеокамеры снижаются на 30 % [168].

Таким образом, наблюдения за распределением и поведением рыб с помощью подводных устройств по схемам, представленным на рисунках 1.5 и 1.6, производятся в зоне, где уже происходит взаимодействие рыбы и орудия лова, то есть наблюдается искаженная информация о естественном распределении и плотности скоплений рыб, что и приводит к некорректной оценке значений K_y и оценки запаса рыб.

Понимая, неполноценность применяемой методики оценки уловистости донного трала, М.Л. Заферман предлагает использовать новую методологию [169], согласно которой, наиболее важными элементами для определения K_y является оценка степени концентрации рыбы досками и кабелями трала («фактор концентрации» – ФК) и процент рыб, уходящих из зоны облова. Под «фактором концентрации» М.Л. Заферман понимает: «коэффициент, показывающий увеличение плотности рыбного скопления в устье трала по сравнению с естественной его плотностью» [169]. Решать эту задачу ученый предлагает расчетным путем с использованием измеренных элементов поведения рыб: скорость плавания рыб, двигательная активность, ориентация особей во всех позициях съемки, процентное соотношение особей лежащих на грунте и плавающих. Так, например, для черного палтуса, относительное число рыб, избегающих поимки уходом под грунт составило – 36 %, а ФК составил 3,2 [170].

Но и этот подход не является верным. Как было отмечено выше по тексту, естественная плотность рыб должна измеряться не в зоне взаимодействия орудия лова с рыбой, а в зоне, где рыба не подвержена влиянию внешних раздражителей, которыми яв-

ляются траловая рыболовная система, подводный аппарат с регистрирующей техникой, судно, и создаваемые всеми этими элементами физические поля. K_y должен отражать, какую часть улов составляет от естественной, а не повышенной концентрации скопления рыб в устье трала.

Подводными наблюдениями установлено, что взаимодействие рыб с тралом – сложный процесс, обусловленный прежде всего характером реагирования рыб на орудие лова. Различия в поведении рыб разных возрастных групп, а тем более разных видов должны приводить к соответствующим различиям коэффициентов уловистости.

Возрастная дифференциальная уловистость трала, или уловистость по отношению к рыбам разной длины или возраста, впервые была экспериментально установлена в 1982 г. Э.А. Карпенко [171]. В своих исследованиях автор показывает, что: «размерные составы уловов и скоплений рыб существенно отличаются друг от друга, и это необходимо учитывать при анализе состава популяции объекта лова» [171, 172]. По Э.А. Карпенко: «уловистость орудия лова – это вероятность попадания промыслового объекта в зону действия орудия за определенное время его работы. Уловистость меняется на протяжении суток и сезона» [123]. Поэтому оценку уловистости, по мнению автора: «необходимо осуществлять либо по каждой промысловой операции, либо по осредненной величине из нескольких операций, либо по максимально полученной» [123].

На основе своих экспериментальных исследований поведения рыб при взаимодействии с элементами тралов [173] Э.А. Карпенко выявил особенности поведения скопления рыб в пелагическом трале в пространстве от устья до «критической зоны» и мешка трала и на основе этих данных предложил следующую формулу коэффициента уловистости (φ_i) [123]:

$$\varphi_i = \psi_{1i} \times \psi_{2i} \times \psi_{3i} \quad (1.59)$$

где ψ_{1i} – коэффициент «захвата»;

ψ_{2i} – коэффициент «удержания»;

ψ_{3i} – коэффициент «отсева» рыб из тралового мешка.

Коэффициент «захвата» (ψ_{1i}) Э.А. Карпенко определил как: «функцию максимальной скорости рыбы длиной l_i , скорости траления, размеров косяка, дистанции реагирования на детали орудия лова, раскрытий трала» [123] и выразил в виде формулы:

$$\psi_{1i} = \frac{2V}{V_{1i}} - 1, \quad (1.60)$$

где V – скорость траления;

V_{1i} – максимальная скорость рыбы длиной l_i .

По Э.А. Карпенко коэффициент «удержания» (ψ_{2i}): «является как функцией длины, вертикальной и горизонтальной скоростей перемещения рыб от сетного полотна к оси трала, высоты и ширины скопления в данном сечении оболочки трала, а также геометрических характеристик секций трала (раскрытий, шага ячеи, коэффициентов раскрытия ячеи, углов атаки сетного полотна)» [123] и определяется по формуле:

$$\psi_{2i} = \psi_{\Gamma} \times \psi_{\text{В}}, \quad (1.61)$$

где ψ_{Γ} и $\psi_{\text{В}}$ — коэффициенты удержания рыб в горизонтальной и вертикальной плоскостях трала соответственно. Эти коэффициенты Э.А. Карпенко предлагает определять как: «отношение площади горизонтальной (вертикальной) проекции трала от критического сечения до цилиндрического сечения кутка ко всей площади горизонтальной (вертикальной) проекции трала от нулевого сечения (по гужу) до сечения по кутку» [123].

$$\psi_{\Gamma} = [b_0 \exp\left(-\frac{V_{3j}}{V} \times \frac{x_j}{b_{j-1}}\right) + r] \times (L_{\text{тр}} - L_x) / (b_0 + d_p + r) \times L_{\text{тр}}, \quad (1.62)$$

$$\psi_{\text{В}} = [h_0 \exp\left(-\frac{V_{2j}}{V} \times x_{j-1}\right) + r] \times (L_{\text{тр}} - L_x) / (h_0 + d_p + r) \times L_{\text{тр}}, \quad (1.63)$$

где b_0 и h_0 – половина ширины и высоты косяка рыбы в устье трала соответственно; V_{2j} и V_{3j} – вертикальная и горизонтальная скорости перемещения рыбы от сетного полотна к оси трала при сжатии косяка соответственно; x_j – горизонтальное расстояние между сечениями трала; d_p – высота тела рыбы; r – дистанция реакции объекта лова на детали орудия лова; $L_{\text{тр}}$ – длина трала от главного сечения до мешка трала; L_x – длина трала от главного сечения до критического.

Коэффициент «отсева» рыб через ячейку аккумулирующей зоны трала (мешка) Э.А. Карпенко определяет по формуле [123]:

$$\psi_{3i} = 1 / (1 + \exp[l_{max} (l_{50\%} - l_i) / l_{min} \times a]) , \quad (1.64)$$

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

$$l_{50\%} = k_s \times B = 2a \times k_s , \quad (1.65)$$

где k_s – коэффициент селективности; B – внутренний размер ячеек.

Таким образом, Э.А. Карпенко представил алгоритм расчета уловистости орудия лова, но входящие в состав φ_i параметры изначально содержат в себе погрешность вычисления. Так, например, коэффициент селективности (k_s) – величина не постоянная, и должен определяться не только для каждого трала с учетом его оснастки, износа, материала из которого он изготовлен и др. влияющих факторов, но и отдельно для каждой промысловой операции. Нехватка верифицированных данных о максимальных скоростях рыб (V_{1i}) влияет на точность оценки коэффициента захвата ψ_{1i} . Параметры ψ_{Γ} и $\psi_{\text{В}}$, входящие в формулу коэффициента удержания ψ_{2i} , содержат в себе (формула 1.62 и 1.63) скоростные величины рыб (V_{2j} и V_{3j}), по которым имеется мало достоверной информации, а по некоторым видам рыб данные о скоростях совсем отсутствуют. Что касается дистанции реакции объекта лова на детали орудия лова (r), то этот параметр должен измеряться в экспериментальных условиях для каждого вида рыб применительно к определенному тралу и условиям лова. В итоге все эти недостатки ведут к усложнению методики оценки коэффициента уловистости и увеличению погрешности в вычислениях.

Иностранные представители «поведенческого» подхода в своих работах [174–177] выделяют следующие факторы, определяющие уловистость: 1) площадное и вертикальное распределение рыб по отношению к орудиям лова (естественное поведение рыб); 2) поведение рыб вблизи орудий лова; 3) селективные свойства орудий лова.

О.Р. Godø в своей работе [178] предлагает рассчитывать коэффициент уловистости по следующей формуле:

$$q = q_a \times q_e , \quad (1.66)$$

где q_a – коэффициент доступности рыбы для трала, представляет собой среднюю долю популяции в пределах досягаемости трала:

$$q_a = \frac{d_b}{d_{tot}} , \quad (1.67)$$

где d_b – скопление рыбы в слое траления, которое может быть поймано тралом;

d_{tot} – скопление рыбы, находящееся во всем слое воды;

q_e – коэффициент эффективности лова, показывает долю пойманной рыбы от d_b :

$$q_e = d/D , \quad (1.68)$$

где d – плотность скопления рыбы на площади траления, измеряемая по формуле:

$$d = \frac{C}{AS} = \frac{C}{DS \times t} , \quad (1.69)$$

где C – улов за траление;

AS – площадь траления, равная произведению расстояния между траловыми досками (DS) на время траления (t);

D – истинная плотность скопления рыбы, измеряемая с помощью подводной техники (подводные лодки, подводные камеры).

Некоторые авторы [179–181] связывали изменения уловистости с условиями окружающей среды (соленость и температура воды) и физиологическим состоянием гидробионтов (стадия зрелости, линьки и т.д.).

В статье японских исследователей [182] для определения коэффициента уловистости сайры использовали гидролокатор бокового обзора, с помощью которого в ходе эксперимента измеряли плотность скопления рыб и сравнивали ее с уловом. Схема эксперимента показана на рисунке 1.7.

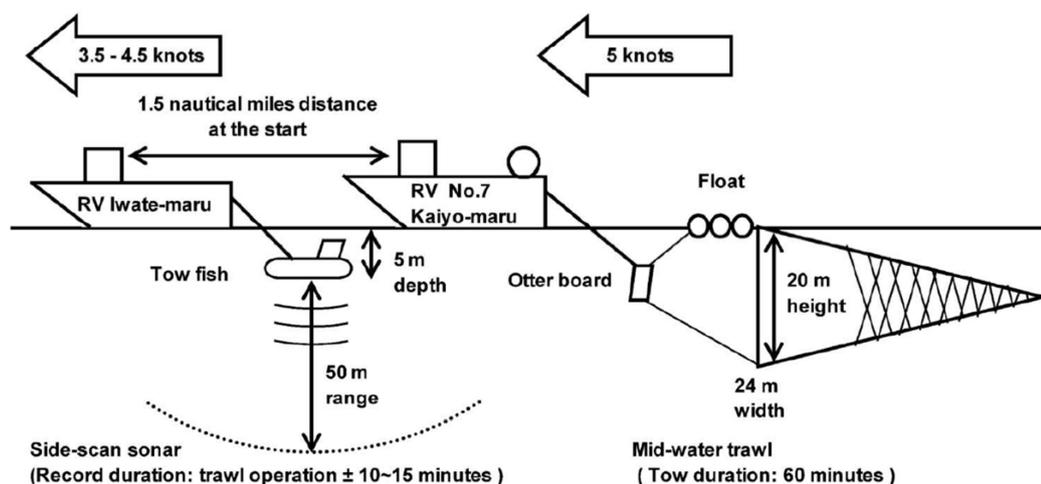


Рисунок 1.7 – Схема проведения эксперимента по оценке коэффициента уловистости пелагического трала на промысле сайры [182]

В эксперименте было задействовано два судна. Первое судно использовалось для буксировки платформы с установленным на нем гидролокатором бокового обзора (side-scan sonar (SSS)). Второе судно шло следом с тралом на расстоянии 1,5 мор. мили. Формула для расчета коэффициента уловистости выглядит следующим образом:

$$q = \frac{D_{Trawl}}{D_{SSS}} = \frac{N_{Trawl}}{S_{Trawl}} \times \frac{S_{SSS}}{N_{SSS}}, \quad (1.70)$$

где D_{Trawl} – плотность рыбы, пойманной тралом (количество рыбы на протраленную единицу площади);

D_{SSS} – плотность рыбы, оцененная с помощью бокового гидролокатора (SSS) (количество рыбы на единицу площади сканирования гидролокатором);

N_{Trawl} – количество рыбы, пойманной тралом (в штуках);

S_{Trawl} – площадь траления (в квадратных метрах), равная произведению дистанции, пройденной во время траления на горизонтальное раскрытие трала;

S_{SSS} – площадь сканирования гидролокатором (в квадратных метрах), равная произведению дистанции, пройденной во время траления на ширину сканирования гидролокатора (в статье 100 метров – по 50 метров на каждую сторону от судна);

N_{SSS} – количество рыбы, оцененное с помощью бокового гидролокатора (в штуках).

Предложенная методика обладает определенными ограничениями, что подчеркивается самими авторами. Полученные значения плотности рыбных скоплений, зафиксированные с помощью гидролокатора бокового обзора, могут быть систематически заниже-

ны вследствие специфики функционирования оборудования и поведенческих особенностей гидробионтов. Основными причинами недооценки являются: 1) вероятность нерегистрации отдельных особей, обусловленная их пространственной ориентацией или маскировкой на фоне акустических помех; 2) невозможность детектирования объектов, находящихся в поверхностном слое водной толщи, из-за наличия «мертвой зоны» (акустической тени) в рабочей области гидролокатора.

Рассмотренные методы «механистического» и «поведенческого» подходов оценки коэффициента уловистости, несмотря на большое число исследований в каждом направлении, имеют свои недостатки и далеки от совершенства. Представление исследователей о процессе лова и о роли тех или иных факторов поведения рыб в формировании тралового улова оказались существенно различными, соответственно столь же различаются и выведенные ими расчетные уравнения коэффициента уловистости. К тому же сильное влияние оказывает разная интерпретация авторами одних и тех же терминов описывающих уловистость орудия лова.

Обратимся к первоначальному определению коэффициента уловистости, которое предложил Ф.И. Баранов: «коэффициент уловистости – это отношение количества пойманных рыб к количеству, находящихся в зоне действия орудия лова» [90]. Большинство исследователей под термином «зона действия» подразумевало пространство, где уже происходит взаимодействие орудия лова с объектом лова, то есть наблюдается искаженная информация о распределении рыб. Но с точки зрения оценки рыбных запасов интерес представляет оценка скоплений рыб в состоянии их естественного распределения и плотности. Принимая это как методическую ошибку предыдущих инструментальных исследований, О.М. Лапшин уточнил формулировку коэффициента уловистости для тралов, предназначенных для выполнения учетных работ и корректного перехода от улова гидробионтов к оценкам их обилия: «коэффициент уловистости (K_y) – отношение количества пойманных рыб ко всему количеству рыб, находившихся на обловленной площади (в обловленном объеме) до начала воздействия орудия лова на облавливаемые скопления» [86]. По О.М. Лапшину: «зона действия – это зона, где будет происходить процесс лова» [86]. Придерживаясь такого подхода, О.М. Лапшин в своих исследованиях по определению коэффициента уловистости предлагает измерять плотность рыб не в зоне действия тралового комплекса, а перед ним (рисунок 1.8).

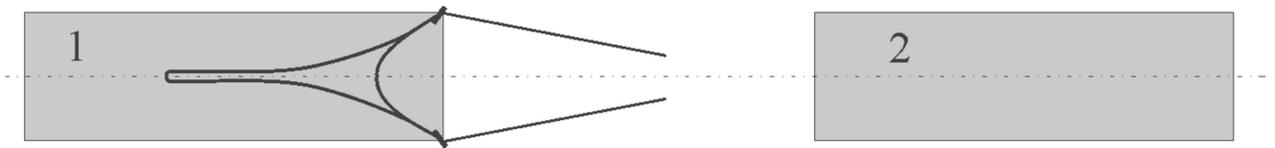


Рисунок 1.8 – Зоны действия учетного трала: 1 – традиционная; 2 – предложенная О.М. Лапшиным [86]

1.3 Выводы по главе 1

Основной проблемой ресурсных исследований остается невысокая точность применяемых методов количественных учетов рыбных запасов. Недостатком тралового метода является: «прерывистый характер съема данных, а также то, что расстояния между траловыми станциями значительно больше, чем дистанции тралений. При высокой неоднородности распределения рыбных скоплений степень пространственной неопределенности оценки их обилия может быть очень большой» [23]. Так, при высокой плотности объекта и быстрого наполнения трала, время траления значительно уменьшают (иногда до нескольких минут). Чтобы привести данные к стандартизированному улову на час траления, фактический улов увеличивают в несколько раз. Например, за 5 минут поймали 15 тонн, для того чтобы привести улов к стандартным единицам – улову на час траления, фактический улов нужно умножить на 12, что приводит к увеличению улова до 180 тонн на час траления. В конечном итоге, экстраполировав полученную величину улова на площадь, оператор может получить завышенные оценки запаса. С другой стороны по данным гидроакустического зондирования, это скопление могло иметь локальный характер и плотность за пределами участка траления гораздо меньше, вплоть до отсутствия на экране эхолота характерных акустических записей рыбы между траловыми станциями.

Несмотря на все достоинства гидроакустического метода, технология судовых эхоинтеграционных съемок с подкильным расположением антенн эхолота не учитывает эффекты влияния шумового поля судна на акустические оценки плотности рыб при его приближении. Поэтому при оценке обилия измеренные эхолотом плотности рыб необходимо, как будет показано ниже, соотносить с естественными концентрациями рыб за пределами зоны влияния судна.

Для корректного проведения предварительной оценки численности или биомассы необходимо знать улавливающую способность трала, применяемого при выполнении

учетных работ. Коэффициент уловистости используется в формулах расчета запасов рыб для учета поведенческих особенностей рыб, а так же технических характеристик орудия лова, и во многих случаях определяется экспертно.

В данной главе были описаны две группы методических подходов для определения коэффициента уловистости. Как видно из обзора, несмотря на большое число исследований в этом направлении, каждый из подходов имеет свои недостатки и далек от совершенства. Ни один из механистических методов оценки уловистости, как бы ни была сложна 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» [132]. А.И. Трещев был одним из первых, кто отошел от использования в формулах параметров («число среагировавших на трал рыб», «скорость их ухода от трала», «площадь отпугивания» и др.), которые не поддаются точному вычислению, и нашел решение в прямых инструментальных измерениях рыб, находящихся в обловленном объеме воды.

Коэффициент уловистости орудий лова не может быть постоянной величиной для рыб разных возрастных и размерных групп, также как и для разных по техническим характеристикам промысловых судов и орудий лова. Поэтому коэффициент уловистости необходимо определять инструментально для каждого вида рыб, его длины и физиологического состояния, района исследований и других условий.

Как отмечалось в нашем исследовании: «Существующие поведенческие методики оценки уловистости трала определяют количество рыб не в предполагаемой зоне действия трала, а непосредственно в «зоне облова» (в зоне взаимодействия траловых досок, кабелей, подборы с объектом лова), то есть оценивают только селективирующие и улавливающие свойства самого трала» [183]. На наш взгляд, более прогрессивным является поведенческий подход, согласно которому предлагается измерять плотность рыб не в зоне действия тралового комплекса, а перед ним. Но и этот способ определения коэффициента уловистости несовершенен, поскольку «не учитывает реакции рыб на акустическое поле судна, интенсивность которого намного выше, чем буксируемого им орудия лова» [184].

Точность методики оценки запасов рыб в первую очередь зависит от поведения объекта лова и его биологических особенностей, а уловистость орудия лова нужно рассматривать, прежде всего, как результат взаимодействия всех элементов рыболовного комплекса с объектом лова. При оценке запасов облавливаемые тралом или измеряемые эхолотом концентрации рыб должны быть соотнесены с концентрациями рыбы за пределами зоны влияния промысловой системы. Другими словами, определение обилия (оценка численности и биомассы рыб) должно проводиться при естественном распределении объекта исследования. Однако под влиянием внешних раздражителей (акустические, гидродинамические поля и др.), источником которых является судно и орудие лова, особенно на мелководье, концентрация рыбы в зоне облова и в луче эхолота оказывается меньше (часто в несколько раз), чем за пределами этой зоны. Таким образом, фактор поведения объекта лова должен стать неотъемлемой частью исследований, чему посвящена следующая глава данной диссертационной работы.

ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОВЕДЕНИЕ РЫБ И УЛОВИСТОСТЬ ТРАЛОВЫХ РЫБОЛОВНЫХ СИСТЕМ

В этой главе обобщаются данные об особенностях поведения рыб в различных зонах промысловой системы судно-трал, анализируются эффекты влияния шумового поля судна на поведение и оценки запасов рыб, уточняются методические погрешности оценки коэффициента уловистости и способы их устранения.

В настоящее время в рыбохозяйственных исследованиях широко распространены траловые и тралово-акустические съемки, в которых учетным орудием лова является трал. Информация о величине траловых уловов, видовом и размерном разнообразии пойманных им объектов лежит в основе методов оценки запасов гидробионтов.

Лов рыбы – это сложный избирательный (селективный) технологический процесс, результаты которого зависят от особенностей объекта лова (биология, поведение), технических и тактических параметров орудия лова (геометрия, оснастка) и параметров окружающей среды (гидрофизические и акустические характеристики морской среды). При системном подходе к изучению процесса формирования улова объект лова, трал с совокупностью технических средств (промысловые механизмы и приборы контроля), научное или промысловое судно образуют тесно связанные между собой элементы единой рыболовной системы «объект лова – судно – трал».

2.1 Определение «поведение рыб»

Первым из рассматриваемых элементов рыболовной системы является объект лова, который характеризуется его биологическими и поведенческими особенностями. Поведение является важнейшим звеном при оценке запасов рыб, оказывающим влияние на достоверность результатов съемки, поскольку от него зависит распределение, двигательная активность и скоростные характеристики объектов лова в пространстве относительно учетной рыболовной системы (учетного орудия лова и научно-исследовательского судна).

Основоположник науки о промышленном рыболовстве профессор Ф. И. Баранов писал: «Работа орудия лова тесно связана с особенностями объекта лова и его поведени-

ем. Поэтому, приступая к работе над проектом орудия лова той или иной рыбы, нужно, прежде всего, иметь данные об особенностях поведения этой рыбы» [90].

Поведение рыбы, как и любого другого животного, представляет собой совокупность реакций организма на внешние и внутренние стимулы. Реакция – это ответ организма на какое-то действие, вызванное стимулом. Под стимулом или раздражителем понимается все то, что вызывает наблюдаемую реакцию рыбы. Стимулами могут быть зрительные раздражители, звуки, изменения параметров среды обитания (влажность, температура и т.д.).

Обычно к понятию поведение относят довольно широкий круг реакций – широкий диапазон свойств животного, включая реакции, связанные с добыванием пищи, процессом нереста, оборонительным поведением на хищника, образованием и распадом стай, суточными вертикальными миграциями и т.п. [185]. Однако, при рассмотрении поведения рыбы в системе «судно-трал», в меньшей степени интересует вопрос функциональных последовательностей движения рыб (частота колебаний хвоста, изгиб тела, сила мышечных сокращений и т.д.) и деятельность отдельных рецепторов. В то же время наиболее важной является информация о пространственном перемещении рыбы относительно раздражителей: вид реакции, продолжительность и сила реакции, скорость и направление движения, дистанция реагирования на раздражитель и др.

Учитывая вышесказанное, под поведением рыб в составе промысловой системы «объект лова – судно – трал» понимается конечная совокупность двигательных актов в результате действия различных стимулов, возникающих при буксировке трала судном. Двигательные реакции рыб в рассматриваемой системе носят локальный, кратковременный характер и включают в себя реакции, связанные с оборонительным поведением на судно и орудие лова.

Поведение рыб определяется их биологическими особенностями и характеристиками раздражителей (качество и сила раздражителя).

К биологическим особенностям можно отнести видовые различия рыб, физиологическое состояние, размерные и возрастные особенности, плотность и структуру стаи. Так, например, из-за различий в сенсорных способностях и общей возбудимости разные виды рыб проявляют стайное защитное поведение на один и тот же раздражитель на разном от него расстоянии. По-разному реагируют голодные, накормленные или питающиеся рыбы, рыбы, находящиеся в преднерестовом состоянии, во время зимовки или

миграций, на отдыхе и т.п. Для правильного прогноза поведения облавливаемых рыб необходимо принимать во внимание все эти особенности объекта.

Характеристики раздражителей. Судно вместе с буксируемым тралом представляют собой сложную систему раздражителей разной интенсивности и модальности, способную влиять на поведение стайных рыб во время промысловой операции. Взаимодействие рыб с судном и тралом осуществляется в условиях влияния различных физических полей – акустических, гидродинамических, оптических. Основную роль в реакции рыб играет слуховое и зрительное восприятие рыбами этих полей. Причем, дальность слухового восприятия движущегося судна, по крайней мере, на порядок превышает дальность зрительного восприятия [185]. Поэтому именно звуковое поле судна следует рассматривать как наиболее важный фактор, стимулирующий ту или иную реакцию у скопления стайных рыб.

2.2 Шум судна – главный раздражающий фактор, влияющий на поведение объекта лова

Любое промысловое судно служит источником акустического поля, характеризующегося изрезанным спектром и направленностью. Спектр гидроакустических шумов большинства научно-исследовательских и промысловых судов занимает диапазон частот от нескольких герц до нескольких килогерц. Основная энергия шума сосредоточена в диапазоне частот до 1000 Гц, причем максимальный спектральный уровень шума наблюдается на частотах 10-500 Гц и существенно спадает на частотах выше 1000 Гц [186–189].

Основными источниками подводных шумов судна служат судовые двигатели, гребные винты, турбулентные потоки в пограничном слое при обтекании неровностей и шероховатостей поверхности корпуса, бортовых и основного килей, пера руля, колебания внутри судовых помещений (воздушный шум), а также вспомогательные промысловые и грузовые механизмы. Шумы судна передаются в воду и распространяются в ней на значительные расстояния [190–193]. Каждый из этих источников при различных режимах работы судна вносит определенный вклад в формирование акустического поля, воздействующего на поведение рыб. Для большинства судов наибольший шум на частотах до 50 кГц производится гребным винтом, главными судовыми двигателями и турбу-

лентными потоками. Источником инфразвуковых дискретных составляющих спектра шума ниже 20 Гц являются вращения гребного винта [194]. Другим известным источником низкочастотного шума (инфразвук и низкие звуковые частоты) является турбулентный шум, обусловленный пульсациями скорости и давления в турбулентном потоке при обтекании корпуса судна [195]. Шумы более высоких частот создаются совокупным излучением гребного винта, судовых двигателей и турбулентных потоков.

Согласно исследованиям отечественных и зарубежных ученых: «Максимум спектра энергии подводного шума, создаваемого различными судами, находится в частотном диапазоне слуха большинства видов рыб» [184, 185, 196–199]. Так же установлено, что: «уровни судового шума значительно превышают слуховые пороги рыб» [186, 187]. Это означает, что рыбы могут воспринимать шум судна на больших расстояниях.

Анализ литературных данных и собственные исследования позволили установить, что гидроакустический шум вызывает у рыб так называемую «реакцию избегания» [33, 165, 186, 187, 199–204]. Под термином «реакция избегания» понимается «реакция рыб, сопровождаемая стремлением минимизировать шумовое поле судна, то есть уходом рыб с траектории движения судна, рассеянием и (или) заглублением стай» [184, 188, 189, 204].

Измерить «реакцию избегания» можно с помощью «дистанции реагирования» рыб. Резюмируя материалы зарубежных и отечественных исследований, затрагивающих вопрос о «дистанциях реагирования» рыб на шум судна [165, 186, 205, 206, 207], а также основываясь на своих исследованиях, М.Ю. Кузнецов делает следующие выводы:

«1) дистанция реагирования рыб на шум судна существенно варьирует от 40 до 500 и более метров (чаще от 100 до 200 м);

2) дистанция реагирования зависит от вида (слуховых способностей рыб), времени суток, сезона (физиологического состояния рыб), типа судна (уровня шума) и условий окружающей среды;

3) движение рыб в направлении от судна при его приближении значительно снижает вероятность попадания этих рыб в зону облова, что отрицательно сказывается на траловых уловах;

4) наличие избегающей реакции и, как следствие, пространственно-временная изменчивость естественного распределения рыб могут оказывать существенное влияние на оценки запасов рыб, выполняемые научно-исследовательскими судами;

5) более взрослые (крупные) рыбы сильнее реагируют на акустические раздражители, чем их молодь, что может оказывать значительное селективирующее влияние при изучении смешанных скоплений рыб разных видов и размерных групп, имеющих, к тому же, различные энергетические возможности (скорости плавания) и локомоции.

6) Поскольку вся система расчетов как акустического, так и тралового метода, в конечном счете, опирается на анализ тралового улова, его искажение в результате действия шума также может служить источником погрешности оценки запасов» [184, 188, 196, 208].

Характерный пример того, с какой погрешностью рыбохозяйственная наука и промысловики судят о биомассе промыслового запаса по уловам на промысловое усилие, можно видеть по изменению плотности скоплений рыб в зоне траления. Рисунок 2.1 иллюстрирует изменение формы, размеров и плотности скопления минтая в пространстве перед судном, под килем судна и в зоне траления. Отчетливо видно «приседание» минтая при подходе судна к точке регистрации, его последующее рассеяние в шумовом поле гребного винта и восстановление плотности после прохода трала.

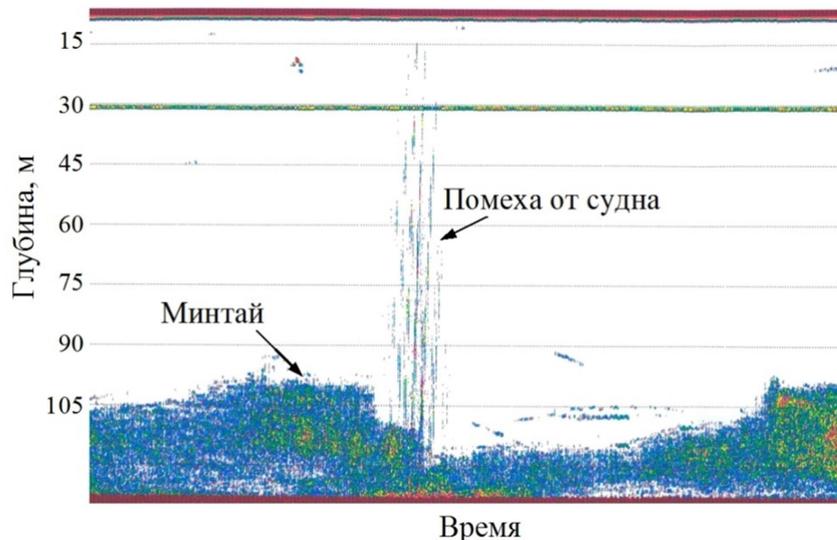


Рисунок 2.1 – Реакция скопления минтая на шумовое поле крупнотоннажного рыбопромыслового судна

Даже неподвижное судно с работающими на борту механизмами является интенсивным источником шума [23, 191, 209], и этот шум также отрицательно влияет на картину распределения скоплений рыб. Пример такого влияния представлен на рисунке 2.2. На данной эхограмме показана реакция заглубления и рассеяния минтая во время запуска главного судового двигателя. Реакция проявляется в изменении средневзвешенного

горизонта залегания (СГЗ) и рассеянии (уменьшении плотности) скопления рыб под судном, которые заметны на эхограмме даже визуально. При фоновом режиме, когда судно находилось в дрейфе, и главный двигатель был выключен, СГЗ минтая составлял 90 м. После запуска главного двигателя, скопление минтая проявило реакцию на шумовой раздражитель – рыба опустилась на глубину до 120 м.

Помимо акустического поля судна к общему шумовому фону промысловой системы судно-трал добавляются еще акустическое и гидродинамическое поле трала. В своей работе, посвященной, в том числе, влиянию интенсивных гидроакустических полей на ихтиофауну, Ф.А. Халиулов писал: «Гидроакустическое поле сетных орудий лова зависит от размеров, формы, расположения и скорости движения отдельных элементов орудий лова относительно потока и поверхностей раздела сред. Главным образом гидроакустическое поле образуется совокупностью шумов различной физической природы: гидродинамических, как результат срыва вихрей с поверхности обтекаемого тела, шумов, возникающих при движении элементов орудий лова по грунту, при трении элементов орудий лова друг об друга, при их колебательном движении и вибрациях» [210].

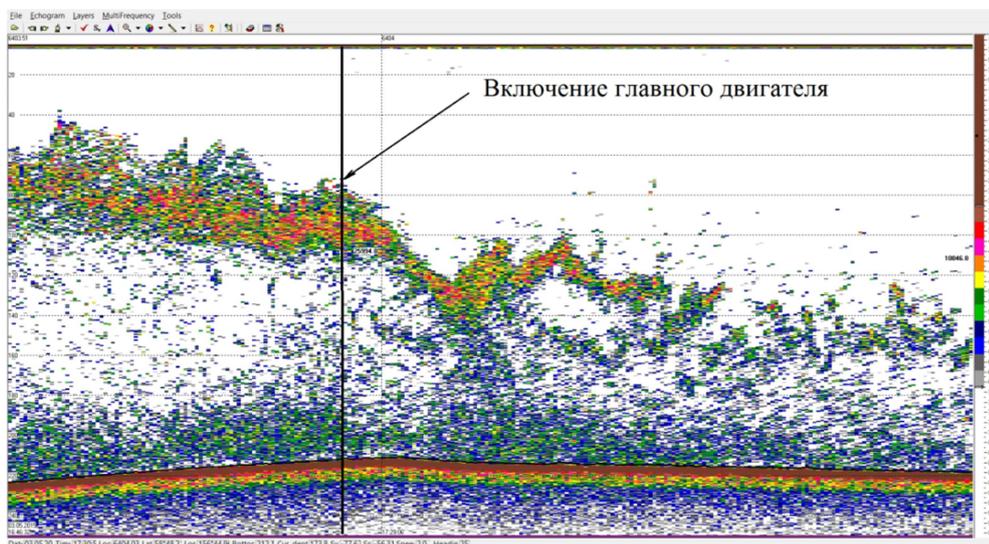


Рисунок 2.2 – Пример реакции минтая на шумовое поле НИС «Профессор Кагановский», май 2015 г.

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 определении коэффициента уловистости учетного орудия лова корректнее говорить о коэффициенте уловистости учетной промысловой системы «судно-трал», поскольку рыбы взаимодействуют не только с орудиями

ем лова, но и с судном, акустическое поле которого намного интенсивнее, чем буксируемого им трала.

2.3 Зоны стереотипных поведенческих реакций рыбы в промысловой системе «судно – трал»

При оценке поведения рыб в промысловой системе «судно-трал» необходимо иметь в виду, что из-за больших габаритов системы и ограниченной видимости под водой исследователю не представляется возможным вести наблюдения за поведением объекта лова одновременно по всей системе. К тому же, как пишет в своей работе В.К. Коротков: «рыбы не в состоянии воспринимать трал в целом и реагировать на него как на единый раздражитель, а есть реакции рыб на отдельные элементы, с которыми они в данный момент контактируют» [118]. Поэтому, наблюдения проводятся по отдельным участкам, затем мозаично складывается общая картина поведения рыб в зоне действия промысловой системы «судно – трал». При этом зональное деление отражает особенности поведения рыб на элементы промысловой системы.

В настоящее время имеется большое число работ, посвященных вопросам поведения и распределения рыб в трале [138, 165, 211–222]. В исследованиях отражены многие аспекты взаимодействия рыбы с различными элементами тралового комплекса и показаны общие закономерности поведения рыб внутри трала.

Анализ литературных данных позволяет провести обобщение накопленной информации и выявить зоны стереотипных поведенческих реакций рыбы в промысловой системе «судно – трал». Выделение зон связано с определенными представлениями о процессе лова, границы и размеры зон зависят от реакции на определенный элемент системы. По воздействию на рыб элементов системы «судно-трал», водное пространство можно условно разделить на следующие зоны:

1 – пространство перед судном; 2 – пространство от судна до траловых досок; 3 – пространство от траловых досок до устья трала; 4 – зона уплотнения пространства; 5 – зона накопления и формирования улова в траловом мешке (рисунок 2.3).

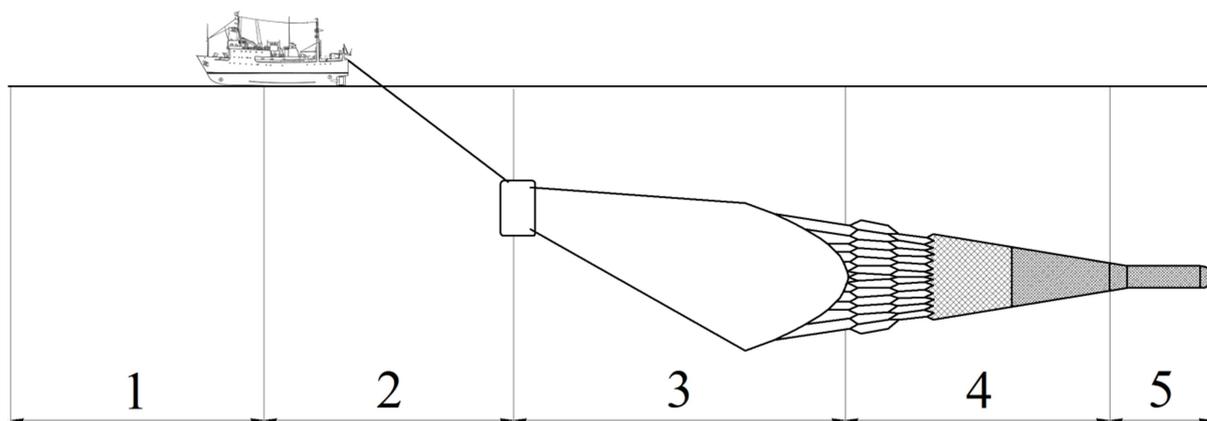


Рисунок 2.3 – Схематическое деление водного пространства на зоны взаимодействия рыбы с системой «судно-трал»

Пространство перед судном (зона №1).

Большинство исследователей рассматривало поведение рыб в зоне действия траловой рыболовной системы без включения в неё такого важного элемента как судно, что не дает полной картины понимания вопроса о реакции рыб на акустическое поле судна. В нашем исследовании использование гидроакустической аппаратуры позволило расширить зону исследований, включив в нее информацию о поведении рыбы в зоне действия акустического поля судна.

В пространстве перед судном поведение объекта лова обусловлено в основном влиянием на рыбу акустических и гидродинамических полей судна. Чувствительность слуховых рецепторов рыб позволяет им воспринимать акустическое поле судна задолго до его подхода [8, 184].

Реакция рыб на шум судна во многом сходна с их оборонительной реакцией на приближение хищника [184, 202, 223–225]. Анализ результатов многочисленных исследований позволил выявить ряд общих тенденций и различий в реакциях рыб различных этологических групп [9, 201, 223, 225–232]. Реакция рыб на звуки, создаваемые приближающимся судном и орудием лова, формируются по общей схеме, но различаются по интенсивности, доминирующему направлению и скорости. Особенности поведения промысловых рыб в поле шумов, создаваемых судном, могут зависеть не только от объективных слуховых способностей, но и от физиологического состояния рыб.

Анализ литературных данных, а также проводимые нами исследования позволили выявить, что: «двигательная реакция начинается, когда звуковое давление стимула на

частотах повышенной слуховой чувствительности данного вида рыб превышает заданный порог реакции» [184, 199, 204].

М.Ю. Кузнецов в своих исследованиях по реакции промысловых рыб на шумы судов выделяет три фазы реакции [184, 199]:

– «*Первая фаза реакции* – увеличение двигательной активности рыб. За счет нарастания уровня звукового давления шума объект (рыба) приходит в возбуждение: становится выше плотность скопления, растет скорость движения рыб, особи совершают быстрые беспорядочные перемещения внутри косяка или стаи. Причина таких движений в том, что рыбы слышат звук, реагируют на него, но не могут определить направление прихода звуковой волны. В период возбуждения отсутствует единая ориентация рыб в стаях, а сами стаи характеризуются высокой маневренностью» [184].

– «*Вторая фаза реакции* – реакция избегания, проявляется на дистанциях, при которых рыбы могут определить направление на источник шума. Рыбы способны локализовать источник звука, когда превышение сигнала над фоном (пороговым шумом) составит не менее 10 дБ. Движение рыб в этой фазе осуществляется в направлении, противоположном градиенту звукового давления шума, создаваемого судном. Характерным признаком второй фазы реакции является параллельная ориентация (поляризация) особей, что вызывает дополнительное уплотнение стаи или косяка и скоординированное перемещение поляризованных рыб из области с высокой интенсивностью звука [184, 199].

– «*Третья фаза реакции*. При попадании в ближнее акустическое поле судна происходит воздействие звуковой волны на слуховые рецепторы рыб. Рыбы получают дополнительный импульс возбуждения и отвечают более сильной направленной реакцией избегания, которая происходит на очень близком расстоянии от судна, примерно равном длине волны (на частоте 100 Гц длина волны составляет около 15 м). В этой фазе рыбы реагируют отчетливым боковым и вертикальным движением в стороны от корпуса судна, а скорость движения рыб близка к бросковой» [184].

Пространство от судна до траловых досок (зона №2).

Рассматриваемая зона включает в себя пространство между акустической осью антенны судна и траловыми досками. Поведение объекта в этой зоне определяется реакцией на гребной винт судна, кильватерную струю, ваера, траловые доски.

Гребной винт. Из элементов судна, являющихся источниками акустических колебаний, наибольший шум создает винт судна [191, 192]. Гребной винт судна является сильным источником высокоинтенсивного шума. При движении лопастей винта сквозь толщу воды образуются области низкого давления, формирующие завихрения водного потока вокруг винта и за ним. Чем больше частота вращения винта, тем ярче проявляется эффект кавитации – при низком давлении происходит испарение воды с образованием маленьких пузырьков газа. Пузырьки, попадая в область повышенного давления, лопаются – процесс сопровождается интенсивным шумообразованием [189, 233].

После прохода кормовой частью судна над скоплением, шум винта и создаваемый им возмущенный (кавитационный) слой воды воздействуют на органы слуха рыб и боковую линию, вследствие чего рыба предьявляет оборонительную реакцию заглубления.

Ваера. Вибрация ваеров вызывает звуки относительно низких частот (4-8 Гц), на которые рыба демонстрирует реакцию испуга [234]. С помощью боковой линии рыба определяет местонахождение источника вибрации (направление на источник звука) и уходит от него в сторону при приближении. Особей, находящихся в дисперсном состоянии в зоне действия ваеров можно разделить на рыб, которые избегая ваера, попадут в зону облова трала, и рыб, остающихся вне этой зоны. Плотные скопления рыб ведут себя иначе. Вся рыба, обладая большей подвижностью, стремится уйти в ту сторону от ваера, с которой была расположена головная часть стаи [216].

Траловые доски. Наблюдения за двигательными реакциями на траловую доску показали, что у всех видов рыб наблюдается оборонительная реакция, сопровождаемая уходом от нее как в зону облова трала, так и за ее пределы. Дистанция проявления реакции зависит от видимости под водой, степени контрастности доски с фоном и вида рыб. При движении рыбного скопления прямо на доску, при встрече происходит его «обтекание» и разделение, как это имеет место при встрече рыб с хищником [235].

Пространство от траловых досок до устья трала (зона №3).

Эту зону еще называют зоной *спугивания* [218]. Назначение зоны спугивания – задать первоначальное направление косяку рыбы, расположенному на пути движения трала. Поведение объекта здесь определяется реакцией на кабели, вихревые шлейфы, крылья, оснастку и сетное полотно в устьевой части трала, то есть эта зона оказывает влияние на поведение рыбы вблизи входного отверстия трала.

В пространстве от досок до устья рыба ориентируется относительно свободно, двигаясь прямолинейно или пологими исследовательскими галсами, до образования сплошного скопления с минимальной дистанцией между особями. Граница сплошного скопления, характеризующая начало смежной зоны уплотнения, постоянно перемещается по длине трала, обычно в пределах мотенной части. При интенсивном поступлении облавливаемых косяков граница зоны спугивания смещается к устью, а при медленном – в сторону мешка трала. В зоне спугивания рыба держится мелкими косяками или одиночными экземплярами, перемещающимися в различных направлениях в зависимости от обстановки.

Кабели. Реакцией рыб, вблизи линии кабелей в процессе облова тралом, заключается в отпугивании их с пути движения кабелей и концентрирование объекта лова перед устьевой частью трала.

В процессе траления происходит облов одновременно разных видов и размеров, которые на один и тот же раздражитель реагируют по-разному. Более крупные особи одного вида реагируют на кабели более активно, нежели мелкие особи [236–238]. Это указывает, что линия кабелей обладает далеко не одинаковой видовой и размерной селективностью. Отмечается еще одна особенность в поведении рыб, что по мере продвижения их от траловой доски к крылу трала они в какой-то степени адаптируются. Очевидно, это происходит по причине, что в результате многократного контакта рыбы с линией кабелей у нее снижается острота восприятия раздражителя или происходит ее физическая усталость.

Устьевая часть трала. Под термином «устье» подразумевается сечение трала плоскостью, перпендикулярной направлению его движения и проходящей по гужу верхней подборы. При приближении к устью не происходит резкого изменения направления движения рыбы. Это справедливо в тех случаях, когда устье достаточно велико и малозаметно. Таким образом, рыба, не меняя движения, входит в устье, не чувствуя «ограничения пространства». Однако, это справедливо только для небольших стаек, которые по сравнению с устьем трала могут рассматриваться как точечный объект. Стаи, имеющие значительный объем, равный или превышающий в сечении площадь устья, реагируют на его приближение иначе, совершая активные горизонтальные и вертикальные перемещения вблизи его границ [214, 239, 240].

В устьевой части трала также наблюдается уплотнение рыбы. Скопления, обитающие в пелагиали, при подходе трала реагируют на него и, оказавшись в устьевой части, бывают более сконцентрированы [165]. Образование более компактных стай можно характеризовать как проявление оборонительной реакции на канатное полотно [238]. Характер поведения подвижных пелагических рыб в устьевой части во многом зависит от габаритов облавливаемых стай. При облове сравнительно мелких стай наблюдается уход их от канатной оболочки и концентрирование в центральной части устья. Крупные локальные стаи ведут себя в устьевой части более активно, совершают быстрые перемещения вбок или вниз. Вероятность захвата их устьевой частью значительно ниже, нежели мелких стай.

Зона уплотнения пространства (зона №4).

Эта зона обычно соответствует мотенной части трала. Целевое назначение мотенной части – направить рыбу, сконцентрированную перед тралом и захваченную устьевой частью, в траловый мешок.

В.К. Коротков, изучая поведение рыб в этой части трала, пишет следующее: «Поведение пелагических рыб во многом зависит от размера облавливаемой стаи. Если облавливается небольшая стая, то в начале мотенной части рыбы не проявляют особого беспокойства. В конце мотенной части у всех рыб появляется повышенная двигательная активность, нарушается чувство стайности, то есть стая «рассыпается». Часть рыб проходит в траловый мешок, часть выходит через ячеи дели, большая часть стаи переориентируется и плывет в направлении траления» [118].

Относительно спокойное движение рыбы по тралу происходит лишь до определенной точки или, точнее, зоны, положение которой зависит от условий прозрачности. Речь идет о зоне сужения мотни, иными словами, о «зоне критического ограничения пространства», в которой поведение рыбы резко меняется [166]. Уменьшение диаметра сетного конуса рыбы оценивают как опасность, и ориентировочная реакция уже переходит в оборонительную реакцию. Происходит активная деятельность рыбы, направленная на избегание опасности – рыба останавливается, разворачивается и начинает движение уже в противоположную сторону, по ходу траления, несколько продвигаясь вперед или отставая. Постепенно движение рыбы в трале стабилизируется, и она может значительное время идти вместе с ним без признаков усталости. Как правило, большинство рыб успешно совершает маневр поворота. Однако часть из них, останавливаясь на более

продолжительное время, теряет ориентировку в условиях ограниченного пространства и, не успевая развернуться, подхватывается тралом [173, 241]. У некоторых рыб при тактильном контакте с делью возникает вспышка двигательной активности, выражающаяся в бросках и метании, при которых рыба нередко выходит через дель из трала.

Наряду с этим большое количество рыб в этой зоне трала вообще не делает никаких попыток выйти из него, а подходит, ориентируясь головой против движения трала. Достигая последней пластины мотни и конусной части тралового мешка, рыба начинает метаться в направлении сетных стенок, стараясь выйти наружу через ячею.

Зона накопления и формирования улова в траловом мешке (зона №5).

Основное назначение тралового мешка – аккумулялировать улов. В этой части трала наблюдается два типа поведения рыб. Если рыбы входят в траловый мешок головой вперед, то они очень быстро проскакивают в его кутковую часть. Если же рыбы ориентированы по ходу траления, то в зависимости от вида, размера рыб и скорости траления они могут продолжительное время плыть внутри мешка. По мере увеличения времени траления количество плывущих в мешке рыб возрастает. Ослабевшие особи скатываются в кутковую часть и концентрируются там. Почти вся рыба, попавшая в кутковую часть, уже лишена возможности активно сопротивляться. Она подхватывается мощным круговоротом воды и образует бурлящую водорыбную массу. Плотность этой массы по направлению к задней стенке кутка все увеличивается, рыбы вплотную прилегают одна к другой и лишены возможности двигаться [277].

2.4 Выводы по главе 2

Достоверность оценки запасов и результативность промысла во многом зависит от поведения рыб в зоне действия промысловой системы. Рассмотрев поведение рыб в различных частях промысловой системы судно–трал, следует отметить, что значительное влияние на конечную плотность рыб в зоне облова имеет ранее не учитываемая зона №1. Именно на этом участке определяется характер реакции и происходит первичная реакция рыб на промысловую систему судно–трал, главным образом – на шумовое поле судна.

Как упоминалось в наших исследованиях: «Изменение плотности рыбных скоплений на пути судна и искажение, таким образом, их естественного распределения созда-

ют возможность погрешности в эхоинтеграционных оценках рыбных запасов» [184]. Еще большая погрешность имеет место при траловой съемке, когда к акустическому полю судна добавляются акустическое и гидродинамическое поля гребного винта и самого трала.

«Вместе с тем, большинство работ, посвященных коэффициенту уловистости трала, описывают взаимодействие рыб и орудия лова, не принимая во внимание, что реакция рыб начинается задолго до зоны действия трала, а именно в шумовом поле судна. И в этом заключается методическая ошибка предыдущих измерений уловистости и эхоинтеграционной оценки запасов рыб, при которых не учитываются реакции рыб на акустическое поле судна, интенсивность которого намного выше, чем самого орудия лова» [21].

Для повышения достоверности оценки коэффициента уловистости траловых рыболовных систем и обилия рыб тралово-акустическим методом требуется выработать стратегию учета и компенсации избегательного поведения рыб в шумовом поле судна. Влияние шумов судна на поведение и распределение рыб должно быть минимизировано или учтено в виде поправок, компенсирующих потери энергии эхосигнала (коэффициента поверхностного рассеяния S_A) при эхоинтеграционной оценке запасов и изменения плотности рыб в протраленном объеме при определении уловистости трала [204].

Разработке методики инструментальных исследований и экспериментальной оценке коэффициента уловистости траловой учетной системы и реакции рыб на шумовое поле судна с использованием стационарных и мобильных средств эхолокации посвящена следующая глава диссертации.

ГЛАВА 3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Методика оценки коэффициента уловистости учетных тралов с использованием подкильного гидроакустического комплекса

В данной главе разрабатывается методика измерений и алгоритм расчета коэффициента уловистости учетных тралов с использованием судового (подкильного) гидроакустического комплекса.

Коэффициент уловистости трала можно определить с помощью теоретического расчета либо экспериментально. Теоретический способ расчета коэффициента уловистости показан в исследованиях представителей механистического подхода. Одни авторы в формулах для расчета коэффициента 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, коэффициент уловистости связывают с конструктивными элементами и параметрами движения траловой системы. Но ни один из методов теоретического расчета оценки коэффициента 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.

С другой стороны, существует достаточно простой и достоверный способ экспериментальной оценки коэффициента уловистости учетных траловых систем, основанный на измерении количества рыб в обловленной зоне с помощью различных технических средств регистрации и сравнении его с уловом. В большинстве случаев исследователи, использовавшие для наблюдений подводные аппараты и фото-видеометрические средства наблюдений, буксируемые вместе с тралом, оценивали рыб, расположенных в зоне облова, то есть в зоне, где уже происходило взаимодействие рыб и орудия лова [117, 119]. Как отмечалось ранее (в первой главе), для оценки запасов рыб данный подход не приемлем, так как происходит искажение естественного распределения и плотности рыб. Таким образом, количество рыб, находящееся на обловленной площади (в облов-

ленном объеме) должно измеряться в зоне предполагаемого прохода трала до начала реагирования рыб на приближающиеся его элементы, то есть впереди орудия лова.

Принимая во внимание вышесказанное, уравнение коэффициента уловистости применительно к учетным тралам выглядит следующим образом:

$$K_y = \frac{N_{\text{тр}}}{N}, \quad (3.1)$$

где $N_{\text{тр}}$ – количество рыб в улове; N – количество рыб, находившихся на обловленной площади (в обловленном объеме) до начала воздействия трала на облавливаемое скопление [86].

До недавнего времени вычисление параметра N 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.

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 [132]. Имеется опыт использования рыбопоисковых эхолотов SIMRAD и эхоинтеграторов 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 [114, 115, 121]. 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-видео фиксации [121]. Либо вводить дополнительные поправочные коэффициенты для компенсации акустической зоны тени эхолота в донном слое [242], что, однако, может стать дополнительным источником погрешности эхоинтеграционной оценки плотности рыб и улови-

стости донного трала. 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 [243]. Однако данный способ не устраняет полностью вышеуказанную погрешность, поскольку доски также являются элементами траловой системы, на которые рыба может реагировать (см. Глава 2).

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

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 накопления и передачи гидроакустических данных в оцифрованном виде в файлах известного формата, поддерживая, таким образом, возможность их последующей постпроцессорной обработки.

С другой стороны, 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 лаборатории промысловой гидроакустики Тихоокеанского филиала «ВНИРО» («ТИНРО») 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 чис-

ленности и биомассы гидробионтов в пределах выделенных для обработки слоев [34, 48].

Как было сказано выше, экспериментальный метод оценки уловистости учетных тралов состоит в инструментальном определении плотности скоплений рыб в обловленной зоне и сравнении ее с уловом трала. Работы включали эхоинтеграционные измерения плотности рыб в слое траления под судном (то есть до начала воздействия орудия лова) с помощью научного эхолота EK-60 SIMRAD и последующий пересчет фактического улова трала в эквивалентные акустические единицы плотности в протраленном (обловленном) объеме. Под обловленным объемом понимается трехмерная фигура, описанная формой устья трала при его прямолинейном движении [244]. Известно, что величина обловленного тралом объема воды существенно зависит от используемых для его расчета значений горизонтального и вертикального раскрытия и формы устья трала [245]. 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 [78, 245].

Схема и порядок измерений и расчета коэффициента уловистости представлена на рисунке 3.1.

Геометрические параметры трала (форма трала, вертикальное и горизонтальное раскрытие, глубина верхней подборы) в процессе траления регистрируются с помощью кабельной системы контроля трала FS20/25. Траловый блок системы содержит антенны вертикального и горизонтального обзора в полиуретановом корпусе и крепится на верхней подборе трала. Бортовой блок включает компьютер, блок питания (сопряжения) и монитор.

С помощью антенны вертикального обзора FS20 можно контролировать геометрию устья (профиль) трала, вертикальное и горизонтальное раскрытие трала, заход рыбы в трал, наблюдать отдельные цели, видеть расположение трала относительно грунта.

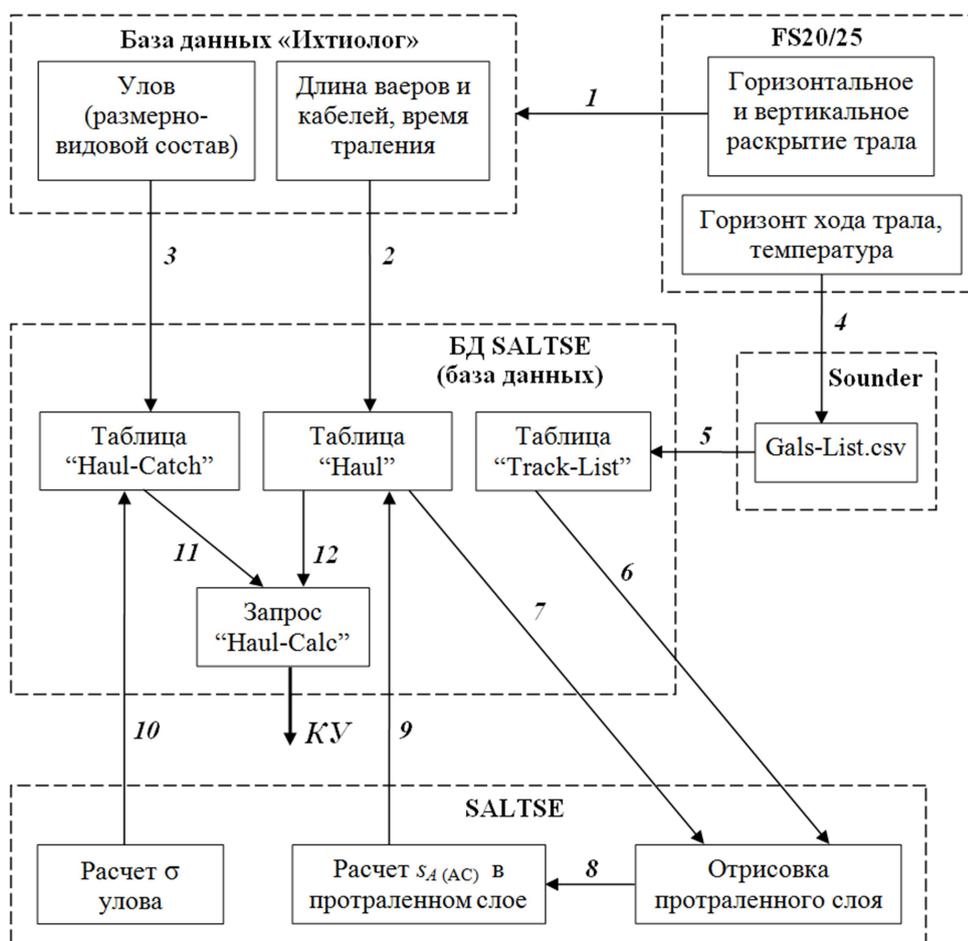


Рисунок 3.1 – Блок-схема измерения коэффициента уловистости (1-12 – выполняемые действия)

Антенна горизонтального обзора FS25 позволяет оценить распределение рыбы перед тралом, получать сведения о наполнении трала, вычислять расстояние между траловыми досками (рисунок 3.2). Программное обеспечение системы FS20/25 позволяет записывать в файлы и затем воспроизводить эхограммы профиля трала в реальном масштабе времени (рисунок 3.3).

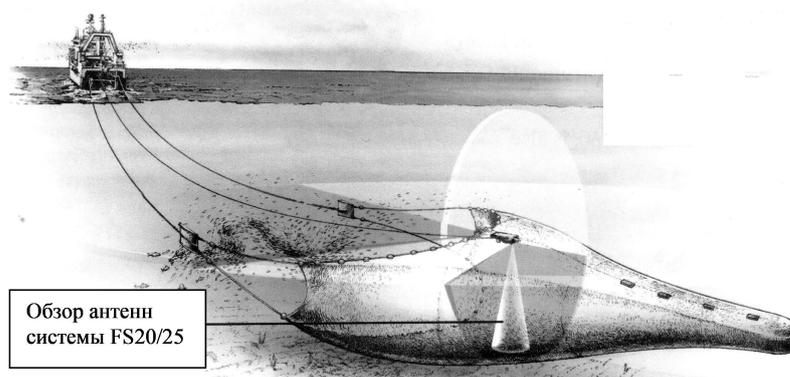


Рисунок 3.2 – Схема применения и функционирования системы контроля трала FS20/25

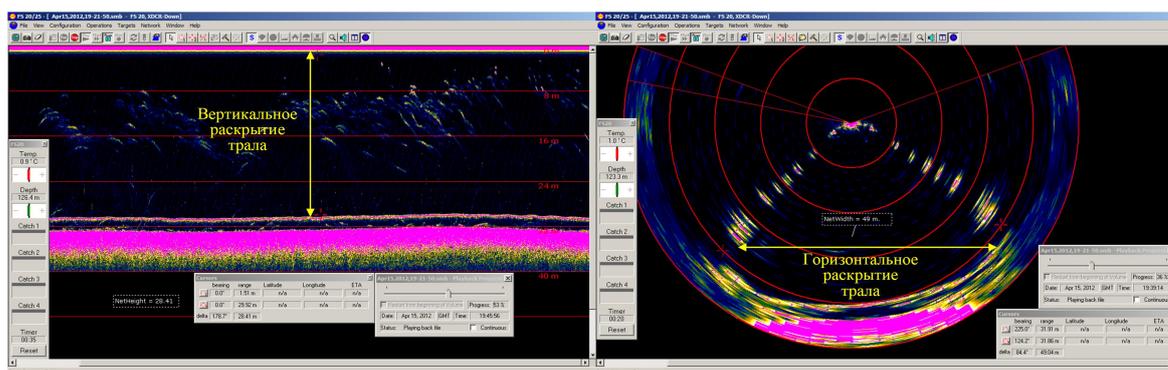


Рисунок 3.3 – Фрагменты файлов эхограмм профиля учетного трала в режиме вертикального сканирования (система контроля трала FS20/25)

Кроме этого, FS20/25 через COM-порт передает на ЕК-60 глубину хода трала и температуру воды в формате NMEA с интервалом в 10 с, а программа «Sounder» принимает и записывает эти данные в файл «Gals-List.csv». Затем из файла «Gals-List.csv» эти величины записываются в таблицу «Track-List» базы данных «SALTSE» [48].

Измеренные траловым зондом FS20/25 в горизонте траления вертикальное и горизонтальное раскрытие его устья, использовали для расчёта обловленного тралом объема. Протраленным (обловленным) объемом $V_{\text{тр}}$ в данном случае является объем воды, процеженный тралом за время траления в сечении его устья по верхней и нижней подборе (рисунок 3.4), т.е. произведение площади поперечного сечения устья трала $S_{\text{тр}}$ на его горизонтальную протяженность (пройденное тралом расстояние) $D_{\text{тр}}$:

$$V_{\text{тр}} = S_{\text{тр}} \times D_{\text{тр}} \quad , \quad (3.2)$$

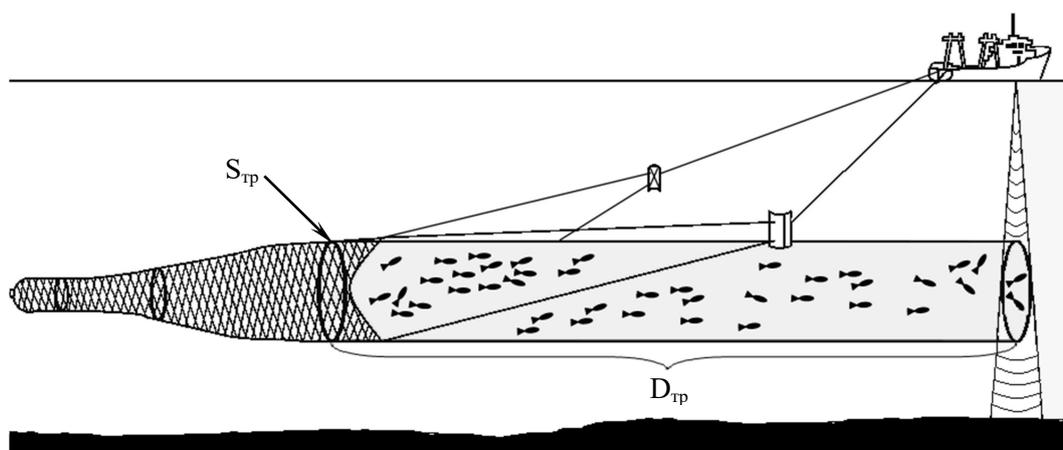


Рисунок 3.4 – Схема определения коэффициента уловистости трала

Площадь устья трала ($S_{\text{тр}}$) для каждого траления измерялась с помощью инстру-

мента, встроенного в программное обеспечение тралового зонда FS 20/25. В случае, когда невозможно инструментально измерить площадь устья (нет записанных файлов эхограмм с FS 20/25 или используется другая система контроля орудия лова без возможности записи данных), то $S_{\text{тр}}$ рассчитывается, исходя из значений о вертикальном и горизонтальном раскрытии трала, снятых во время учетного траления.

Проанализировав литературные данные [216, 246–255], за площадь устья трала была взята форма сечения трала 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):

$$S_{\text{тр}} = H \times L_{\text{гор}} \times \frac{\pi}{4} \quad , \quad (3.3)$$

где H – измеренное вертикальное раскрытие трала, м;

$L_{\text{гор}}$ – измеренное горизонтальное раскрытие трала, м.

Проведенное сравнение значений $S_{\text{тр}}$, полученных в результате инструментального измерения в программном обеспечении FS 20/25 и рассчитанных по формуле 3.3 показало сходимость результатов в 90 % случаев, то есть ошибка в измерениях не превышала 10 %.

Эхолоты ЕК-60 вычисляют коэффициент обратного поверхностного рассеяния на квадратную морскую милю s_A (м²миля⁻²), который используется в расчетах как акустическая оценка плотности скопления [49]. Программные средства оценки коэффициента уловистости трала реализованы в виде дополнительного модуля программы «SALTSE» [48]. 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 (рисунок 3.5).

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 «SALTSE» (см. рисунок 3.1). Одновременно в БД создаются и отображаются на эхограмме границы страты, соответствующие точкам начала и конца траления. Далее программа выполняет стандартную процедуру оценки $s_{A(AC)}$ – коэффициента обратного поверхностного рассеяния (м²миля⁻²) в протраленном слое методом эхоинтегри-

рования. Среднее значение $S_{A(AC)}$ (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.

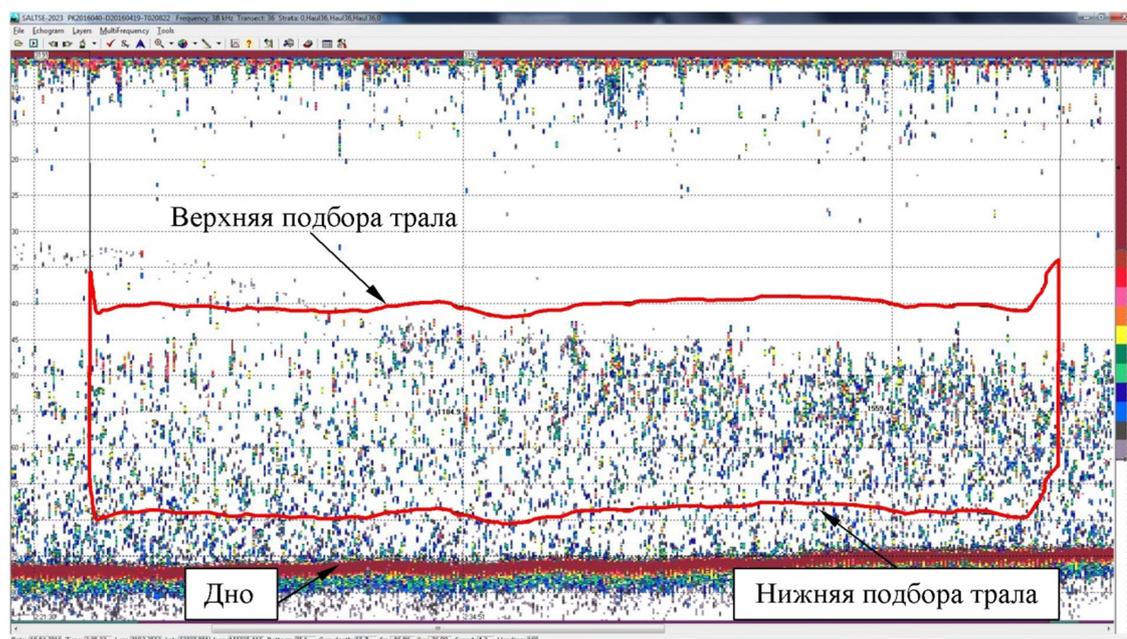


Рисунок 3.5 – Фрагмент эхограммы в режиме постпроцессорной обработки с загруженным слоем траления по данным с тралового зонда FS20/25

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. рисунок 3.1). Далее с целью сопоставления акустических и траловых данных в одних и тех же единицах, полученные значения σ улова пересчитываются в эквивалентные акустические единицы плотности $S_{A(TP)}$ ($\text{м}^2/\text{миля}^2$) [56]:

$$S_{A(TPj)} = \frac{\sum_i(N_{ij} \times \sigma_{ij}) \times 1852 \times H}{V_{TP}} = \frac{\sum_i(N_{ij} \times \sigma_{ij}) \times 1852 \times H}{H \times L_{\text{гор}} \times \frac{\pi}{4} \times D_{\text{тр}}} = \frac{\sum_i(N_{ij} \times \sigma_{ij}) \times 1852}{L_{\text{гор}} \times \frac{\pi}{4} \times D_{\text{тр}}}, \quad (3.4)$$

$$\sigma_{ij} = 4\pi \times 10^{0,1 \times TS_j(L_i)}, \quad (3.5)$$

где i – индекс размерного ряда рыб;

j – индекс вида рыбы;

N_{ij} – количество особей j -го вида, i -ой размерной группы в улове, экз.;

σ_{ij} – поперечное сечение рассеяния единичной рыбы j -го вида, i -ой размерной группы, m^2 ;

L_i – зоологическая длина рыбы i -ой размерной группы, см;

TS_j – сила цели рыб j -го вида.

$$TS_j(L_i) = a_j \log_{10}(L_i) + b_j, \quad (3.6)$$

где a_j и b_j – коэффициенты регрессии для рыб j -го вида, задающие наклон и точку пересечения кривой оси Y . Значения a и b определяют экспериментально по результатам измерения силы цели *in situ* (например для минтая Охотского моря в весенний период $TS_j(L_i) = 20 \log_{10} L_i - 69$ [62, 71]).

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

$$S_{A(TP)} = \sum_j S_{A(TPj)}, \quad (3.7)$$

$S_{A(TP)}$ рассчитывается по вышеприведенным формулам (3.4–3.7) с помощью запроса «Haul-Calc» БД «SALTSE» (рисунок 3.1, 3.6). Из отношения рассчитанного по фактическому улову в протраленном объеме $S_{A(TP)}$ и измеренного в слое траления под судном $S_{A(AC)}$ получаем коэффициент уловистости:

$$K_y = \frac{S_{A(TP)}}{S_{A(AC)}} \quad (3.8)$$

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

Рисунок 3.6 – Окно с результатами выборки «Haul-Calc» в БД «SALTSE»

3.2 Методика экспериментальной оценки реакции рыб на шумовое поле судна с использованием автономного гидроакустического комплекса

В предыдущем разделе был представлен инструментальный метод оценки коэффициента уловистости учетных тралов, который состоит в измерении плотности рыб в слое предполагаемого прохода трала под судном рыб (и определении массы или количества рыб в обловленном объеме) и сравнении ее с уловом трала. Методика предусматривает измерение плотности под судном и пересчет фактического улова трала в эквивалентные акустические единицы плотности в протраленном объеме. Из отношения рассчитанной по улову и измеренной в слое траления под судном плотности рыб, получаем 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, то есть до начала реагирования рыб на приближающиеся его элементы [86]. Однако распределение рыб под судном, буксирующим трал, тоже не является естественной агрегацией рыб, поскольку при своем движении судно создает под водой шумовое поле, которое может оказывать существенное влияние на поведение и распределение рыб [33, 184, 199, 256, 257]. 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 [189, 258], поэтому пространственное распределение рыб по мере приближения судна изменяется и отличается от исходного. А поскольку измерения плотности рыб, согласно вышеприведенной методике [259], выполнялись эхолотом под килем судна, влияние гидроакустического шума на уловистость траловой системы учтено лишь частично – в зоне 2 между судном и тралом (рисунок 3.7).

Кроме этого, как неоднократно указывалось [21, 184, 189, 258], реакция избегания и искажение за счет этого естественного распределения и концентрации рыб на пути судна может служить источником погрешности и эхоинтеграционной оценки запасов. Причем если ошибка траловых измерений в какой-то степени компенсируется коэффи-

циентами уловистости трала, то эффекты влияния шумового поля судна на акустические оценки плотности рыб, в настоящее время никак не учитываются.

Поэтому на следующем этапе исследований были выполнены эксперименты по измерению исходной (естественной) плотности 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, рисунок 3.7), а плотности, 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 зоне захвата трала при естественном их распределении, то есть до начала воздействия на рыб шумового поля судна и буксируемого им орудия лова (зона 1 + зона 2).

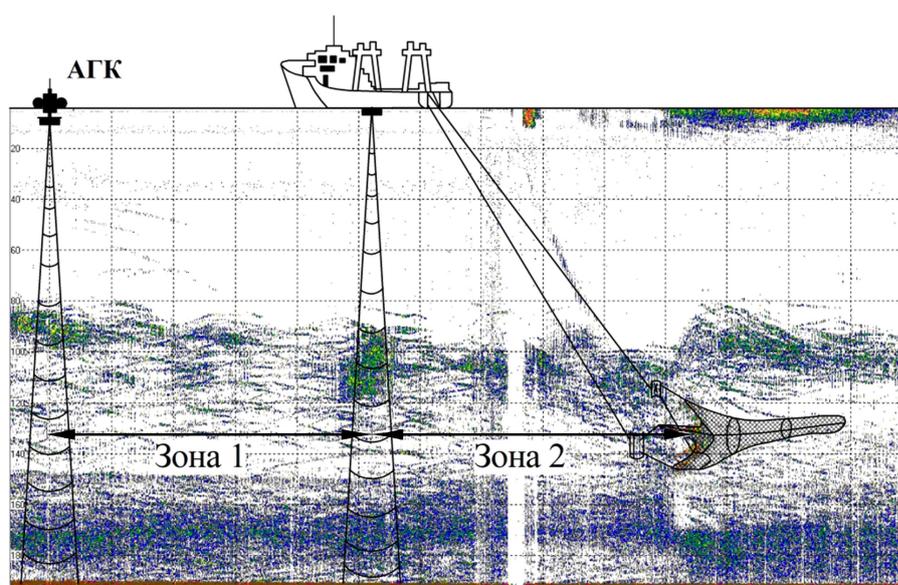


Рисунок 3.7 – Схема измерения естественной плотности рыб и уловистости учетной промысловой системы судно–трал

Целью экспериментов также является повышение достоверности эхоинтеграционных съемок путем компенсации измеряемой эхолотом под килем судна плотности 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.).

Для проведения работ в лаборатории промышленной гидроакустики Тихоокеанского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО») был сконструирован автономный плавучий гидроакустический комплекс (АГК). Данный комплекс оборудован портативным научным эхолотом EK-60 SIMRAD, источником питания, системой связи с судном и GPS (рисунок 3.8). Запуск АГК производится с борта судна по Wi-Fi и работает в режиме автоматического сбора акустических и навигационных данных. Сбор и накопление акустических данных на EK-60 выполняется в диапазоне глубин 0-750 м с высоким пространственным разрешением (5 см по глубине на частоте 38 кГц) с использованием программы ER-60, которые записываются на жесткий диск портативного компьютера в формате “сырых” (*.raw формат) файлов данных.

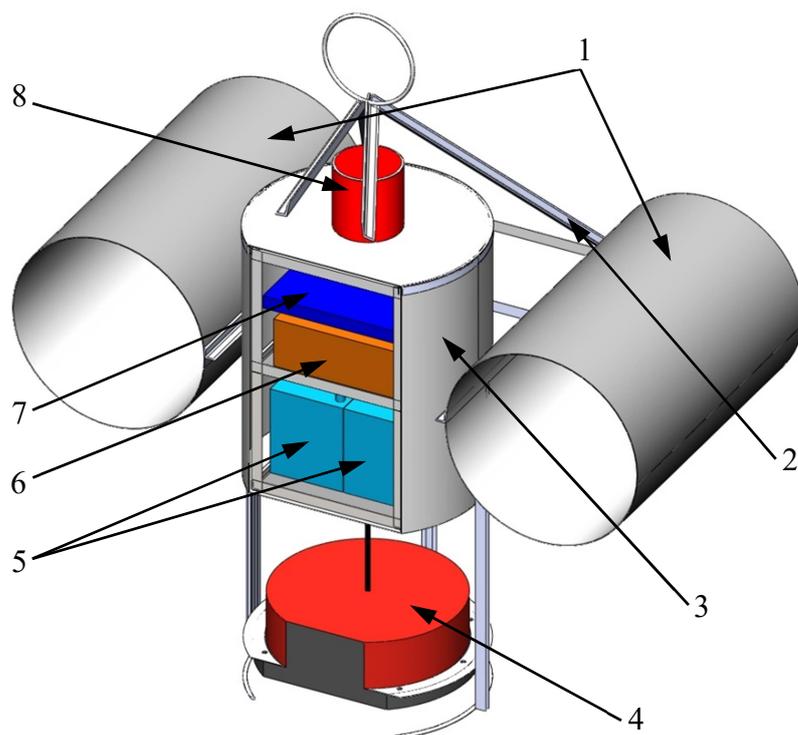


Рисунок 3.8 – Внешний вид и устройство автономного плавучего гидроакустического комплекса (АГК): 1 – понтоны; 2 – подъемная ферма; 3 – приборный отсек; 4 – антенна эхолота (38 кГц); 5 – аккумуляторные батареи; 6 – приемопередатчик эхолота; 7 – ноутбук; 8 – антенна Wi-Fi

Измерения выполняются при наличии скопления минтая, равномерно распределенных на глубине не более 200 м. Перед измерениями производится контрольное тра-

ление для идентификации эхозаписи и определения размерно-видового состава исследуемого скопления.

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 [184]. Горизонтальные и вертикальные перемещения рыб, а также, связанные с заглублением, изменения угла наклона рыб сопровождаются уменьшением акустической плотности и увеличением глубины расположения рыб и интерпретируются как реакции избегания [202, 260]. Поэтому реакция рыб на шум судна оценивалась с использованием неподвижного относительно скопления рыб средства вертикальной эхолокации (в данном случае АГК) по изменению силы обратного поверхностного рассеяния s_A (изменение плотности рыб) и глубины расположения рыб до и после прохождения судна мимо АГК. Схема движения и маневрирования судна во время измерений аналогична используемой при измерении подводного шума судна. Дистанция до судна в точке максимального сближения (ТМС) с АГК составляет 10-20 м. Конфигурация взаимного положения АГК и схема движения судна во время измерений показана на рисунке 3.9. 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 достигнуть требуемые параметры движения и поддерживать постоянную скорость, фиксированные установки ВРШ (винто-рулевой шаг) и обороты двигателя и минимальное использование рулевого управления для удержания на заданном курсе, пока судно не пройдет через точку «Финиш». После этого 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 мин. для восстановления фонового состояния рыбы.

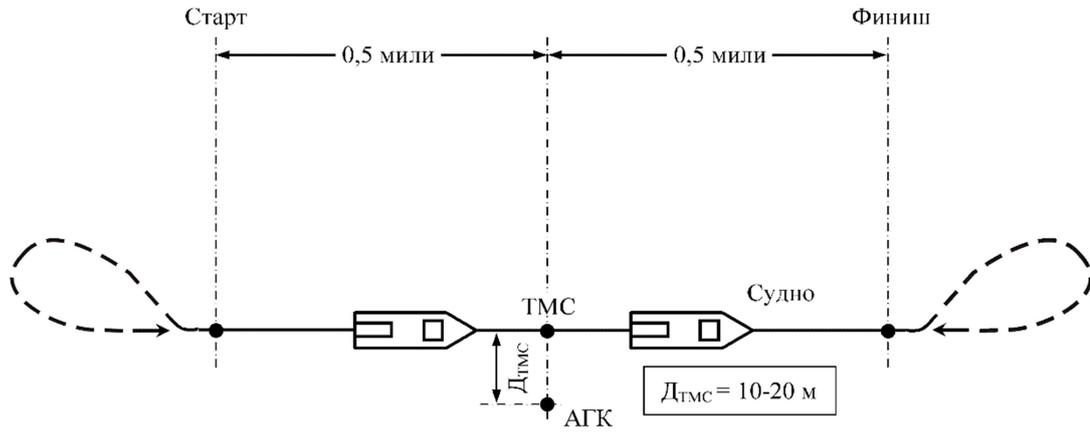


Рисунок 3.9 – Схема движения судна во время измерений: АГК – автономный гидроакустический комплекс; ТМС – точка максимального сближения; $D_{ТМС}$ – дистанция от АГК до судна в ТМС

В режиме постпроцессорной обработки эхограмм программного комплекса «SALTSE» измеряется коэффициент поверхностного рассеяния S_A (галс) ($\text{м}^2 \text{миля}^{-2}$) и средневзвешенные глубины распределения рыб H (галс) (м) в течение 1- или 2-секундных интервалов интегрирования (5 или 10 м расстояния) во время каждого прохода судна и фоновых значений S_A (фон) и H (фон), измеренных до прохождения точки «Старт» (перед началом галса). Изменение плотности (рассеяния) и заглубления рыб при проходе судна оценивается по отношению S_A и H на галсе к фоновому значению как коэффициенты избегания судна $K_{(изб)}$ и заглубления $K_{(глуб)}$:

$$K_{(изб)} = \frac{S_A(галс)}{S_A(фон)} \quad (3.9)$$

$$K_{(глуб)} = \frac{H(галс)}{H(фон)} \quad (3.10)$$

В результате будут получены зависимости коэффициента избегания $K_{(изб)}$ (изменения плотности скоплений минтая в ТМС относительно исходной) в поддиапазонах глубин. Умножение $K_{(изб)}$, измеренные в зоне 1 (см. рисунок 3.7) на соответствующие коэффициенты уловистости, рассчитанные по результатам измерений плотности в слое траления под судном $S_A(AC)$ (зона 2, см. рисунок 3.7), получаем результирующие или ин-

тегральные коэффициенты ($K_{\text{(интегр)}}$) уловистости по слоям глубины, в которых учитывается как избегание рыбами шумового поля судна, так и уловистость самого трала:

$$K_{\text{(интегр)}} = K_y \times K_{\text{(изб)}} \quad (3.11)$$

3.3 Выводы по главе 3

Задачей работы в третьей части являлась разработка методики инструментальной оценки уловистости траловых комплексов и реакции рыб на шумовое поле судна с использованием стационарных и мобильных средств дистанционного гидроакустического зондирования. Представленная методика позволяет на первом этапе измерять коэффициент уловистости учетного трала из отношения рассчитанной по улову и измеренной в слое траления под судном плотности рыб, а на втором – сквозной или полный коэффициент уловистости учетной системы «судно–трал», минуя все промежуточные оценки влияния отдельных элементов этой системы и, связанные с ними, неопределенности и просчеты.

Понятие «коэффициента уловистости» учетной рыболовной системы судно–трал теперь формулируется следующим образом: «отношение количества пойманных рыб в трале ко всему количеству рыб, находившихся на обловленной площади (в обловленном объеме) при естественном их распределении, то есть до начала воздействия на рыб шумового поля судна и буксируемого им орудия лова» [259].

Реакция избегания и искажение за счет этого естественного распределения и концентрации рыб на пути судна может служить источником погрешности и эхоинтеграционной оценки запасов. Методика экспериментальной оценки реакции рыб на шумовое поле судна с использованием автономного гидроакустического буя учитывает исходное распределение рыб впереди судна и позволяет устранить погрешности измерения плотности рыб под судном.

Методика является универсальной для инструментальной оценки коэффициентов уловистости тралов и поправок эхоинтеграционной оценки запасов всех образующих протяженные скопления пелагических видов рыб, таких как: сельдь, сайка, мойва, сардина, анчоус, путассу, лемонема, пикша, ставрида и др. виды [35].

ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКЦИИ РЫБ И КОЭФФИЦИЕНТА УЛОВИСТОСТИ ТРАЛОВЫХ РЫБОЛОВНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

В данной Главе представлены результаты экспериментов по исследованию коэффициента уловистости разноглубинного учетного трала РТ/ТМ 57/360 и избегательного поведения рыб *in situ* на примере минтая Охотского моря, полученные с использованием судового подкильного гидроакустического комплекса и автономного плавучего буя со встроенным научным эхолотом по предложенной в предыдущей Главе методике.

4.1 Результаты первого этапа экспериментов

Акустические данные для оценки коэффициента уловистости разноглубинного учетного трала РТ/ТМ 57/360 на первом этапе (зона 2, см. рисунок 3.7) собраны в ходе проведения комплексных экспедиций в Охотском море на НИС «Профессор Кагановский» (Проект «Атлантик–833» [28]) в 2012-2016 гг. В качестве объекта исследований выбран минтай (*Gadus chalcogrammus*) – наиболее распространенный в северной части Тихого океана и, соответственно, часто встречающийся в уловах промысловый вид.

В результате постпроцессинговой обработки было отобрано более 600 фрагментов эхограмм тралений, удовлетворяющих условиям одновидового состава скоплений (не менее 95 % минтая в улове) и разрешения по глубине. Согласно методике, описанной в главе 3, были получены оценки коэффициента уловистости учетного трала РТ/ТМ 57/360 для каждого фрагмента эхограмм как отношение рассчитанной по фактическому улову в протраленном объеме эквивалентной акустической плотности к измеренной в слое траления под судном плотности рыб. Значения коэффициента уловистости усредняли в поддиапазонах глубин с интервалом 50 м. График изменения коэффициента уловистости учетного трала РТ/ТМ 57/360 в поддиапазонах глубин показан на рисунке 4.1. Средние значения коэффициента уловистости хорошо аппроксимируются полиномиальной зависимостью ($R^2=0,94$). Результаты статистической обработки данных представлены в таблице 4.1. Выявлена зависимость коэффициента уловистости минтая от глубины траления. Значения коэффициента уловистости имеют тенденцию относитель-

ного роста с глубиной и снижения на краях диапазона измерений (при тралениях в при-
поверхностных горизонтах и на глубинах более 200 м) [199, 259].

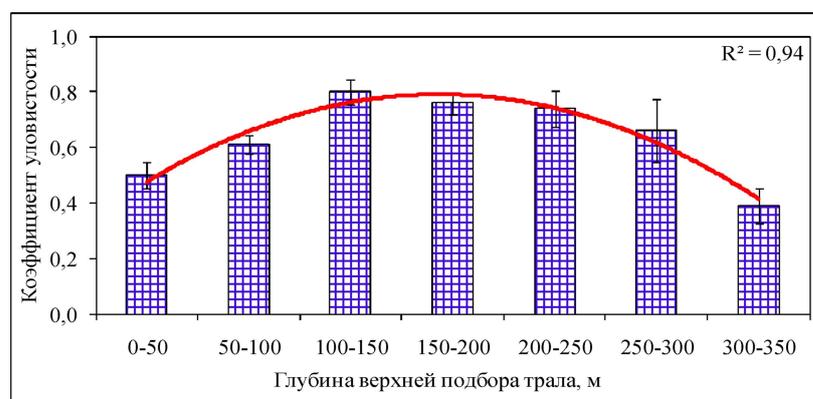


Рисунок 4.1 – Зависимость коэффициента уловистости минтая между судном и тралом РТ/ТМ 57/360 (зона №2) от глубины хода трала (Охотское море, апрель-май 2012–2016 гг.): *столбцы* – средние значения за ряд лет в поддиапазонах глубин, *планками* обозначена амплитуда колебаний значений коэффициента уловистости

Таблица 4.1 – Средние значения коэффициента уловистости (K_y) учетного трала РТ/ТМ 57/360, измеренные между судном и тралом (зона №2) в поддиапазонах глубин (Охотское море, апрель-май 2012–2016 гг.)

Показатель	Глубина верхней подбора трала, м						
	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350
Число значений	46	80	90	140	82	20	5
Коэффициент уловистости (K_y)	0,50	0,61	0,80	0,76	0,74	0,66	0,39
Стандартное отклонение	0,18	0,13	0,30	0,31	0,35	0,28	0,07
Стандартное отклонение среднего	0,03	0,01	0,03	0,03	0,04	0,06	0,03
Коэффициент Стьюдента (5%, n-1)	2,01	1,99	1,99	1,98	1,99	2,09	2,78
Относительная ошибка	0,11	0,05	0,08	0,07	0,10	0,20	0,23

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 (рисунок 4.2).

Здесь мы имеем противоположное действие различных принципов селективности. Селективность орудий лова обеспечивает избирательный отбор рыб из зоны облова орудия лова. Биофизический принцип селективности связан с неодинаковой способностью рыб различного вида и размера реагировать на действие промысловых физических полей [261]. Согласно этого принципа, коэффициент уловистости мелкоразмерного мин-

тая, имеющего более слабые, чем крупные особи, слуховые и энергетические возможности, должен быть выше. Механическая селективность обусловлена отцеживающими и обьячеивающими свойствами сетного полотна трала. Снижение коэффициента уловистости мелкоразмерного минтая на рисунке 4.2 может быть связано с выходом рыб через сетную оболочку трала в результате действия механического принципа селективности [199, 259].

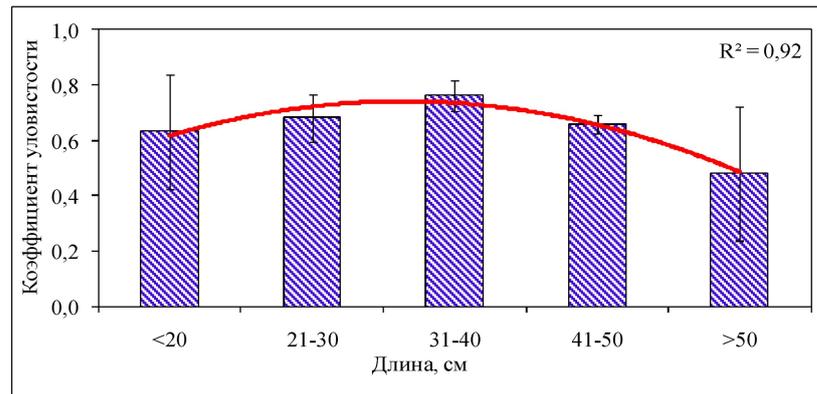


Рисунок 4.2 – Зависимость средних значений коэффициента уловистости минтая от его средней длины в улове (Охотское море, апрель-май 2012–2016 гг.): *столбцы* – средние значения за ряд лет в поддиапазонах глубин, *планками* обозначена амплитуда колебаний значений коэффициента уловистости

Рост коэффициента уловистости с увеличением длины рыб, видимо, вызван тем, что особи средних размеров (31-40 см), 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 (>40 см), 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 рисунке 4.2, вопреки классическим принципам механической селективности трала [259]. Эти данные подтверждают результаты подводных визуальных наблюдений [119, 121].

Различие коэффициента уловистости в дневных и ночных тралениях на глубинах до 150 м минимально и затем имеет тенденцию относительного роста с глубиной (рисунок 4.3). Эффективность дневных тралений выше ночных в среднем на 10% [259].

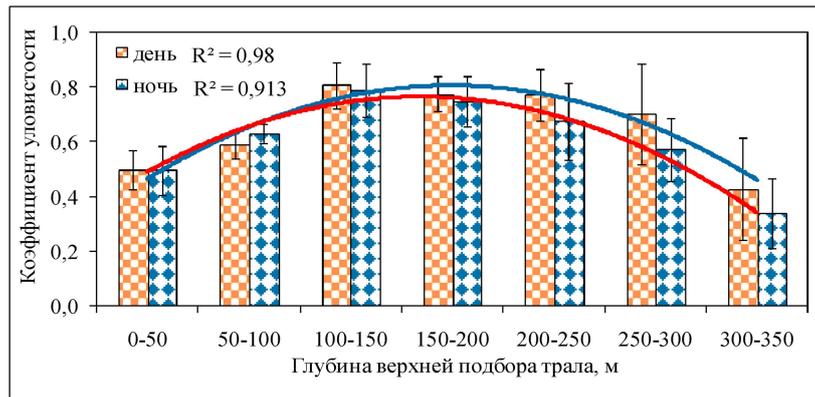


Рисунок 4.3 – Средние значения коэффициента уловистости минтая в диапазонах глубин хода трала в дневное и ночное время суток (Охотское море, апрель-май 2012–2016 гг.): *столбцы* – средние значения за ряд лет в поддиапазонах глубин, *планками* обозначена амплитуда колебаний значений коэффициента уловистости

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 [34, 36, 256]. 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 растут на глубинах, где плотность минтая становится выше исходной. Разница дневных и ночных уловов на глубинах 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.

4.2 Результаты второго этапа экспериментов

Недостатком используемой на первом этапе методики оценки коэффициента уловистости тралов является то, что измерения плотности рыб на обловленной площади выполняются эхолотом под судном, где пространственное распределение рыб отличается от исходного (естественного). То есть, мы оцениваем реакцию рыб, оставшихся под судном, в шумовом поле гребного винта (за судном). Погрешность проведенных измерений уловистости заключается в том, что не учитывается реакция рыб на шумовое поле впереди судна [199, 259].

Измерения плотности рыб должны выполняться при их естественном распределении 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, то есть до начала воздействия шумового поля судна и орудия лова [199, 259].

На втором этапе работ в 2013–2016 гг. были выполнены эксперименты по измерению и учету влияния на коэффициент уловистости трала исходной плотности минтая впереди судна типа СТМ проекта «Атлантик–833» с использованием автономного плавучего гидроакустического комплекса (АГК) [199]. Всего в период проведения комплексной съемки в Охотском море было выполнено 20 экспериментов (42 галса) в районе юго-западного и северо-западного шельфа Камчатки – 8 и 7 биостатистические районы исследования [262].

Реакция рыб на шум судна оценивалась инструментально по изменению силы обратного поверхностного рассеяния s_A (плотности рыб), как коэффициента избегания, и средневзвешенной глубины расположения рыб, как коэффициента заглубления, до и после прохождения судна мимо АГК [199, 204] (см. глава 3).

На рисунке 4.4 представлены примеры регистрируемых с помощью АГК эхограмм и соответствующих им графиков изменения плотности (суммарной и по слоям глубины) и средневзвешенной глубины расположения скоплений относительно фоновой. Типичными для большинства экспериментов являлись уменьшение плотности рыб и заглубление скоплений за счет избегающей реакции в шумовом поле судна при его приближении к АГК относительно исходного распределения, которые можно заметить даже при визуальном просмотре эхограмм [199].

В серии экспериментов, где была высока доля созревающих и отнерестившихся рыб (рисунок 4.4А), устойчивый эффект уменьшения плотности скоплений минтая в приповерхностных горизонтах (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.

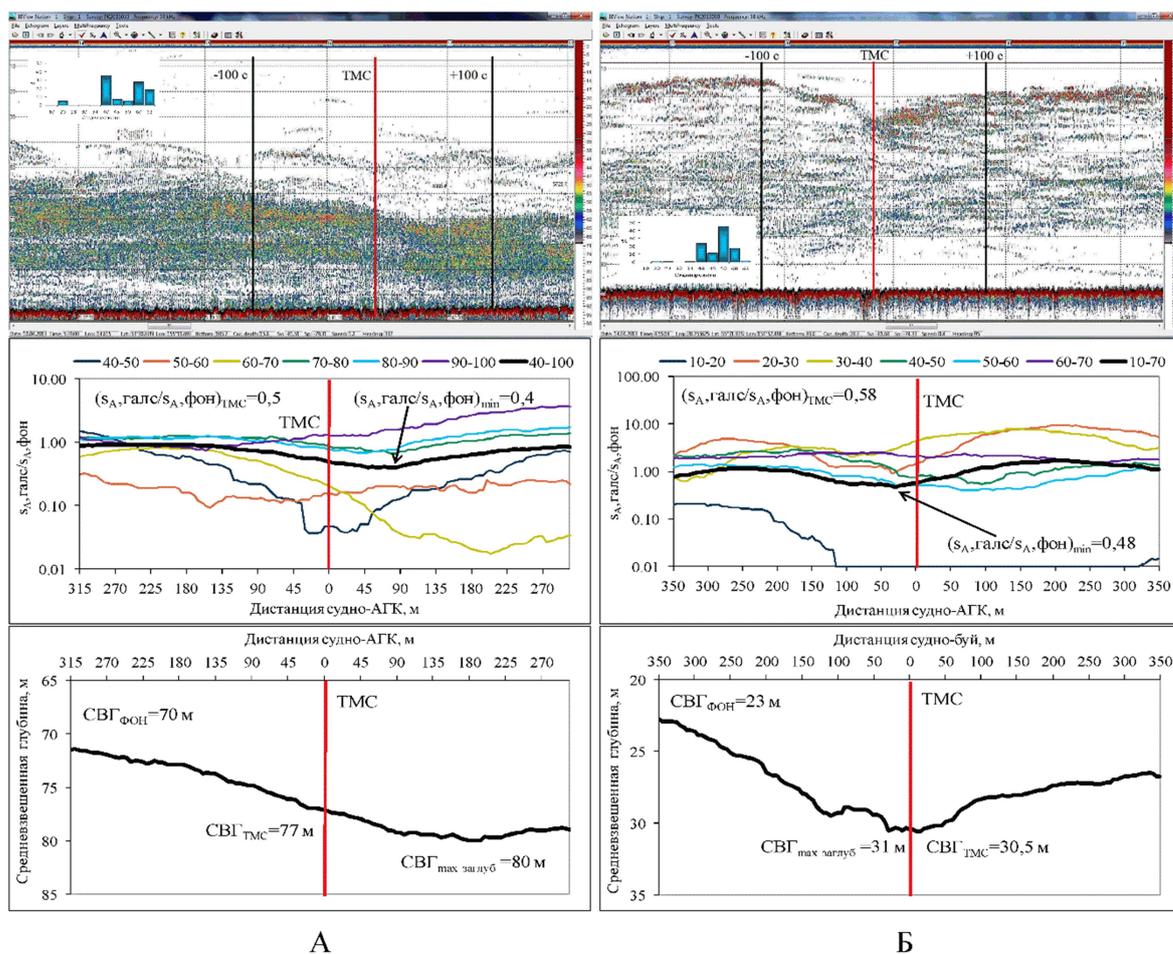


Рисунок 4.4 – Эхограммы и графики, иллюстрирующие реакцию минтая при прохождении НИС «Профессор Кагановский» мимо АГК: А – серия № 1; Б – серия № 2

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_{TMC}) и в шумовом поле гребного винта плотность 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 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 (рисунок 4.4Б). 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 ($K_{изб} = 1$) 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 30–40 м от судна 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 рисунке 4.4Б) 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 [184]. Реакция быстрых приповерхностных рыб (скумбрия,

тунцы, лососи) характеризуется более активными, чем фоновые, горизонтальными движениями внутри косяка или стаи [33]. У менее подвижных видов (к которым относится минтай), пока не локализован источник шума, реакция выражается стремлением затаиться, то есть вертикальными перемещениями рыб [196, 256].

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» (оба судна СТМ проекта «Атлантик–833»), соответствующая второй фазе реакции, составляет около 150 м в диапазоне максимальной чувствительности [189, 258]. 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, то есть с 500 до 150–160 м. На этих дистанциях реакция становится направленной – сопровождается как вертикальными, так и горизонтальными движениями рыб от источника шума.

Обобщенные графики изменения плотности (коэффициента избегания) скоплений минтая в шумовом поле судна представлены на рисунке 4.5. Отрицательные значения на оси абсцисс соответствуют значениям $K_{изб}$ до прохода судна мимо АГК, положительные – после прохода судна мимо АГК.

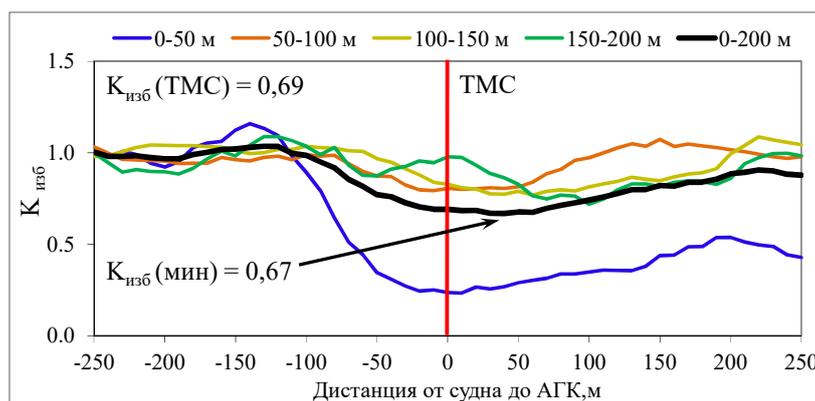


Рисунок 4.5 – Изменение плотности скоплений минтая ($K_{изб}$) в поддиапазонах глубин в зависимости от дистанции между судном и АГК (Охотское море, 2013–2016 гг.)

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, 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 (в единицах s_A) зафиксировано на горизонтальном расстоянии до судна около 120 м. Сначала это снижение происходило в основном за счет интенсивного рассеяния рыб в приповерхностных горизонтах 0–50 м. Затем, по мере приближения судна, снижение плотности наблюдалось и в более глубоких слоях – 50–100 и 100–150 м (рисунок 4.5). 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 [199].

В диапазоне глубин 150–200 м (то есть на дистанциях реагирования минтая) вблизи ТМС наблюдался обратный процесс увеличения плотности скоплений. Это происходит за счет перемещения туда рыб из верхних горизонтов аналогично «толплению» минтая впереди судна.

Таким образом, наблюдается активное перераспределение плотности минтая по слоям глубины. Часть рыб на пути судна уходит в стороны (рассеивается). Характерно более сильное уменьшение плотности рыб на меньших глубинах. Типичным также является перераспределение плотности минтая по слоям глубины. Заглубление рыб при приближении судна вызывает последовательное увеличение их плотности в более глубоком слое. При достаточно широком вертикальном распределении скоплений и если горизонтальное избегание невелико, на определенных глубинах шумовое поле судна повышает плотность рыб относительно исходной (фоновой). Эти результаты подтверждают данные модельных расчетов [259]. 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 минтая в более низких слоях глубины.

Коэффициент избегания в момент прохода судна мимо АГК на глубинах меньше 100 м по обобщенным данным составил 0,56 (рисунок 4.6А). Это означает, что плотность скопления минтая на минимальном расстоянии от судна ($D_{ТМС}$ – см. рисунок 3.9) сократилась почти в 1,8 раза относительно исходной, измеряемой при естественном (невозмущенном) состоянии рыб впереди судна. То есть во время съемки занижение изме-

ряемой эхолотом под килем судна численности рыб в слое 0-100 м, может составить более 40 % [199].

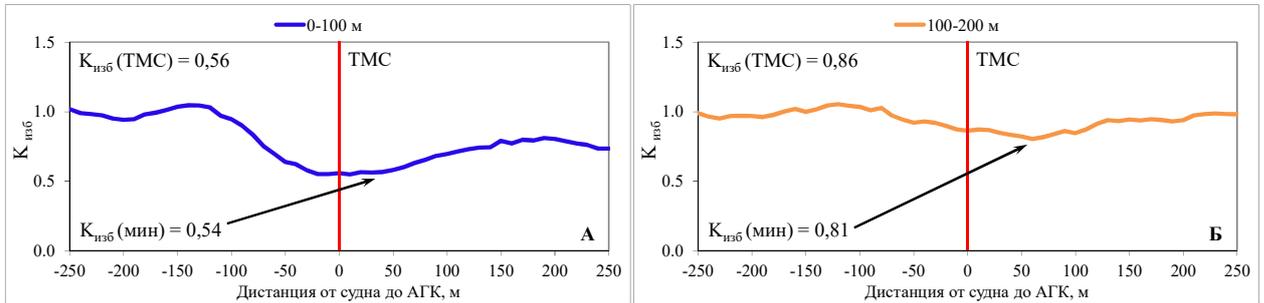


Рисунок 4.6 – Изменение плотности скоплений минтая ($K_{изб}$) в зависимости от дистанции между судном и АГК в диапазонах глубин: А – 0-100 м; Б – 100-200 м (экспериментальные оценки)

В диапазоне глубин от 100 до 200 м (рисунок 4.6Б) тенденция начального подъема и последующего уменьшения суммарной плотности скоплений в ТМС за счет заглубления рыб была менее значима – $K_{изб} = 0,86$, то есть недоучет численности минтая гидроакустическим эхоинтеграционным методом в диапазоне глубин 100-200 м не превышал 15 % под судном и 20 % позади судна. Отношение суммарной плотности рыб к фоновой в ТМС во всем диапазоне глубин 0-200 м составило 0,69 (см. рисунок 4.5).

После прохода ТМС по мере удаления судна уменьшалась плотность в слое 150-200 м под АГК, то есть рыбы покидали зону уплотнения, которая образовалась на дистанциях реагирования под судном. Затем, на горизонтальном расстоянии от судна свыше 50 м, происходит процесс обратного восстановления плотности рыб в других слоях, начиная с более глубокого. Восстановление суммарной плотности 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 позади судна шло примерно с одинаковой скоростью. Плотность рыб восстанавливалась полностью ($K_{изб} = 1$) 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. Исходное вертикальное распределение рыб восстанавливалось более 20 минут.

Обобщенные по всем экспериментам зависимости скорости заглубления и подъема минтая от дистанции между судном и АГК показаны на рисунке 4.7. Значения скоростей

хорошо аппроксимируются полиномом четвертой степени. Скорость спуска плавно нарастает от 0,04 до 0,15 м/с между 350 и 150-180 м (таблица 4.2).

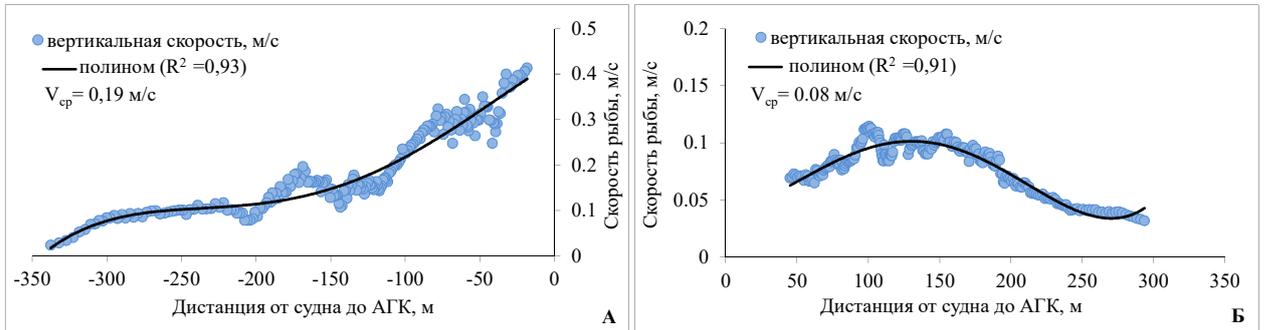


Рисунок 4.7 – Зависимости скорости заглубления (А) и подъёма (Б) минтая от дистанции между судном и АГК в диапазоне глубин до 100 м (Охотское море, весна 2013-2016 гг.)

Таблица 4.2 – Средние значения скорости заглубления (V_z , м/с) минтая в поддиапазонах дистанции до судна (Охотское море, апрель-май 2013-2016 гг.)

Показатель	Дистанция до судна, м						
	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350
Количество измерений	30	48	52	37	21	20	14
Среднее значение	0,35	0,29	0,16	0,15	0,10	0,09	0,04
Стандартное отклонение	0,14	0,12	0,08	0,08	0,06	0,04	0,03
Стандартное отклонение среднего	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Коэффициент Стьюдента (5%, n-1)	2,05	2,01	2,01	2,03	2,09	2,09	2,16
Относительная ошибка	0,15	0,12	0,13	0,18	0,27	0,21	0,47

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) [256]. 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 была си-

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

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, таблица 4.3). По мере удаления от судна скорость подъема плавно замедляется (см. рисунок 4.7).

Таблица 4.3 – Средние значения скорости подъема ($V_{\text{п}}$, м/с) минтая в поддиапазонах дистанции до судна (Охотское море, апрель-май 2013-2016 гг.)

Показатель	Дистанция до судна, м						
	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350
Количество измерений	7	31	22	32	30	19	9
Среднее значение	0,07	0,09	0,10	0,07	0,04	0,04	0,02
Стандартное отклонение	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,01	0,01
Стандартное отклонение среднего	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Коэффициент Стьюдента (5%, n-1)	2,45	2,04	2,08	2,04	2,05	2,10	2,31
Относительная ошибка	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.

В результате обобщения экспериментальных данных по слоям глубины получен график изменения суммарной плотности скоплений минтая в ТМС относительно исходной (зона 1, см. рисунок 3.7) 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. (рисунок 4.8). В таблице 4.4 приведены значения коэффициентов избегания ($K_{\text{изб}}$) 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 (рисунок 4.8). 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 рыб в более глубоком слое. Эта тенденция уменьшения плотности рыб на небольших глубинах и увеличения оценок S_d с глубиной хорошо согласуется с моделью двигательного пове-

дения рыб в шумовом поле судна [259]. Избегательная реакция, связанная с заглублением косяков, находящихся на глубинах меньших, чем дистанция реагирования рыб, вызывает эффект уплотнения (концентрации) минтая аналогично эффекту «толпления» рыб впереди судна. В результате, если горизонтальное избегание от судна невелико, образуется слой, где плотность минтая может стать даже выше исходной. За пределами зоны действия шумового поля судна значения плотности скопления рыб приближаются к исходному ($K_{изб} = 1$).

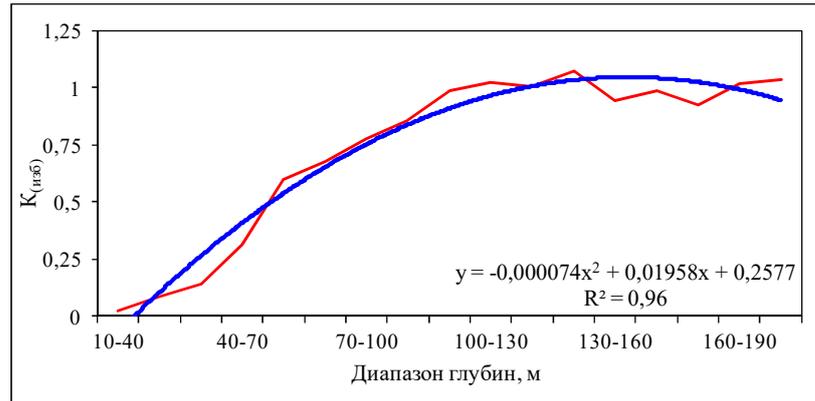


Рисунок 4.8 – Значения коэффициента избегания ($K_{изб}$) минтая в ТМС (зона 1) в диапазонах глубин траления (Охотское море, весна 2013-2016 гг.)

Таблица 4.4 – Значения коэффициента избегания ($K_{изб}$) в ТМС в диапазонах глубин хода трала (Охотское море, весна 2013-2016 гг.)

Диапазон глубин, м	10-40	20-50	30-60	40-70
$K_{изб}$ (ТМС)	0,02	0,09	0,14	0,31
Диапазон глубин, м	50-80	60-90	70-100	80-110
$K_{изб}$ (ТМС)	0,60	0,68	0,77	0,85
Диапазон глубин, м	90-120	100-130	110-140	120-150
$K_{изб}$ (ТМС)	0,99	1,02	1,00	1,07
Диапазон глубин, м	130-160	140-170	150-180	160-190
$K_{изб}$ (ТМС)	0,94	0,99	0,92	1,01

Полученные оценки коэффициента уловистости (K_y) в зоне 2 (рисунок 4.1, таблица 4.1), пересчитаны в соответствующие вертикальному раскрытию трала поддиапазоны глубин с шагом 10 м (рисунок 4.9). Значения коэффициента уловистости, минимальные при тралениях вблизи поверхности, имеют тенденцию относительного роста с глубиной за счет уплотнения рыб на дистанциях реагирования и снижения на глубинах более 200 м.

Таким образом, были получены оценки коэффициента уловистости учетного трала как отношение количества пойманных рыб в трале к количеству рыб в обловленном

объеме под судном (рисунок 4.9) и значения коэффициентов избегания как отношения плотности скоплений минтая в ТМС к исходной впереди судна в соответствующих слоях траления поддиапазонах глубин (см. рисунок 4.8).

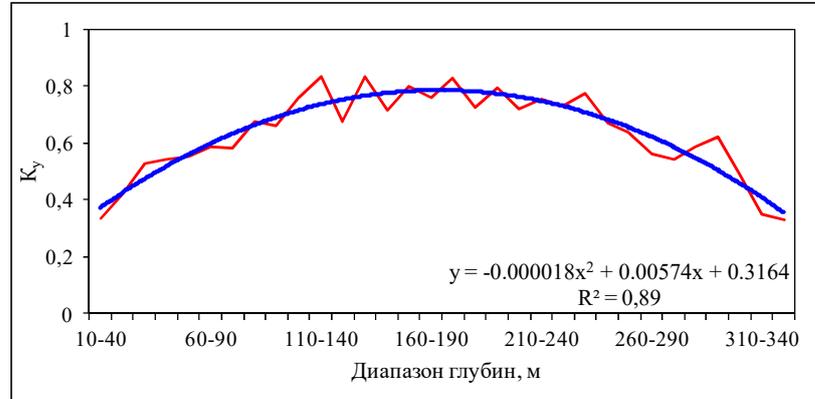


Рисунок 4.9 – Зависимость коэффициента уловистости (K_y) минтая между судном и тралом (зона 2) от глубины хода трала (Охотское море, апрель-май 2012-2016 гг.)

В результате простого арифметического умножения коэффициентов уловистости трала, измеренных между судном и тралом (K_y), и соответствующих коэффициентов избегания ($K_{изб}$), характеризующих поведение рыб впереди судна, были вычислены значения интегрального коэффициента уловистости ($K_{интегр}$), в которых учитываются избегание рыбами шумового поля судна на различных глубинах и уловистость самого трала (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Средние значения интегрального (результатирующего) коэффициента уловистости ($K_{интегр}$) учетного трала РТ/ТМ 57/360 в поддиапазонах глубин (Охотское море, апрель-май 2012-2016 гг.)

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

На рисунке 4.10 представлена зависимость средних значений интегрального (результатирующего) 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, то есть до начала воздействия на рыб шумового поля судна и буксируемого им трала.

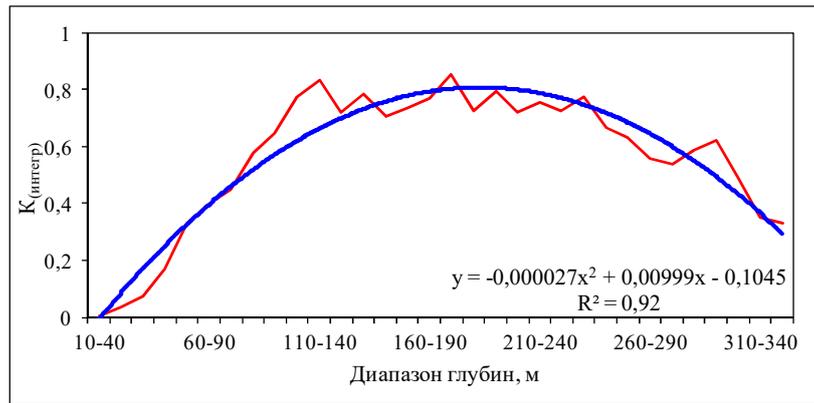


Рисунок 4.10 – Зависимость интегрального коэффициента уловистости ($K_{\text{интегр}}$) минтая учетным тралом РТ/ТМ 57/360 от глубины хода трала (Охотское море, весна 2012–2016 гг.)

Значения интегрального коэффициента уловистости ($K_{\text{интегр}}$) 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. рисунок 4.9). В диапазоне глубин 0-100 м, где, как показали эксперименты, в результате реакции избегания наблюдалось наиболее активное перераспределение и уменьшение плотности рыб (см. рисунок 4.8), 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, см. рисунок 3.7) 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. рисунок 4.10).

4.3 Выводы по главе 4

На первом этапе исследованы зависимости коэффициента уловистости минтая от глубины хода трала, от средней длины рыб в улове и от времени суток. В зависимости от глубины распределения облавливаемых агрегаций минтая уловистость пелагического трала может изменяться.

Наблюдается снижение коэффициента уловистости на небольших глубинах, вызванное избегающей реакцией рыб в шумовом поле судна, и увеличение коэффициента 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, видимо, вызвано селективирующим влиянием шумового поля судна и сетной оболочки трала соответственно. Различие значений коэффициента уловистости дневных и ночных тралений, видимо, связано с характеристиками распределения облавливаемых агрегаций рыб.

На втором этапе исследований устранена погрешность измерения коэффициента уловистости трала, связанная с подкильным расположением антенны эхолота, за счет чего при измерениях коэффициента уловистости не учитывалось исходное распределение рыб впереди судна.

Результаты второго этапа работ с использованием автономного плавучего гидроакустического комплекса показали, что реакция рыб на шум приближающегося судна во всех экспериментах сопровождается их заглублением (вертикальная реакция) и рассеиванием (горизонтальная реакция).

Дистанции реагирования минтая на шум судна составили от 140 до 180 м от судна и согласуются с расчетными оценками. На таких дистанциях реакция рыб становится направленной и сопровождается их начальным уплотнением и последующим снижением плотности по мере приближения судна.

В диапазоне глубин 0–100 м в точке максимального сближения с судном плотность минтая снизилась почти в 2 раза относительно исходной, а на глубинах 100–200 м, за счет перемещения туда части рыб из верхних горизонтов, уменьшение их численности под судном суммарно не превышало 15 %.

Скорости спуска и подъема минтая в шумовом поле судна как минимум на порядок превышают таковые при его естественных миграциях, что является показателем сильного раздражающего воздействия шума.

Получены экспериментальные оценки интегрального (результатирующего) коэффициента уловистости минтая в зависимости от глубины, которые объединяют параметры трала и поведение рыб в составе промысловой системы «судно–трал». При этом устраняется методическая ошибка измерения плотности рыб в предполагаемой зоне облова трала под судном на первом этапе исследований.

Значения интегрального коэффициента уловистости включены в программу для ЭВМ «Электронный атлас типовых акустических изображений промысловых видов рыб Дальневосточных морей» (Приложение А, Б, В, Г) [263, 264], применение которой создает дополнительные возможности повышения качества распознавания (идентификации) гидробионтов на эхограммах и повышения эффективности их тралового промысла с использованием гидроакустических средств [34].

Внедрение в алгоритм оценки запасов минтая дифференцированных по глубине коэффициентов уловистости и реакции избегания шумового поля судна, измеренных с использованием прецизионных гидроакустических средств согласно научно обоснованным методикам, позволяет получать более точные величины численности и биомассы этого вида рыб в Охотском море.

ГЛАВА 5 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ РЫБ В ШУМОВОМ ПОЛЕ СУДНА

Для разработки методики учета и компенсации шумов судна при проведении траво-акустических съемок, необходимо смоделировать двигательное поведение различных видов рыб и их пространственное расположение в результате реакции избегания шумового поля судна.

Результатом решения этих вопросов станет создание модели двигательного поведения различных видов рыб в шумовом поле судна. Это довольно сложная задача, поскольку модель должна учитывать не только основные параметры акустического поля судна и слуховые способности рыб, но и условия, вызывающие реакцию рыб, а также стереотип и механизм самой реакции на шумовое поле судна: как эта реакция формирует поведение и распределение рыб в различных зонах промысловой системы «судно–трал» в реальном масштабе времени [184, 199, 259, 265, 266].

5.1 Определение «математическая модель»

Существенный вклад в методологию математического моделирования в биологии, связанную с рациональным использованием водных биологических ресурсов (ВБР), внёс В.К. Бабаян – ведущий специалист в области оценки запасов ВБР и регулирования рыболовства. В своей работе учёный даёт всеобъемлющий обзор понятия «математическая модель»: «Сущность математического моделирования заключается в замене объекта исследования его аналогом, математической моделью, проведении с моделью необходимых численных экспериментов и перенесении полученных результатов на исходный объект. Математическая модель – это упрощенное описание рассматриваемого объекта или процесса, выполненное в удобной для анализа символической форме. Математическая символика не только делает описание изучаемого объекта предельно лаконичным, но и раскрывает принципиально новые возможности для его анализа. Ключевое понятие в приведенном выше определении – упрощенное описание. Это означает, что модель учитывает только некоторую, как правило, меньшую часть параметров объекта моделирования, состав которых обуславливается целями проводимого исследования. Что в свою очередь позволяет выделить для исследования наиболее важные свойства

объекта, абстрагируясь от несущественных его характеристик. Целостность модельного описания при этом сохраняется благодаря использованию различных гипотез и допущений» [267].

Взаимодействие промысловой системы «судно–трал» и скопления рыб осуществляется в связи с геометрией их взаимного расположения в водном пространстве, техническими параметрами лова, характеристикой направленности акустического поля судна, слуховыми и локомоторными способностями рыб разных возрастных и видовых групп, их физиологическим состоянием и т.д. Все эти данные послужили основой разработанного алгоритма дифференцированного перераспределения рыб разных размеров и видов в облавливаемом пространстве, а также создания структуры базы данных и программного обеспечения для моделирования и оценки двигательного поведения рыб в зоне действия промысловой системы судно–трал при различных режимах траления.

5.2 Конструкция и параметры модели двигательного поведения рыб

Модель двигательного поведения рыб в шумовом поле судна описана в наших работах и включает в себя: данные о характеристиках акустического поля судна, слуховой чувствительности различных видов рыб, а также стереотипах двигательных реакций рыб на акустический стимул и их энергетических возможностях (скорости плавания) [189, 265, 266].

Далее представлен детальный анализ параметров, включенных в модель, а также рассмотрены основные уравнения, составляющие алгоритм данной модели [265, 266].

5.2.1 Структура модели двигательного поведения рыб

Каждая рыба i может быть представлена набором дифференциальных уравнений, определяющих позицию (местоположение) рыб \vec{x}_i в шумовом поле судна. Эти уравнения создают конструкцию модели [265]:

$$\frac{d\vec{x}_i}{dt} = \vec{f}(t, \vec{x}_i), \quad (5.1)$$

\vec{x}_i содержит переменные для каждой рыбы ($i = 1, \dots, n$). Переменными в нашей модели являются уровень шума L_r , скорость \vec{V}_i и направление движения рыб (вектор расстояния) \vec{r}_i и их энергетический уровень (выносливость) e_i [265]:

$$\vec{x}_i = \begin{bmatrix} L_r \\ \vec{r}_i \\ \vec{e}_i \end{bmatrix}, \quad (5.2)$$

$$\frac{d}{dt} \vec{x}_i = \begin{bmatrix} \Delta L_r \\ \vec{V}_i \\ \vec{e}_i \end{bmatrix}, \quad (5.3)$$

$$\begin{bmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vdots \\ \vec{x}_n \end{bmatrix} (t + \Delta t) = \begin{bmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vdots \\ \vec{x}_n \end{bmatrix} (t) + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vdots \\ \vec{x}_n \end{bmatrix} (t) \times \Delta t \quad (5.4)$$

Чтобы решить систему уравнений и определить позицию (местоположение) каждой рыбы \vec{x}_i относительно судна с заданным временным шагом (Δt) должны быть смоделированы уровень шума в точке приема, скорость и направление движения каждой рыбы относительно судна в каждый момент времени (t) при заданных порогах реакции и параметрах энергетической выносливости каждого j -го вида рыб [265].

5.2.2 Характеристики шумового поля судна

В модели шумовое поле от судна задается в виде уровня звукового давления шума в точке местоположения рыб \vec{x}_i как функция расстояния до судна:

$$L_{ri} = f(\vec{r}_i), \quad (5.5)$$

где \vec{r}_i – вектор расстояния от судна до i -й рыбы.

Судно представляется точечным источником, а распространение шума описывается уравнением гидролокации [191]:

$$I = I_r \frac{10^{-\alpha r}}{r^2} b(\theta) \quad , \quad (5.6)$$

где I – интенсивность в точке приема, I_r – интенсивность на опорном расстоянии 1 м от источника, r – расстояние от источника, α – коэффициент поглощения звука, $b(\theta)$ – направленность при угле θ от акустической оси. На частотах ниже 10 кГц и расстояниях до 1 км поглощение звука не превышает 1 дБ. Направленность гидроакустического поля судна на этих частотах также слабо выражена. Поэтому в модели принята круговая характеристика направленности источника шума. Кроме этого, на этих расстояниях не учитывались эффекты интерференции, связанные с отражением от граничных слоев, и влияние неоднородности морской среды [189].

Выраженное в логарифмической форме уравнение гидролокации, описывающее распространение шума до точки местоположения каждой рыбы, имеет вид [265]:

$$L_{ri} = L_{шк} - 20 \log_{10} r_i \quad , \quad (5.7)$$

где L_{ri} – используемый в модели уровень звукового давления шума в точке расположения рыбы, $L_{шк}$ – уровень шума источника в зависимости от типа судна (k) в дБ/1мкПа/1 м (рисунок 5.1); r_i – расстояние от источника до рыбы i [265].

Методические рекомендации по измерению и анализу подводного шума судов подробно представлены в наших работах [184, 188, 189, 258].

Как уже отмечалось в наших предыдущих исследованиях: «Суда, выполняющие оценки запасов рыб, в идеале не должны влиять на поведение рыб, захватываемых эхоинтегрирующей аппаратурой и орудиями лова, или свести это влияние к минимуму. Согласно рекомендации ICES уровень шума научно-исследовательского судна во время эхосъемки на частотах ниже 2 кГц не должен превышать порог восприятия рыбами шума на расстоянии 20 м» [184, 189].

Чтобы показать различия характеристик гидроакустического шума НИС-ов Тихоокеанского филиала «ВНИРО» («ТИНРО») и их влияния на поведение рыбных стай на рисунке 5.1 представлены приведенные к полосе 1 Гц усредненные спектральные характеристики пяти судов различного класса и назначения, используемых для ресурсных исследований и промысла [21, 184, 189]:

1. РТМС «Простор» – российское крупнотоннажное промысловое судно типа «Прометей».

2. «Miller Freeman» – американское научно-исследовательское судно. Используется Аляскинским центром рыбохозяйственных исследований (AFSC, NOAA USA) для проведения ресурсных исследований в Беринговом море (до 2006 г.).

3. «Oscar Dyson» – американское судно научно-исследовательского назначения. Построено в 2003 г. с учетом рекомендаций ICES № 209 по шуму [186]. С 2006 г. используется Аляскинским центром рыбохозяйственных исследований (AFSC, NOAA USA) для проведения ресурсных исследований в Беринговом море.

4. СТМ «ТИНРО» и «Профессор Кагановский» – научно-исследовательские суда типа «Атлантик–833» [28]. Используются Тихоокеанским филиалом «ВНИРО» («ТИНРО») для проведения ресурсных исследований в Беринговом и Охотском морях.

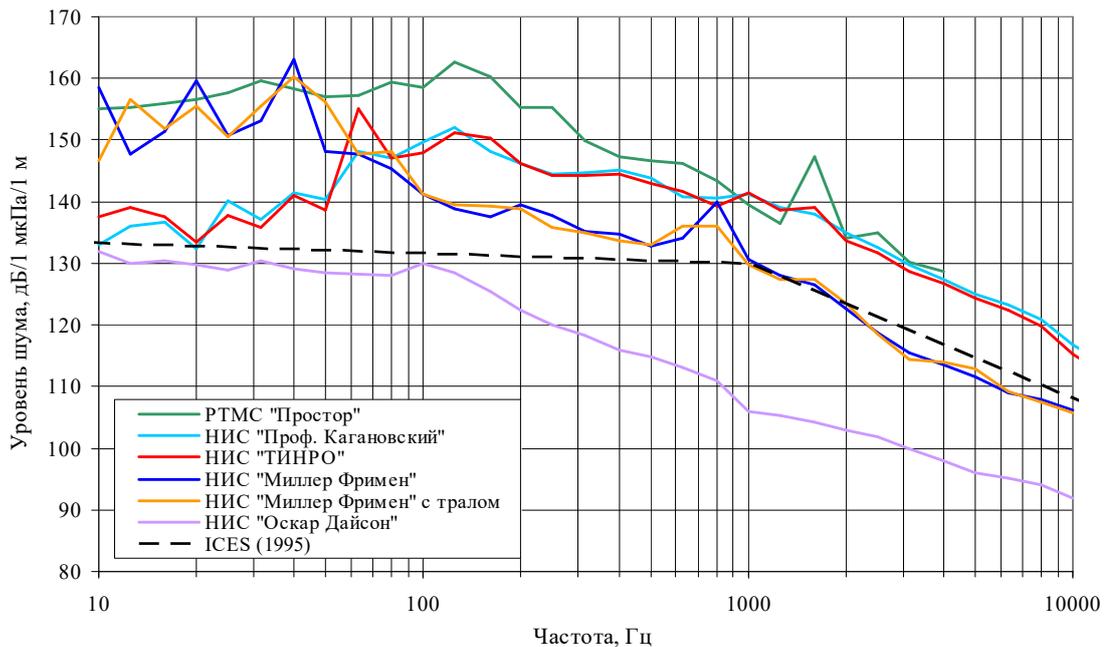


Рисунок 5.1 – Характеристики подводного шума судов и рекомендуемый ICES уровень шума [21, 184, 189]

5.2.3 Слуховые способности рыб

Большинство промысловых видов рыб, относящихся к семействам *Clupeidae*, *Gadidae*, *Salmonidae*, *Scombridae*, *Pleuronectidae*, *Cyprinidae*, *Hexagrammidae*, способны воспринимать звуки и определять направление на их источник в широком диапазоне

воспринимаемых частот и на значительных расстояниях. В результате анализа отечественных и зарубежных исследований по слуховой способности рыб, М.Ю. Кузнецовым были обобщены данные о частотных диапазонах слуховой рецепции и уровнях чувствительности рыб к звукам для многих промысловых видов рыб [184]. Эта информация позволила рассчитать пороги реакции и дистанции реагирования различных видов промысловых рыб на шумы судов в зависимости от частотного состава, интенсивности излучаемого звука и слуховых способностей рыб [184, 189, 265].

На рисунке 5.2 представлены аудиограммы – зависимости слуховых порогов рыб от частоты звука. Максимальная (пиковая) слуховая чувствительность большинства промысловых видов рыб приходится на частоты 20–1000 Гц. Слуховые пороги варьируют у различных видов промысловых рыб от 72 до 110 дБ [184].

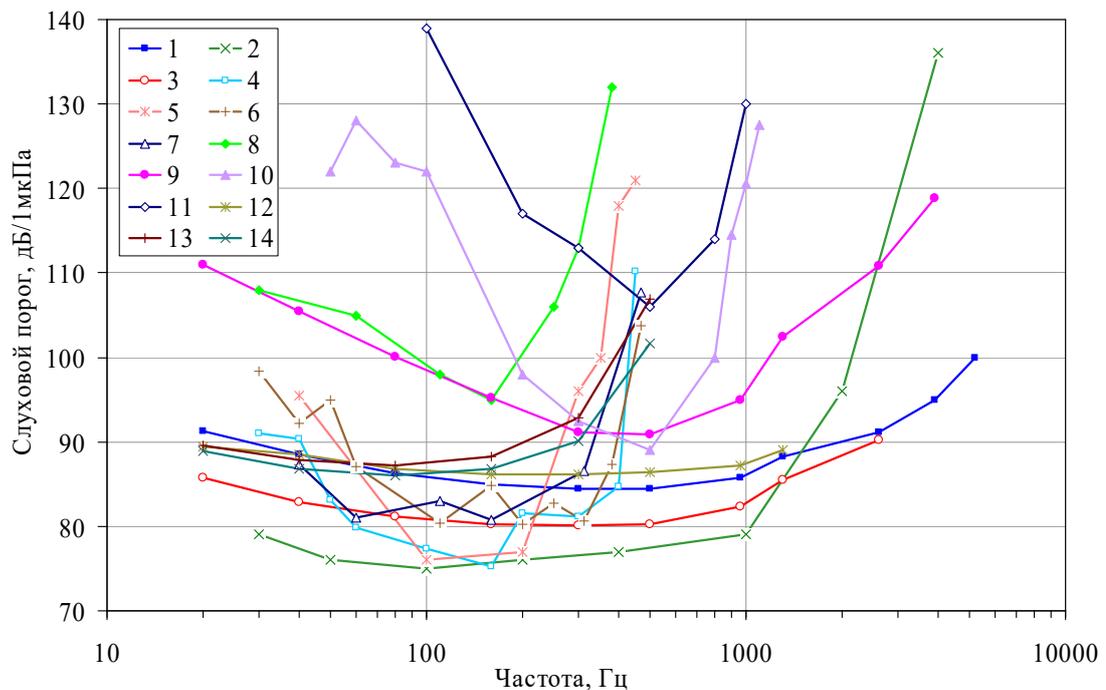


Рисунок 5.2 – Аудиограммы некоторых видов промысловых рыб:

- 1 – *Clupea pallasii*; 2 – *Clupea harengus*; 3 – *Sardinops melanostictus*; 4 – *Gadus morhua*; 5 – *Gadus chalcogrammus*; 6 – *Melanogrammus aeglefinus*; 7 – *Pollachius pollachius*; 8 – *Salmo salar*; 9 – *Scomber japonicus*; 10 – *Thunnus albacares*; 11 – *Euthunnus affinis*; 12 – *Leuciscus brandti*; 13 – *Pleuronectes stellatus*; 14 – *Pleurogrammus azonus* [184, 265]

Как видно из рисунков 5.1 и 5.2, частотные диапазоны с максимальной энергией спектра шумов судна и максимальной слуховой чувствительности большинства промысловых рыб совпадают, а уровни судового шума значительно превышают слуховые

пороги рыб. Это означает, что в процессе съемки или промысла рыбы могут воспринимать шум судна на больших расстояниях [265].

5.2.4 Пороги реакции и дистанции реагирования рыб

Реакция рыб в шумовом поле судна зависит в первую очередь от интенсивности и продолжительности излучения, то есть от того, насколько величина звукового давления сигнала превышает окружающий (фоновый) шум [184, 265]. В нашей модели фоновый шум – это минимальный воспринимаемый рыбами уровень шума (слуховой порог). Порог реакции – это уровень звукового давления, достигающий в точке приема определенного значения, превышающего фоновый шум на величину, достаточную для возникновения двигательной реакции [184, 265].

Пороги определяют фазу реакции рыб на приближающееся судно: 1 – увеличение двигательной активности рыб; 2 – направленная реакция избегания; 3 – бросковая направленная реакция в ближнем акустическом поле судна [265]. Подробно эти фазы были описаны во второй главе данной работы. Стоит отметить, что пороги реакции могут изменяться в зависимости от видовых и индивидуальных особенностей рыб, а также ситуационных факторов (контекстуальных условий) [265].

Слуховой порог рыб j -го вида (L_{cj}) на частоте максимальной слуховой чувствительности (f_n) определяется согласно рисунку 5.2. Для большинства промысловых рыб пороговые отношения шум судна/фоновый шум составляют от 18 до 35 дБ в диапазоне частот максимальной слуховой чувствительности. Порог реакции рыб (L_{pj}) в первой фазе в зависимости от вида находится по следующей формуле [265]:

$$L_{pj} = L_{cj} + B_1, \quad (5.8)$$

где B_1 – порог реакции (уровень звукового давления шума судна), при превышении которого наблюдается 1 фаза реакции избегания ($18 \leq B_1 \leq 35$ дБ).

Влияние шума на распределение рыб вокруг судна в первой фазе, видимо, несущественно, поскольку отсутствует направленное движение рыб от источника шума, хотя быстрые беспорядочные движения рыб внутри стаи тоже могут стать причиной перемещения всего косяка или стаи. В модели скорость движения рыб относительно судна в первой фазе реакции принимается за нуль [265].

Чтобы получить дистанции, на которых происходит непосредственное избегание рыбами судна, то есть вторая фаза реакции (рисунок 5.3Б), необходимо повысить порог реакции на величину, достаточную для локализации судового шума. В модели порог реакции избегания рыб (вторая фаза) находится по формуле [265]:

$$L_{\text{при}} = L_{pj} + B_2, \quad (5.9)$$

где B_2 – порог реакции (уровень звукового давления шума судна), при превышении которого наблюдается 2 фаза реакции избегания ($10 \leq B_2 \leq 20$ дБ).

На рисунке 5.3 представлены результаты расчетов зависимости от частоты дистанции реагирования наиболее массовых объектов ресурсных исследований и промысла на гидроакустические шумы судов в диапазонах слуха этих рыб [184, 189, 265]. Дистанции реагирования на рисунке 5.3А соответствуют первой фазе реакции. Дистанции на рисунке 5.3Б соответствуют второй фазе реакции, когда уровень шума судна превышает порог реакции избегания и происходит направленное движение рыб от источника шума [189, 265]. Показано, что значительные различия в дистанции реагирования рыб на шум приближающегося судна определяет, в первую очередь уровень (интенсивность) звукового поля, излучаемого судном [184]. Например, малозумное научно-исследовательское судно «Оскар Дайсон», построенное с учетом рекомендаций ICES по шуму, минтай способен обнаружить на значительно меньших расстояниях, чем НИС «Миллер Фримен». Шумовое поле рыбопромыслового судна РТМС «Простор» имеет максимальную дальность действия на гидробионтов, особенно на частотах выше 100 Гц [184]. НИС «Профессор Кагановский» и НИС «ТИНРО» в области максимальной слуховой чувствительности рыб занимают в основной части спектра промежуточное положение между НИС «Миллер Фримен» и РТМС «Простор» [189].

Дистанции реагирования рыб различных видов также существенно варьируют в зависимости от их слуховых способностей. Как видно из рисунка 5.3, наиболее чувствительными к судовому шуму объектами являются минтай и дальневосточная сардина, а наибольшую дальность действия на рыб имеет самое шумное из судов – РТМС «Простор» (более 400 м для минтая). НИС «Профессор Кагановский» и «ТИНРО» имеют вторую по дистанции зону реакции на них минтай (150 м) и трески (около 180 м). НИС «Миллер Фримен» – второй после РТМС «Простор» по дистанции избегания его тихоокеанской сельдью (свыше 200 м) [189].

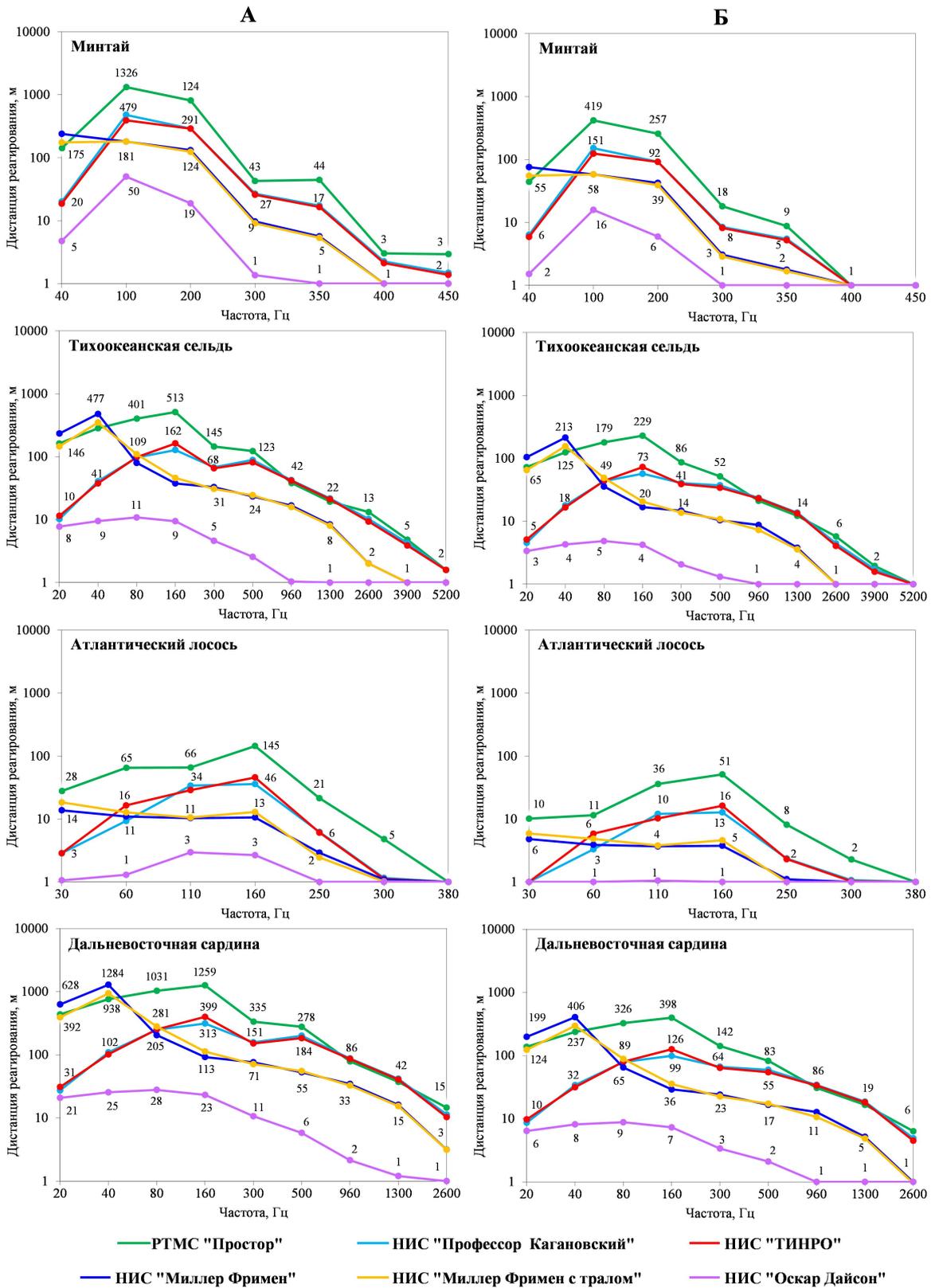


Рисунок 5.3 – Дистанции реагирования различных видов промысловых рыб на шумы судов: А – фаза №1; Б – фаза №2 [189]

По тем же расчетам лососи значимо могут реагировать только на шум РТМС «Простор» на расстояниях до 50 м. Шумы обоих НИС-ов Тихоокеанского филиала «ВНИРО» («ТИНРО») и НИС «Миллер Фримен» не оказывают существенного влияния на распределение лососей (расчетные расстояния не превышают рекомендованные ICES – 20 м). НИС «Оскар Дайсон» в дистантных показателях из рассмотренных видов рыб может оказывать влияние только на треску и минтай, но тоже на весьма незначительных расстояниях (меньше 20 м), не превышающих рекомендуемые ICES во всем диапазоне воспринимаемых этими рыбами частот [189].

По мере приближения судна, рыба попадает в его ближнее акустическое поле (около 15 м от судна), где проявляется третья фаза реакции, которая сопровождается отчетливым боковым и вертикальным движением рыбы от источника шума на бросковой скорости [184, 189, 265].

5.2.5 Плавательные характеристики рыб

Важнейшими параметрами модели являются характеристики плавательного поведения рыб в шумовом поле судна, а именно: скорость, продолжительность плавания и направление движения [265].

Наблюдения во время облова пелагических скоплений рыб показывают, что при приближении судна рыбы проявляют оборонительную реакцию, заключающуюся в изменении горизонта своего обитания, уходе в сторону от судна, либо их комбинацию [199]. С этой точки зрения важно иметь информацию о скорости, направлении и продолжительности плавания рыб в водном пространстве вокруг судна (см. рисунок 2.3). Сведения о характеристиках процесса ухода рыб от судна во время промысла дадут также возможность заранее предусмотреть изменение направления движения и ухода косяка из зоны облова.

Вопросу определения скоростей движения рыб посвящено сравнительно большое количество работ, отличающихся разнообразием методических подходов их измерения. Одни исследователи делали попытки вычислить скорость плавания рыб аналитическим путем, то есть применяли математический подход к измерению скорости движения рыбы [130, 268–271]. Этот метод основан на анализе движения рыбы и вычислении ее скорости на основе уравнений, описывающих ее движение. Рыбы перемещаются в воде по-

средством гребных движений парных плавников, ундуляции (волнообразных движений) непарных плавников, путем быстрого разгиба согнутого тела с упором на хвостовой плавник и при помощи волнообразных движений всего тела. Длительное интенсивное движение происходит при установившемся или переменном режиме ундуляции всего тела. Волна проходит от головы к хвосту. Длина волны обычно соизмерима с длиной тела рыбы. Поэтому скорость прохождения пропульсивной волны по телу рыбы может быть выражена как произведение частоты ундуляции (частоты колебаний хвостового плавника) на длину тела рыбы. Однако, применение формул в которых учитывается частота ундуляции затруднительно, т.к. измерить данный параметр можно только в экспериментальных условиях с использованием гидролоктов и высокоточной фоторегистрирующей аппаратуры. Еще одним наиболее значимым недостатком этого метода является труднодоступность экспериментального материала (живая рыба). Так, например, провести лабораторное исследование с речной рыбой намного проще, чем с морской. Обусловлено это тем, что речные рыбы, могут быть пойманы в водоемах (реках, озерах) неподалеку от места проведения эксперимента и доставка их в живом виде в научно-исследовательскую лабораторию не составит особых проблем. С другой стороны, исследование морских объектов может быть значительно сложнее, так как эти объекты часто находятся в отдаленных местах и требуют трудоемких операций для добычи и перевозки в живом виде в лабораторию. Некоторые виды морских рыб также могут быть очень хрупкими и чувствительными к изменениям условий, поэтому их добыча и транспортировка могут быть проблематичными и неэффективными. Так же на изменение частоты ундуляции влияет большое количество факторов: вид объекта, биологическое состояние, размер (у более мелкой рыбы частота ундуляции может быть выше, чем у особей большего размера) и т.д.

Другие исследования были направлены на получение данных путем измерения скоростей плавания рыб в гидролоктах и бассейнах [272–275]. В таких экспериментах обычно участвовало считанное количество или единичные экземпляры рыб, между которыми, по всей вероятности, были нарушены стайные контакты. А это существенная деталь, так как поведение одиночных рыб отличается от поведения рыб, находящихся в косяке. Также определенную проблему составляет выбор адекватных стимулов для побуждения рыб к движению.

Третья группа исследований посвящена определению скоростей рыб непосредственно в натуральных условиях в зоне облова тралом [216, 276, 277]. С помощью подводных аппаратов проводились визуальные подводные наблюдения за реакцией и скоростью движения рыб, выходящих из трала в процессе его буксировки. Скорость перемещения рыбы относительно трала определяли посредством отсчета времени прохождения ими определенного участка под или над сетным полотном.

В модели скорость плавания рыб представлена как функция уровня стимула (уровня звукового давления шума в точке приема и пороговых значений уровня шума рыбы j -го вида), согласно равенству [265]:

$$|\vec{V}_{ij}| = f(L_{ri}, L_{cj}, L_{pj}, L_{pi}, e_i) \quad (5.10)$$

Реакция начинается, когда стимул превышает заданный порог. Пока рыба не совершает направленных перемещений относительно судна, скорость плавания принимается за нуль. Первой фазой реакции является увеличение скорости плавания как функции уровня стимула ($\vec{V}_i = 0$ в модели), а вторая реакция есть типичная реакция избегания ($\vec{V}_i > 0$ в модели) [265].

Реакция сопровождается, как правило, уходом рыб в сторону от судна и (или) их вертикальным перемещением. Соответственно, можно выделить горизонтальную (\vec{V}_T) и вертикальную (\vec{V}_B) составляющие скорости движения рыб (рисунок 5.4). Результирующие векторы скорости (направления) движения рыб от судна (\vec{V}_P) определяются видовым стереотипом защитного двигательного поведения объектов различных этологических групп и размеров (возрастных классов) на шумовой раздражитель [265]. Оборонительная (защитная) реакция малоподвижных придонных рыб (треска, пикша, крупный минтай) характеризуется в большей степени их затаиванием, чем стремлением уйти из опасной зоны, поэтому у этих рыб преобладают вертикальные составляющие скорости (\vec{V}_B). Реакция быстрых приповерхностных рыб (скумбрия, тунцы, лососи) характеризуется более активным горизонтальным избеганием шумового поля судна [33, 199, 259]. Вертикальная составляющая скорости движения этих рыб невелика. Реакция вертикально мигрирующих видов рыб (сельдь, ставрида, молодь тресковых) сопровождается как горизонтальными, так и вертикальными движениями [184].

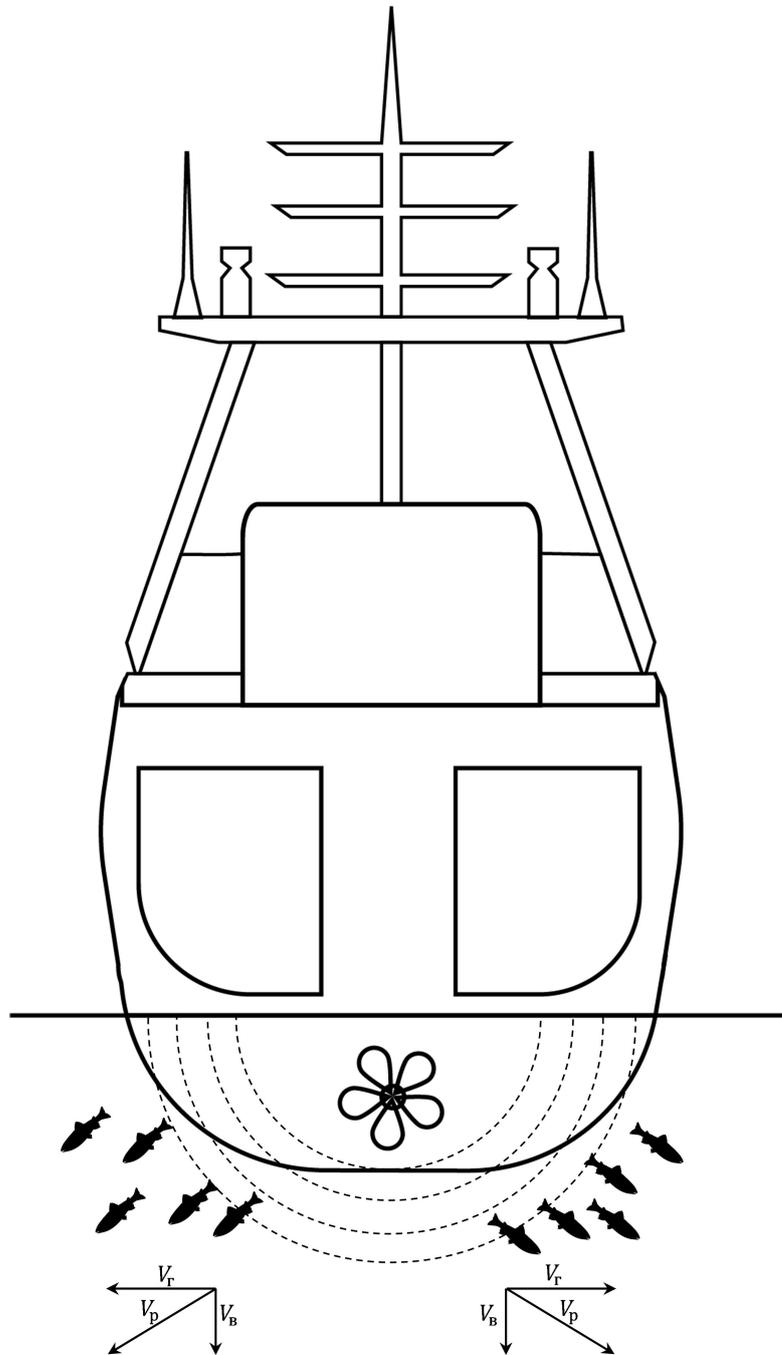


Рисунок 5.4 – Схема реакции рыб в шумовом поле судна [184]

Горизонтальная составляющая скорости (\vec{V}_r) связана с продолжительностью движения и может быть *крейсерской*, *максимальной* и *бросковой* [184].

Под «*крейсерской*» ($V_{кр}$) понимается скорость, которую рыбы могут поддерживать в течение длительного времени – от десятков минут до нескольких часов, а при миграциях даже сутками. Данная скорость характерна для *первой фазы двигательной реакции рыб* [265].

У большинства рыб эти скорости обычно находятся в пределах 1–4 l_p/c (длина тела в секунду). Для малоподвижных придонных объектов скорости перемещения составляют 1–2 l_p/c , у быстрых пелагических рыб – 2–3 l_p/c , а у лососевых и сельдевых скорости движения при миграциях составляют 3–4 l_p/c [7, 268, 272, 273, 275, 278–280]. Для условий формирования двигательной реакции и структуры скопления рыб в первой фазе реакции (возбуждение объекта) крейсерская скорость наиболее приемлема [184].

Максимальные скорости (V_M) – на этих скоростях рыбы мобилизуют свои энергетические возможности. Продолжительность движения при таких скоростях сравнительно небольшая. У донных и придонных рыб она составляет не более 5 минут, а у пелагических рыб до 10–15 минут, хотя после этого рыбы еще сохраняют способность плыть в более медленном темпе. В зоне облова трала максимальные скорости у рыб наблюдаются под воздействием довольно сильного раздражителя акустического или оптического характера. Скорость движения рыб на V_M характерна для *второй фазы реакции избегания* и может составлять: для пелагических рыб – 5–14 l_p/c , а для придонных и донных – 3–8 l_p/c [265]. В модели рыбы двигаются от судна на максимальной скорости. При этом скорость рыб во второй фазе реакции избегания плавно нарастает от крейсерской при $L_{\text{ри}} = L_{\text{рj}} + 10$ дБ и достигает максимального значения при $L_{\text{ри}} = L_{\text{рj}} + 20$ дБ [265].

Бросковая скорость (V_6) наблюдается у рыб на очень близком расстоянии от судна (в ближнем акустическом поле) и характерна для *третьей фазы двигательной реакции рыб*. В зоне действия шумового поля судна, а также активных орудий лова поведение рыб часто определяется короткими стремительными бросками в течение непродолжительного времени – от долей до нескольких секунд и наблюдается при быстром нарастании уровня раздражения на критической дистанции от стимула [265]. Сравнительно небольшие дистанции бросков рыб (1–3 м) имеют очень важное биологическое защитное значение, если они форсируются с большой скоростью. Например, в зоне действия тралов короткий бросок даже на не предельно возможную дистанцию может обеспечить рыбе молниеносный выход из зоны облова. При бросках рыбы, в зависимости от вида и размера, способны развивать скорость по различным данным от 6 до 30 и более l_p/c [184].

В ходе научных исследований, связанных с оценкой плавательной способности рыб, многие ученые сконцентрировались на изучении максимальных скоростей плава-

ния рыб, при этом связывали скорость и длину рыбы через введение в выражения различных безразмерных коэффициентов. Например, В.В. Шулейкин [268] считал, что между l_p и максимальной скоростью движения рыбы (V_M) существует связь в виде:

$$V_M = \alpha \times l_p^\gamma, \quad (5.11)$$

где α – видовой характеристический коэффициент; γ – показатель степени, принимаемый от зависимости длины рыбы (l_p), значение от 1 до 0,33.

Коэффициент α колеблется в очень широких пределах: от 16 (для морского окуня) до 282 (для тунца), то есть почти в восемнадцать раз. При этом не замечается какой-либо определенной зависимости величины этого коэффициента от длины рыбы. Из этого можно сделать заключение, что на практике зависимость между максимальной скоростью движения и длиной рыбы носит более сложный характер, чем тот, который дает теория.

В.Н. Мельников в своих исследованиях [281] для расчета максимальной скорости рыбы, с которой она способна перемещаться в трале или в его предустьевом пространстве в течение нескольких десятков минут предлагает использовать следующую формулу:

$$V_M = k_V \times l_p / c, \quad (5.12)$$

где l_p – длина рыбы, м; k_V – коэффициент, величина которого зависит в основном от плавательной способности рыб, светлого режима в водоемах, возраста рыб и в основном лежит в пределах от 4-5 до 12-13. Меньшие значения k_V соответствуют донным рыбам, большие – пелагическим. Для крупных рыб значения коэффициента на 2-3 меньше, чем для мелких того же вида.

В предлагаемой в данном исследовании модели, максимальная скорость рыб определялась по формуле Н.Н. Андреева [130]:

$$V_M = (n \times l_p + m) / c, \quad (5.13)$$

где n и m – эмпирические коэффициенты, связанные с видом рыбы. Для быстрых пелагических рыб (тунцы, лососи, скумбрия, ставрида и др.) $n = 4$, $m = 2,2$ м; для промежуточной группы рыб (тресковые, сельдевые, кефаль, судак и др.) $n = 3$, $m = 0,65$ м; для частичковых (каarp, сазан, краснопёрка, карась и др.) $n = 2$, $m = 0,5$ м; для малоподвижных донных (бычки, камбалы, морской окунь и др.) $n = 1$, $m = 0,25$ м [129, 184].

Скорости вертикальных перемещений рыб.

Касаясь вопроса скорости погружения рыб, следует иметь в виду, что рыбы могут уходить от источника раздражения наклонно вниз, развивая максимальные скорости. Но вертикальная составляющая скорости перемещения по сравнению с горизонтальной скоростью будет иметь меньшую величину, что связано со способностью рыб переносить изменение гидростатического давления – необходимостью регулирования своего собственного давления с гидростатическим давлением окружающей среды [282]. Основным органом гидростатического приспособления у большинства пелагических рыб является плавательный пузырь. По своему строению он может быть замкнутым (как, например, у тресковых и окуневых рыб) или открытым (у сельдевых, лососевых рыб). Ряд рыб (некоторые скумбриевые, тунцовые) вообще не имеют плавательного пузыря. Гидростатические приспособления рыб функционируют в условиях резкой смены давления при разнообразных вертикальных миграциях и при кратковременных резких бросках рыб за жертвой или при испуге, в частности в зоне действия промысловой системы «судно–трал».

Величины скоростей погружения рыб, по всей видимости, определяются сложившимися в процессе эволюции биологическими особенностями вида и конкретными факторами внешней среды. У открытопузырных рыб погружение и подъем осуществляются достаточно легко. При нырянии такие рыбы, например сельдь, могут выпускать из пузыря газ, утяжеляя таким способом свое тело, чтобы облегчить погружение. Эти рыбы не могут длительное время находиться на глубине с опустошенным пузырем и скоро вновь поднимаются к поверхности. Последующее заполнение плавательного пузыря может осуществляться как непосредственно заглатыванием воздуха с поверхности, так и благодаря внутренней секреции. При подъеме рыб, адаптированных к глубинным слоям, давление газов внутри плавательного пузыря уменьшается, а его объем соответственно увеличивается. У рыб с открытым плавательным пузырем безопасное всплытие осуществляется сравнительно легко за счет выпуска излишков газа через воздушный про-

ток и рот или, как, например, у сельдевых, через отверстие в пузыре, расположенное около анального отверстия [282].

Вертикальная скорость (V_v) или погружения рыб изучена не достаточно. V_v не является постоянной. Так, по наблюдениям Д.В. Радакова и Н.Н. Данилевского: «скорость погружения хамсы в среднем составляет 0,3 м/с, но в первый момент она примерно в два раза выше» [283]. По наблюдениям Б.М. Мантейфеля: «скорость погружения хамсы составляет 0,5 м/с, а сельди 0,5-0,7 м/с» [211]. Обобщая все наблюдения, В.Н. Честной пришел к выводу, что: «для практических расчетов можно принять скорость погружения рыб, равной 0,5-0,7 м/с, а скорость подъема обычно не превышает 0,5 м/с» [131].

М.Ю. Кузнецов в своей работе о двигательном поведении рыб в шумовом поле судна [184], говоря о скорости движения рыб, делает следующие выводы: «скорость движения рыбы в определенный момент времени представляет собой переменную величину, изменяющуюся в широком диапазоне и зависящую от множества факторов, включая уровень сигнала, вид, размер и физиологическое состояние рыбы. Процесс перехода от одной фазы скорости рыбы к другой и границы этих переходов во время реакции, также имеют условный характер. Например, с приближением судна горизонтальная скорость перемещения рыб может плавно изменяться от крейсерской до максимальной, а при увеличении расстояния до судна опять снижаться до стайерской или даже фоновой. Время старта бросковой скорости плавания рыб вблизи судна также может существенно варьировать в связи с состоянием и возрастом рыб, влиянием разнообразных биотических и абиотических факторов. Поэтому горизонтальная и вертикальная составляющая скорости и направления движения рыб в пространстве вокруг судна и их результирующая для каждого вида и размера рыб и должны в дальнейшем уточняться эмпирически в модельных (экспериментальных) условиях с учетом температурного режима вод и физиологического состояния объекта» [184]. Используемые в модели скорости плавания рыб представлены в таблице 5.1.

Направление движения. Рыбы стремятся минимизировать величину звукового стимула, действующего на их слуховые рецепторы. Иначе говоря, движение рыб осуществляется в направлении, противоположном градиенту звукового давления шума, создаваемого судном [265]. Минимизация действия звукового поля выражается в коллинеарности векторов:

$$\frac{dL_{ri}}{dx} \times \vec{i} + \frac{dL_{ri}}{dy} \times \vec{j} + \frac{dL_{ri}}{dz} \times \vec{k} \parallel -\vec{r}_i, \quad (5.14)$$

где L_{ri} – уровень звукового давления шума в точке расположения i -й рыбы;

\vec{r}_i – вектор расстояния от судна до i -й рыбы;

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы по координатным осям x, y, z , соответственно.

Выносливость. Выносливость, e_i , определяется как время, в течение которого рыба может поддерживать данную скорость плавания. По некоторым данным [7, 165] пелагические рыбы могут проплывать на максимальной скорости довольно значительные расстояния (более 200 м) без усталости. В нашей модели речь идет о небольших временных интервалах (порядка 5-10 мин.) и расстояниях (до 200 м). Поэтому выносливость (продолжительность плавания на заданной скорости) можно не вводить как параметр модели [265].

5.3 Программное обеспечение для оценки взаимодействия скоплений рыб с промысловой системой судно–трал (работа модели)

Изменение плотности рыбного скопления при взаимодействии с промысловой системой судно–трал непосредственным образом может влиять на коэффициент уловистости орудий лова. Для оценки состояния скоплений рыб при взаимодействии с промысловой системой судно–трал и их численной интерпретации требуется иметь информацию о распределении и плотности рыб в любой точке акватории вокруг судна в любой момент времени. Для этой цели на языке программирования «DeLphi» была разработана программа «Noise» (рисунок 5.5), которая реализует алгоритм модели поведения рыб в шумовом поле судна (рисунок 5.6). В качестве входных параметров в модели использованы характеристики акустического поля судна (п.п. 5.2.2), слуховой чувствительности рыб (п.п. 5.2.3), пороги и фазы реакции, дистанции реагирования рыб (п.п. 5.2.4), стереотипы двигательных реакций рыб на акустический стимул и их плавательные (энергетические) характеристики, а именно: скорость, продолжительность плавания и направление движения (таблица 5.1).

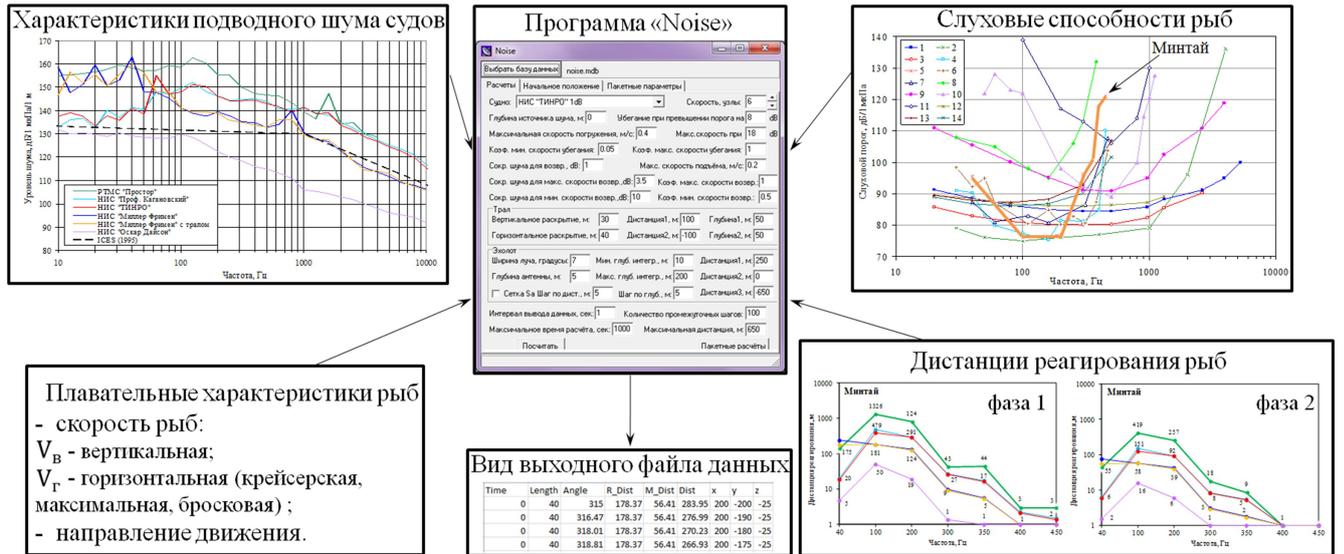


Рисунок 5.5 – Алгоритмическая схема программы «Noise»

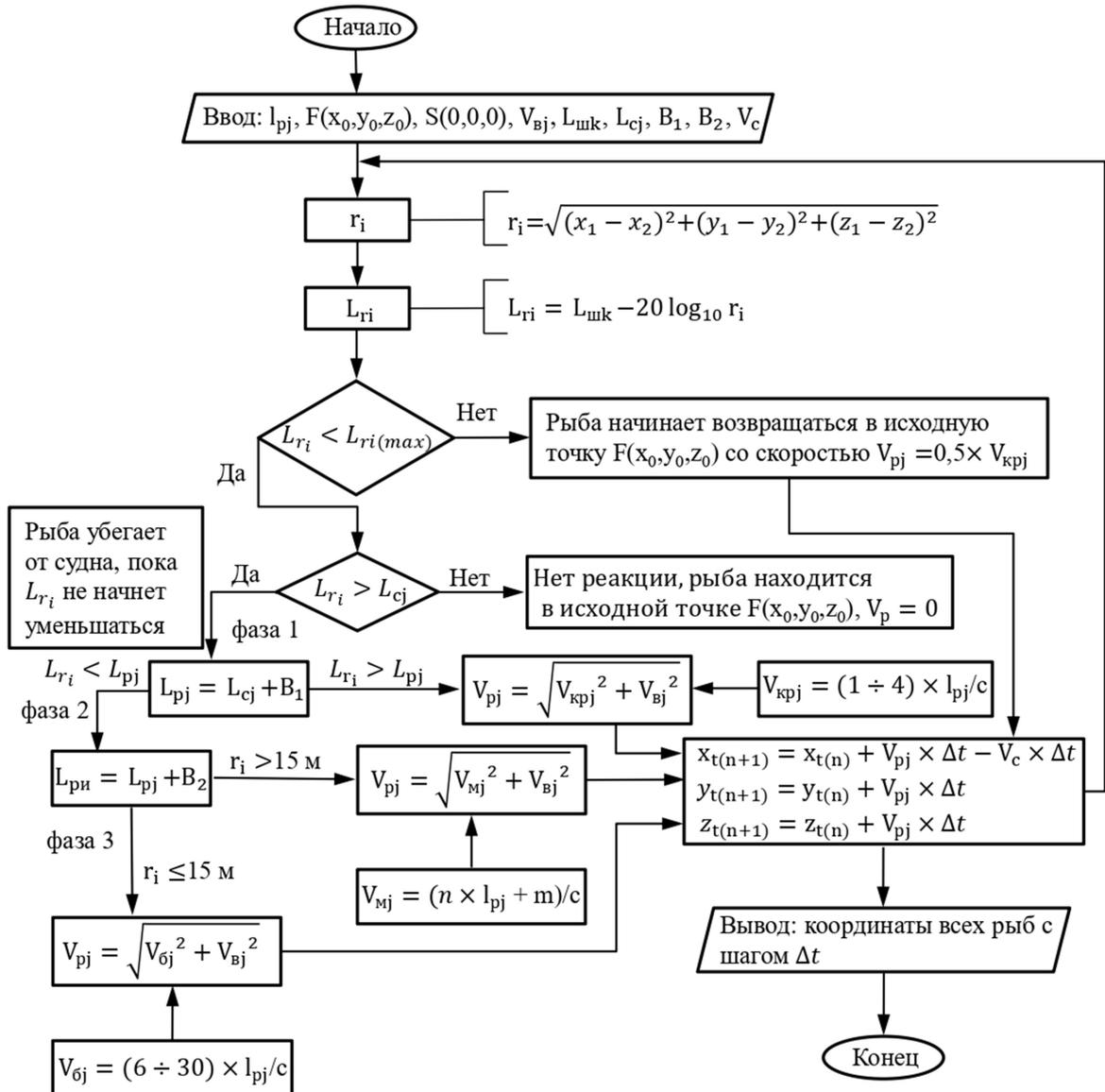


Рисунок 5.6 – Алгоритм модели поведения рыб в шумовом поле судна

Программа «Noise» позволяет рассчитывать горизонтальное и вертикальное положение рыб относительно судна с любым временным интервалом от 0,01 с, то есть в реальном масштабе времени [265, 266].

Таблица 5.1 – Входные параметры модели [265, 266]

Параметр	Описание	Величина	Единица измерения
l_{pj}	Длина рыбы j-го вида	Задается	м
$S(0,0,0)$	Координаты судна (x, y, z)	Задается	-
$F(x_0, y_0, z_0)$	Начальные координаты рыбы (x, y, z)	Задается	-
r_i	Расстояние от судна до рыбы	$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$	м
$F_t(x_t, y_t, z_t)$	Координаты рыбы в момент времени t относительно судна $S(0,0,0)$	$x_{t(n+1)} = x_{t(n)} + V_{pj} \times \Delta t - V_c \times \Delta t$ $y_{t(n+1)} = y_{t(n)} + V_{pj} \times \Delta t$ $z_{t(n+1)} = z_{t(n)} + V_{pj} \times \Delta t$	-
Δt	Шаг по времени между расчетными значениями	Задается	с
V_{pj}	Результирующая скорость рыбы	$\sqrt{V_{rj}^2 + V_{vj}^2}$	м/с
V_{vj}	Вертикальная составляющая скорости движения рыб вида j	0,3÷0,7	м/с
V_{rj}	Горизонтальная составляющая скорости движения рыб вида j, в том числе:		
$V_{крj}$	Крейсерская скорость (первая фаза реакции)	$(1 \div 4) l_{pj}/c$	м/с
V_{mj}	Максимальная (спринтерская) скорость (вторая фаза реакции)	Формула 5.13	м/с
V_{bj}	Бросковая скорость (третья фаза реакции)	$(6 \div 30) l_{pj}/c$	м/с
$L_{шk}$	Уровень звукового давления шума судна типа k на частоте f_n	Рисунок 5.1	дБ/1 мкПа/1 м
L_{ri}	Уровень звукового давления шума в точке расположения i -й рыбы	Формула 5.7	дБ/1 мкПа
$L_{ri(max)}$	максимальный уровень звукового давления шума в точке расположения i -й рыбы, при уменьшении которого рыба начинает двигаться в направлении исходной точки $F(x_0, y_0, z_0)$	Формула 5.7	дБ/1 мкПа
L_{cj}	Слуховой порог рыб вида j на частоте f_n	Рисунок 5.2	дБ/1 мкПа
L_{pj}	Порог реакции рыб вида j (первая фаза)	$L_{cj} + B_1$	дБ/1 мкПа
B_1	Порог реакции (уровень звукового давления шума судна), при превышении которого наблюдается 1 фаза реакции избегания	$18 \leq B_1 \leq 35$	дБ/1 мкПа
$L_{pн}$	Порог реакции избегания рыб (вторая фаза)	$L_{pj} + B_2$	дБ/1 мкПа
B_2	Порог реакции (уровень звукового давления шума судна), при превышении которого наблюдается 2 фаза реакции избегания	$10 \leq B_2 \leq 20$	дБ/1 мкПа
V_c	Скорость судна	Задается	м/с

Рыбы согласно модели движутся в направлении, противоположном градиенту звукового давления шума. В начальный момент времени весь массив рыб в программе располагается по горизонтали и вертикали через равные интервалы дистанции от 1 до 10 м. Эти интервалы выбираются исходя из скорости хода судна для удобства односекундного представления результатов расчета. Судно двигается вдоль оси x и как источник шумового поля моделируется точкой с нулевыми значениями координат x, y, z (x – ось по курсу судна, y – ось поперек курса судна, z – вертикальная ось) [265, 266].

Программа работает с базой данных «Noise.mdb» (формат Access 2000), в таблицах которой заложены все исходные данные и параметры для расчета. Структура таблиц показана на рисунке 5.7 [265, 266].

The figure shows five screenshots of Microsoft Access database tables. Each screenshot is numbered in a circle in the top right corner.

1. Ship table:

Ship_id	Ship_name
1	НИС "Оскар Дайсон"
2	НИС "Миллер Фримен"
3	НИС "Миллер Фримен" с тралом
4	РТМС "Простор"
5	НИС "Проф. Кагановский"
6	Кагановский исправл.
7	НИС "ТИНРО"
8	Кагановский углы10
9	НИС "ТИНРО" углы10
10	Кагановский 1dB.
11	НИС "ТИНРО" 1dB

2. Ship_noise table:

Ship_idx	Angle	Frequency	Noise
НИС "Проф. Кагановский"	0	125	161.7431
НИС "Проф. Кагановский"	0	160	161.681
НИС "Проф. Кагановский"	0	200	159.6973
НИС "Проф. Кагановский"	0	250	159.7407
НИС "Проф. Кагановский"	0	315	159.5302
НИС "Проф. Кагановский"	0	400	161.1751
НИС "Проф. Кагановский"	0	500	157.8839
НИС "Проф. Кагановский"	0	630	154.2034
НИС "Проф. Кагановский"	0	800	155.0632
НИС "Проф. Кагановский"	0	1000	156.0811
НИС "Проф. Кагановский"	0	1250	151.4899

3. Fish table:

Fish	Fish_Name	Vmax_a	Vmax_b	TSLCoef_A	TSLCoef_B	ear_size1	ear_size2	ear_loss1	Max_dive
1	Минтай (Theragra chalcogramma)	3	0.65	20	-68	0.15	0.3	-3	
2	Треска (Gadus morhua)	3	0.65	20	-68				
3	Лосось (Salmo salar)	4	2.2	20	-68				
4	Тихоокеанская сельдь (Clupea pallasii)	3.5	1.5	20	-72				
5	Атлантическая сельдь (Clupea harengus)	3.5	1.5	20	-72				
6	Японская скумбрия (Scomber japonicus)	4	2.2	20	-66				
7	Красноперка (Leuciscus brandti)	2	0.5	20	-66				
8	Сардина (Sardinops sagax melanosticta)	3.5	1.5	20	-66				
9	Камбала (Pleuroneetes stellatus)	1	0.25	20	-66				
10	Терпуг (Pleurogrammus azonus)	2	0.5	20	-66				
11	Желтоперый тунец (Thunnus albacares)	4	2.2	20	-66				
12	Пятнистый тунец (Euthunnus affinis)	4	2.2	20	-66				
13	Пикша (Melanogrammus aeglefinus)	3	0.65	20	-66				
14	Сайда (Pollachius pollachius)	3	0.65	20	-66				
15	Минтай (преднерестовый)	3	0.65	20	-68				

4. Fish_porog table:

Fish_idx	Frequency	Porog
Минтай (Theragra chalcogramma)	40	115.5
Минтай (Theragra chalcogramma)	100	96
Минтай (Theragra chalcogramma)	200	97
Минтай (Theragra chalcogramma)	300	116
Минтай (Theragra chalcogramma)	350	120
Минтай (Theragra chalcogramma)	400	138
Минтай (Theragra chalcogramma)	450	141
Треска (Gadus morhua)	30	111
Треска (Gadus morhua)	40	110.4
Треска (Gadus morhua)	50	103.1
Треска (Gadus morhua)	60	99.8
Треска (Gadus morhua)	100	97.3
Треска (Gadus morhua)	160	95.3

5. Fish_pos table:

Fish_num	Fish_idx	Fish_len	x_pos	y_pos	z_pos
1	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-200	25
3	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-190	25
5	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-180	25
6	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-175	25
7	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-170	25
8	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-165	25
9	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-160	25
10	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-155	25
11	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-150	25
12	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-145	25
13	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-140	25
14	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-135	25
15	Минтай (Theragra chalcogramma)	0.4	200	-130	25

Рисунок 5.7 – Структура базы данных программы «Noise»: 1 – таблица «Ship», 2 – таблица «Ship noise», 3 – таблица «Fish», 4 – таблица «Fish porog», 5 – таблица «Fish pos» [265, 266]

1. Таблица «Ship» содержит названия судов, по которым есть информация об их шумовых характеристиках.

2. Таблица «Ship noise» содержит информацию о шумовых характеристиках судов:

Angle – угол в задающем направлении относительно основной плоскости судна (где 0° – нос, 180° – корма), при котором рассчитывается шум судна;

Frequency – частоты, на которых измерен шум судна;

Noise – уровень измеренного шума в данном направлении на данной частоте;

3. Таблица «Fish» содержит следующую информацию:

Fish name – список видов рыб (см. рисунок 5.2);

V_{max_a} / V_{max_b} – коэффициенты, определяющие скоростные характеристики рыб;

$TS_{LCoef_A} / TS_{LCoef_B}$ – параметры, по которым ведется расчет силы цели (*TS*) рыб;

ear_size_1 / ear_size_2 – минимальный и максимальный размер рыбы, в зависимости от которых пропорционально снижается слуховая чувствительность рыб на величину ear_loss_1 ;

ear_loss_1 – разница в слуховой чувствительности рыб, в зависимости от размера рыбы, дБ. Для рыб максимального размера и выше – базовая чувствительность, а для рыб меньшего минимального размера – значение будет ниже на величину ear_loss_1 ;

Max_dive – максимальная глубина погружения рыбы относительно начальной позиции, м.

4. Таблица «Fish_porog» содержит информацию об аудиограммах рыб (данные о слуховой чувствительности в зависимости от частоты).

5. В таблице «Fish_pos» задается вид и порядковый номер каждой рыбы, ее длина (м) и начальное положение в пространстве относительно судна (м): *x* – впереди (положительные значения) и позади (отрицательные значения) относительно курса судна, *y* – с левой (положительные значения) и с правой (отрицательные значения) стороны относительно курса судна, *z* – глубина.

В соответствующих полях программы «Noise», к которой подгружается база данных Noise.mdb, для расчета взаимодействия рыб с судном задаются необходимые параметры (рисунок 5.8) [265, 266]:

– «Судно» – выбирается из списка судов с известными данными о характеристиках подводного шума;

– «Скорость, узлы» – указывается скорость судна в узлах (мор. миля/час);

- «Глубина источника шума, м» – глубина нахождения винтов судна (в большинстве случаев – 0 м);
- «Убегание при превышении порога на, дБ» – превышение сигнала над слуховым порогом, при котором начинается реакция избегания, дБ;
- «Максимальная вертикальная скорость, м/с» – вертикальная составляющая скорости перемещения рыб. Скорости погружения составляют 0,3-0,7 м/с;
- «Макс. скорость при, дБ» – превышение сигнала над слуховым порогом, при котором скорость движения рыб становится максимальной;
- «Кэф. мин. скорости убегания» – описывает начальную скорость убегания рыбы, измеряется в долях от V_{max} ;

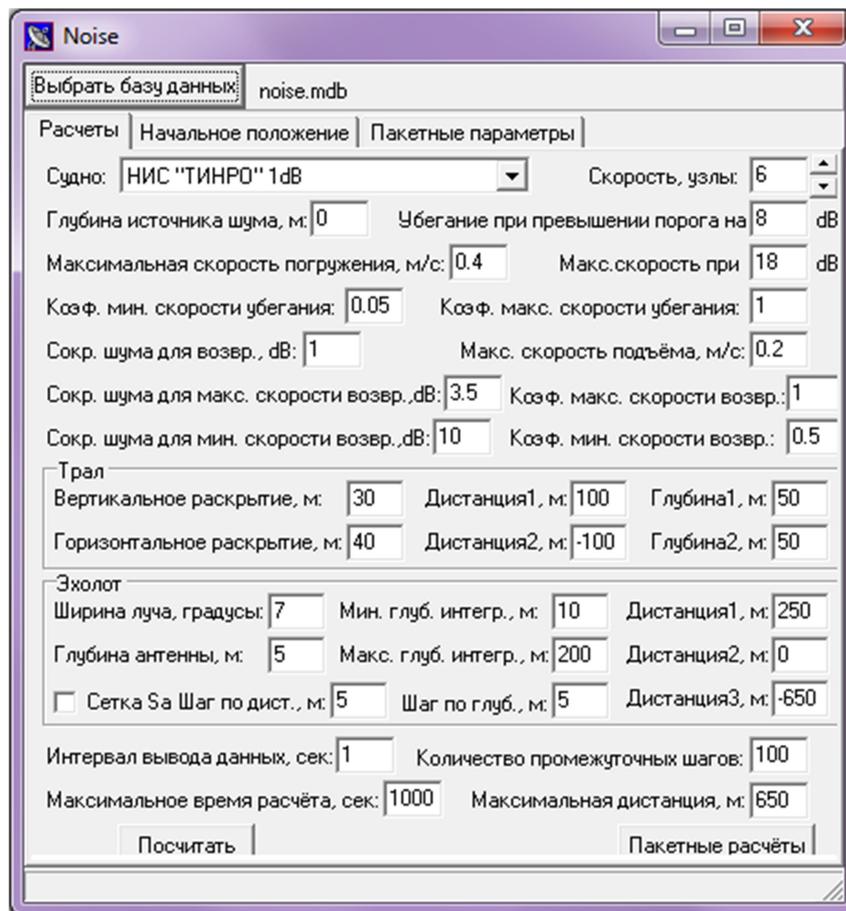


Рисунок 5.8 – Интерфейс программы «Noise» [265, 266]

- «Кэф. макс. скорости убегания» – описывает максимальную скорость убегания рыбы, измеряется в долях от V_{max} , значение 1 соответствует V_{max} ;
- «Сокр. шума для возвр., дБ» – величина уменьшения уровня шума слышимого рыбой относительно максимального, при котором рыба начинает возвращаться в исход-

ное положение, зависит от положения рыбы в пространстве относительно источника шума, дБ;

– «Макс. скорость подъема, м/с» – максимальная скорость подъема рыбы в исходное положение (обычно меньше скорости погружения);

– «Сокр. шума для макс. скорости возвр., дБ» – величина уменьшения уровня шума слышимого рыбой относительно максимального, при котором рыба развивает максимальную скорость (V_{max}) в процессе возвращения в исходное положение, дБ;

– «Коэф. макс. скорости возвр.» – доля от максимальной скорости;

– «Сокр. шума для мин. скорости возвр., дБ» – величина, на которую уменьшается максимальный уровень шума слышимый рыбой, при котором рыба развивает минимальную скорость возврата, дБ;

– «Коэф. мин. скорости возвр.» – доля от максимальной скорости;

Подменю «Трал» содержит следующие параметры:

– «Вертикальное раскрытие / Горизонтальное раскрытие, м» – вертикальное и горизонтальное раскрытие трала, измеренное с помощью траловых датчиков или взятое из технической документации по данному орудю лова;

– «Дистанция 1 / Дистанция 2, м» – указывается расстояние от судна до трала, где рассчитывается количество рыбы (в шт. или %) прошедшее через устье трала; с учетом шумового поля на данной дистанции рассчитывается количество рыбы, если бы там прошел трал с данным вертикальным и горизонтальным раскрытием;

– «Глубина 1 / Глубина 2, м» – указывается горизонт хода трала (глубина верхней подборы). На этой глубине, с учетом раскрытия трала рассчитывается количество рыбы в штуках или в процентах от суммарного по всему диапазону глубин;

Подменю «Эхолот» содержит следующие параметры:

– «Ширина луча, градусы» – задается ширина луча используемого эхолота (согласно документации эхолота), например, у научного эхолота ЕК-60 SIMRAD ширина луча составляет 7°;

– «Глубина антенны, м» – глубина нахождения антенны эхолота (обычно антенна располагается на киле судна, в отдельных случаях крепится на выдвижных устройствах ниже поверхности воды);

– «Мин. глубина интегр., м» – глубина с которой производится интегрирование (расчет) S_A (коэффициента обратного поверхностного рассеяния на квадратную морскую

милю ($\text{м}^2/\text{миля}^2$)), эта величина зависит от «глубины антенны» и учетом акустической «мертвой зоны» антенны эхолота;

– «Макс. глубина интегр., м» – максимальная глубина до которой производится интегрирование S_A ;

– «Дистанция 1 / Дистанция 2 / Дистанция 3, м» – указывается дистанция до объекта (рыбы) впереди судна, под судном и после прохода судна, где рассчитывается количество рыбы в акустических единицах S_A или в %;

– «Сетка S_A Шаг по дист., м» – расстояние, через которое рассчитываются данные по S_A , м;

– «Шаг по глуб., м» – дистанция по глубине, с которой рассчитывается положение рыб, м;

– «Интервал вывода данных, сек.» – время, через которое записывается положение рыб (частота записи данных в файл; чем больше число, тем реже запись);

– «Количество промежуточных шагов» – число отрезков времени, содержащиеся в «Интервал вывода данных, сек.»;

– «Максимальное время расчета, сек» – ограничение времени расчёта (обычно составляет 1000 с);

– «Максимальная дистанция, м» – дистанция впереди и позади судна, в течение которой рассчитывается положение рыбы и записывается в файл «NoiseOut.csv».

В выходном файле данных «NoiseOut.csv» выводится положение каждой рыбы относительно судна как по горизонтали, так и по вертикали с заданным временным интервалом (рисунок 5.9). Интервалы выбираются исходя из скорости хода судна от 1 до 5 м для удобства односекундного представления интервалов времени. Судно движется вдоль оси x и как источник шумового поля моделируется точкой с нулевыми значениями координат [265, 266].

Time	Num	Idx	Name	Length	MaxSpeed	CurSpeed	Angle	R_Dist	M_Dist	Dist	x	y	z
0 1_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	315	178.37	56.41	283.95	200	-200	-25
0 3_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	316.47	178.37	56.41	276.99	200	-190	-25
0 5_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	318.01	178.37	56.41	270.23	200	-180	-25
0 6_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	318.81	178.37	56.41	266.93	200	-175	-25
0 7_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	319.64	178.37	56.41	263.68	200	-170	-25
0 8_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	320.48	178.37	56.41	260.48	200	-165	-25
0 9_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	321.34	178.37	56.41	257.34	200	-160	-25
0 10_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	322.22	178.37	56.41	254.26	200	-155	-25
0 11_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	323.13	178.37	56.41	251.25	200	-150	-25
0 12_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	324.06	178.37	56.41	248.29	200	-145	-25
0 13_0	1	1	Минтай (Theragra chalcogramma)	40	1.85	0	325.01	178.37	56.41	245.41	200	-140	-25

Рисунок 5.9 – Пример выходного файла данных [265, 266]

Работу программы и модели в целом демонстрируют рисунки 5.10–5.15, на которых в различных ракурсах отображается процесс изменения местоположения (локализации) и плотности рыб при их взаимодействии с шумовым полем движущегося судна в реальном масштабе времени. Исходное распределение рыб в модели принимается равномерным по горизонту и глубине. Задавая вид и размер рыбы, тип и скорость движения судна (характеристики акустического поля) можно рассчитать (прогнозировать) горизонтальное и вертикальное положение рыб относительно судна в любой момент времени [259, 265, 266].

Вид сверху (рисунок 5.10) иллюстрирует горизонтальную избегательную реакцию, выражающуюся в уходе рыб в стороны от судна. Отчетливо видно возмущенную область, в пределах которой происходит реакция избегания и искажение пространственного распределения рыб. Вследствие реакции избегания рыбы перемещаются противоположно градиенту давления шумового поля судна со скоростями избегания в пределах дистанции избегания [265, 266].

Площадь возмущенной области (зоны реакции рыб) и количество отклонившихся особей существенно сокращается с глубиной. Горизонтальные и вертикальные смещения особей, минимизирующие влияние шума, по мере удаления от судна уменьшаются. В результате, на краях возмущенной области образуется зона, где плотность реагирующих рыб становится выше исходной [259]. Эта зона формируется как по бокам, так и под килем судна и выглядит как полусфера, радиусом которой является дистанция реагирования рыб (рисунок 5.10, 5.12).

Сравнивая распределения рыб в пространстве в зависимости от их размеров можно видеть, что крупные рыбы, имеющие более высокие энергетические и слуховые способности, в процессе реакции смещаются дальше от судна и имеют большую площадь возмущения, чем мелкие объекты, что демонстрирует одно из проявлений селективирующего влияния шумового поля на размерную структуру улова [259].

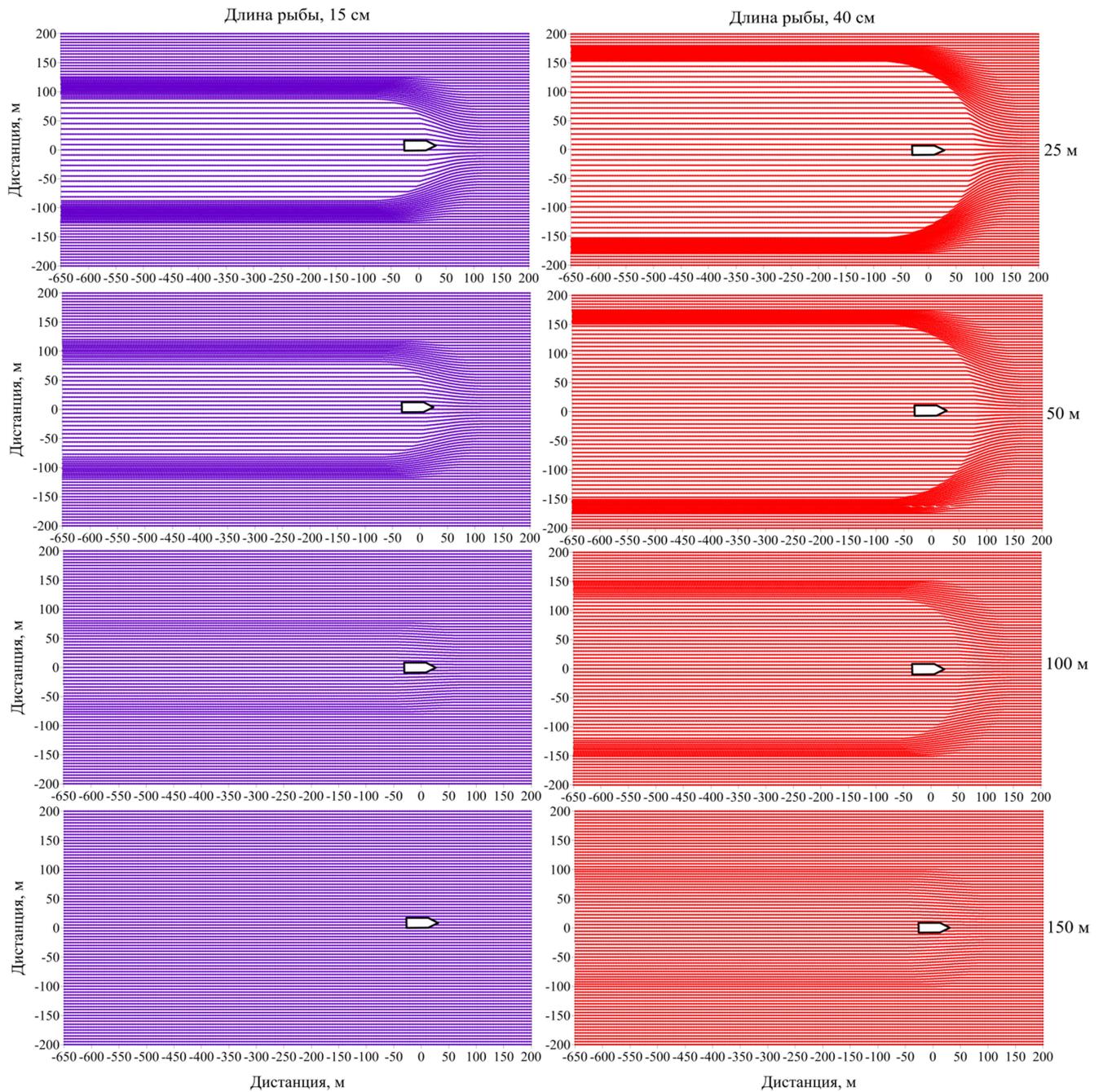


Рисунок 5.10 – Модель поведения минтая в шумовом поле СТМ типа «Атлантик–833» на глубинах 25, 50, 100 и 150 м, скорость судна 3,5 уз. (вид сверху)

Конечное местоположение рыб при различной скорости движения судна отличается. Возмущенную область, где происходит реакция избегания, при меньшей скорости движения судна успевают покинуть значительно больше рыб, чем при более высокой скорости. При этом площадь возмущенной области не меняется (рисунок 5.11) [265, 266].

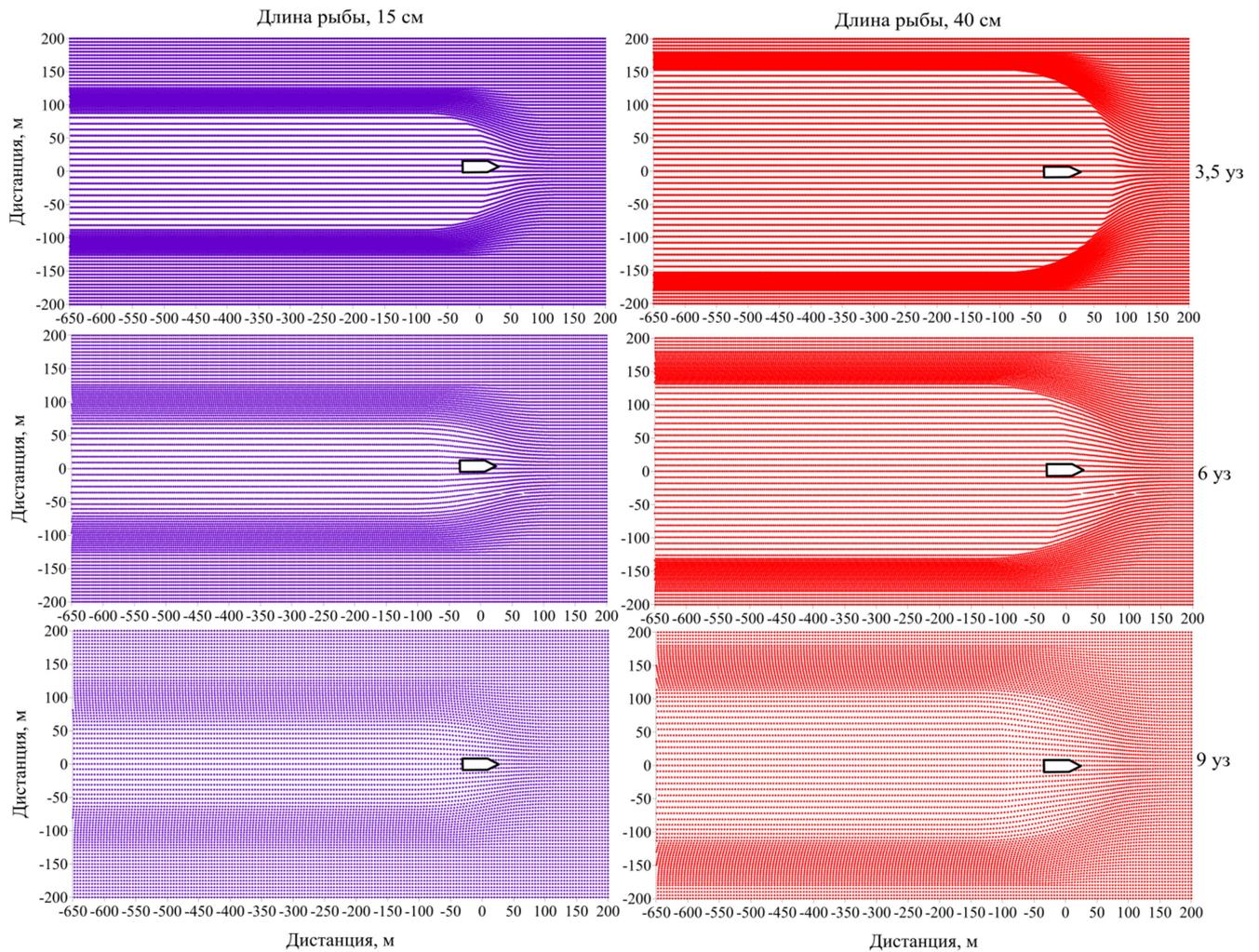


Рисунок 5.11 – Модель поведения мнятая в шумовом поле СТМ типа «Атлантик–833» на глубине 25 м, скорость судна 3,5, 6 и 9 уз. (вид сверху) [265, 266]

В поперечной плоскости множество рыб в шумовом поле судна образует типичную форму туннеля (рисунок 5.12).

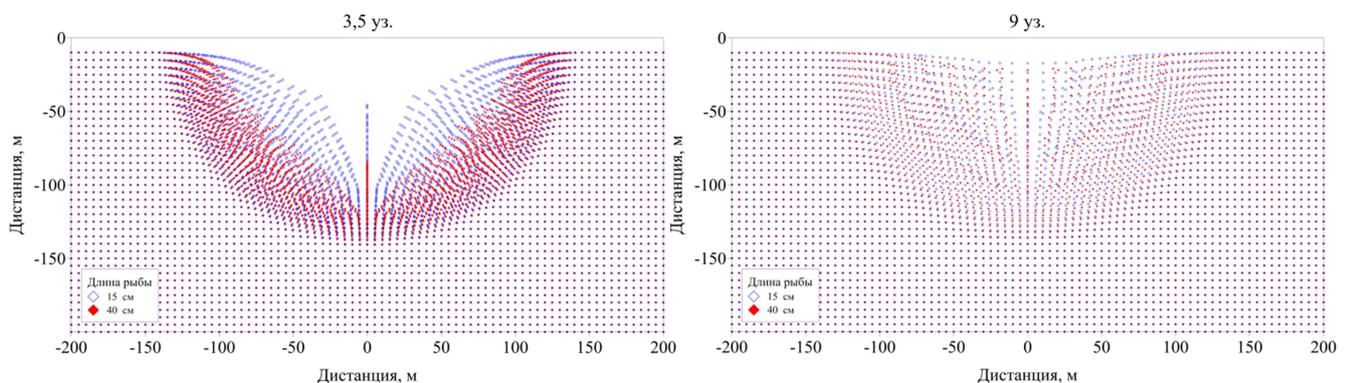


Рисунок 5.12 – Модель поведения мнятая в шумовом поле СТМ типа «Атлантик-833» в поперечном разрезе для рыб малой (15 см) и большой (40 см) размерной группы при скорости судна 3,5 и 9 уз. (судно находится в точке с нулевыми координатами) [265, 266]

При этом горизонтальные и вертикальные смещения рыб, минимизирующие влияние шума, уменьшаются к краям туннеля. Визуально заметны эффекты уменьшения плотности скопления рыб относительно исходной в зоне активной реакции вблизи поверхности и уплотнения (концентрации) мнятая в более комфортной зоне по краям туннеля [265, 266].

На продольном сечении (рисунок 5.13) следует обратить внимание на изменение горизонта и уплотнение рыб по мере продвижения судна в сторону скопления, увеличение плотности рыб, уходящих вниз от судна, на дистанциях реагирования. При продвижении судна заглублиение каждой следующей рыбы меньше, чем для предыдущей, что говорит о выраженном снижении реакции избегания. Однако по мере продвижения судна, в зону дистанции избегания попадают очередные рыбы, расположенные впереди судна и происходит их заглублиение [265, 266].

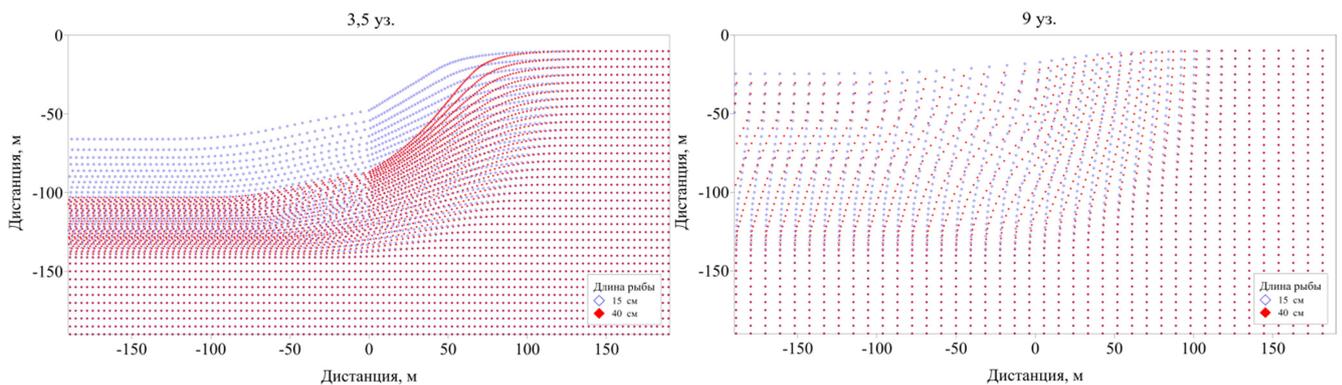


Рисунок 5.13 – Модель поведения мнятая в шумовом поле СТМ типа «Атлантик-833» в продольном разрезе для рыб малой (15 см) и большой (40 см) размерной группы при скорости судна 3,5 и 9 уз. (судно находится в точке с нулевыми координатами) [265, 266]

И, наконец, существенно различаются площади возмущенной области (зоны реакции рыб) в зависимости от интенсивности шумового поля (типа судна). РТМС «Простор» – самое шумное из представленных на рисунке 5.1 [21, 184, 189]. Как видно из расчетов и рисунков, отражающих их результаты в дистантных показателях, зона реакции мнятая в шумовом поле РТМС «Простор» имеет наибольшую площадь (рисунок 5.14) [265, 266].

НИС «Профессор Кагановский» и НИС «ТИНРО» имеют вторую позицию по площади реагирования. НИС «Оскар Дайсон», построенный с учетом рекомендаций ICES по шуму [21, 184, 189], имеет минимальную зону реакции мнятая (рисунок 5.15).

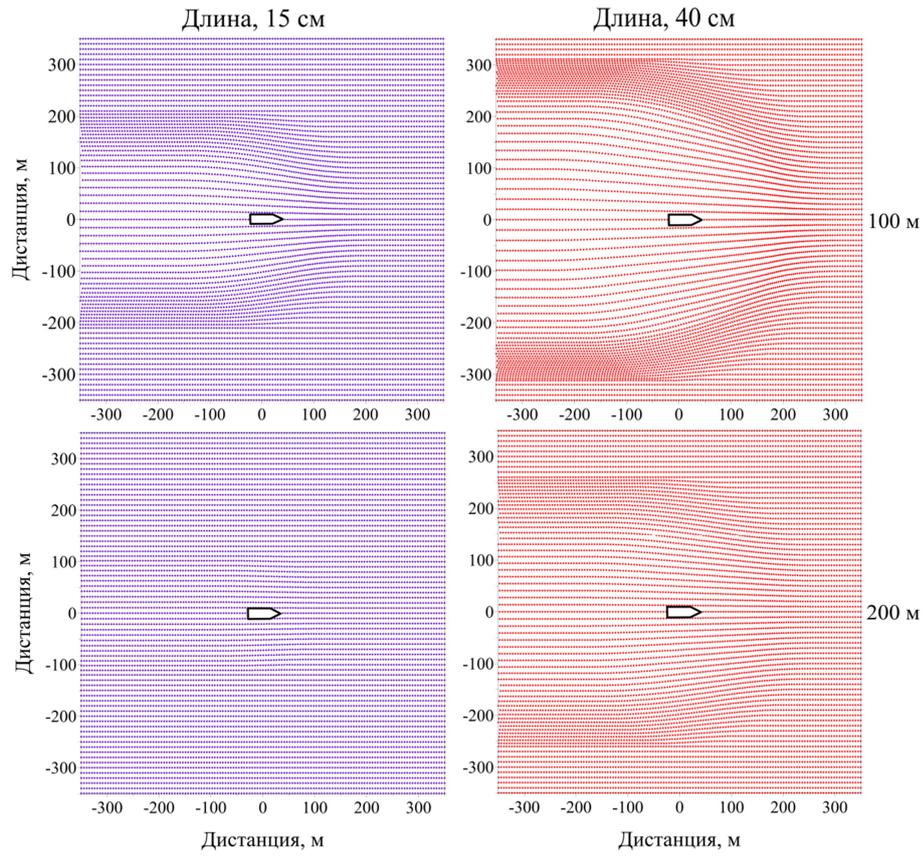


Рисунок 5.14 – Модель поведения минтая в шумовом поле РТМС «Простор» на глубинах 100 и 200 м, скорость судна 4 уз., вид сверху

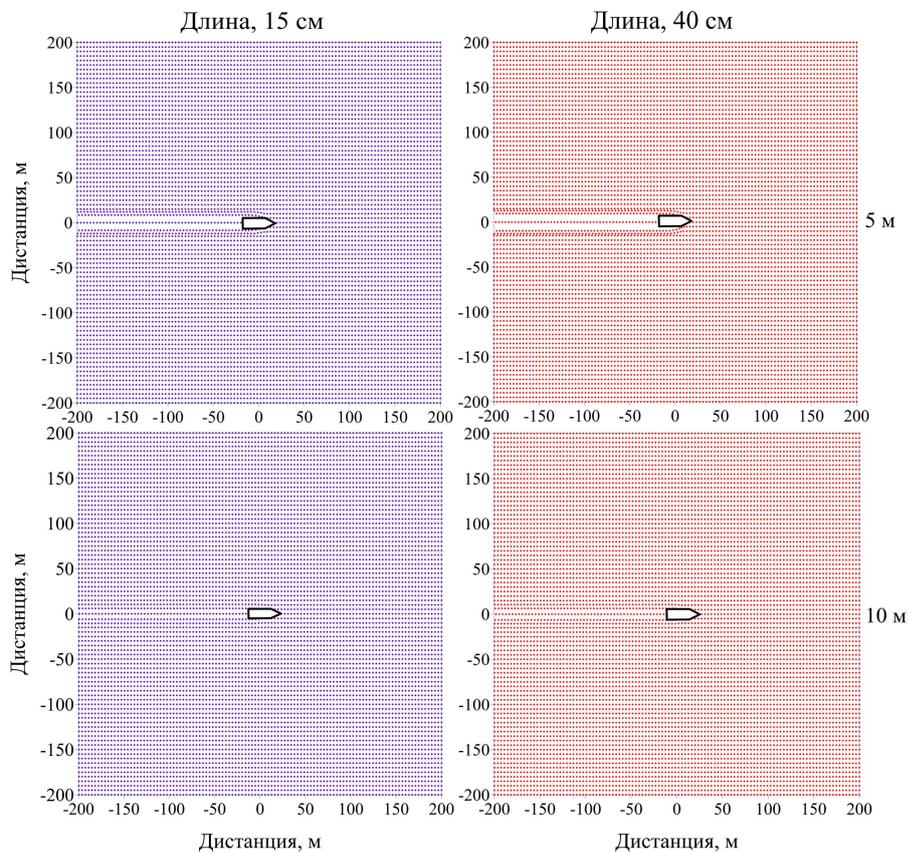


Рисунок 5.15 – Модель поведения минтая в шумовом поле НИС «Оскар Дайсон» на глубинах 5 и 10 м, скорость судна 3,5 уз., вид сверху

На рисунке 5.16 приведены модельные оценки изменения плотности скоплений минтая на пути судна по мере его приближения. В диапазоне глубин 0-100 м модельная кривая, как и экспериментальная, имеет тенденцию небольшого начального подъема плотности выше исходной за счет горизонтального избегания и «толпления» рыб впереди по ходу судна. Уплотнение начинается на расстоянии впереди судна 180-160 м, что хорошо согласуется с экспериментальным графиком (см. рисунок 5.16А и 4.6А) [199].

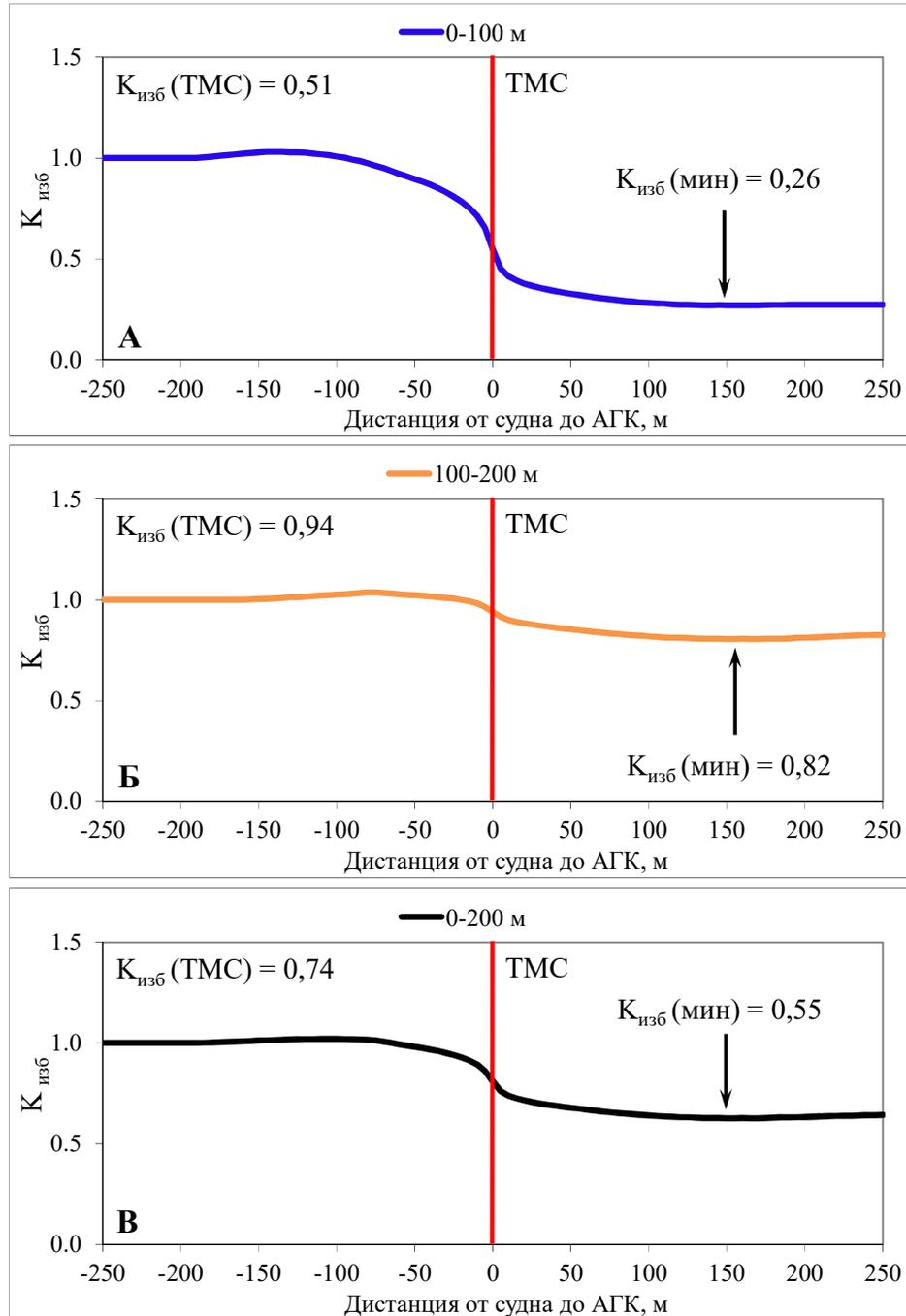


Рисунок 5.16 – Изменение плотности скоплений минтая в зависимости от дистанции до судна в диапазонах глубин: А – 0-100 м; Б – 100-200 м; В – 0-200 м (модельные оценки) [199]

Несмотря на различия вида кривой, в точке прохода судна (ТМС) отношение плотности скопления рыб к фоновой в диапазоне глубин 0-100 м согласно модели составило 0,51, что близко с экспериментальными оценками 0,56 (расхождение -8,9 %). 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 (расхождение +9,3 %) (см. рисунок 4.6Б и 5.16Б). В результате, близки и суммарные оценки: соответственно 0,74 и 0,69 (расхождение +7,2 %) (см. рисунок 4.5 и 5.16В) [199].

Как было показано выше, изменение плотности рыбного скопления при взаимодействии с промысловой системой судно–трал влияет не только на гидроакустические оценки запасов рыб, но и на коэффициент уловистости орудий лова, применяемых для выполнения учетных работ [259].

Программа «Noise» позволяет количественно оценить влияние шумового поля движущегося судна на коэффициент уловистости и селективность учетных тралов как отношение количества рыб в предполагаемой зоне захвата трала (в устье трала) после прохода судна и при естественном их распределении. Под естественным понимается невозмущенное (равномерное по горизонту и глубине) распределение рыб впереди судна до начала воздействия на рыб его шумового поля [259].

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 (рисунок 5.8). В базе данных задается размер рыб и их начальное распределение [259].

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) [259].

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 результа-

те обработки накопленных данных, установлена линейная зависимость глубины хода трала от длины вытравленных ваеров (рисунок 5.17) [259].

Выявлена степенная зависимость горизонтального раскрытия трала РТ/ТМ 57/360 от глубины хода верхней подборы трала (рисунок 5.18). При этом 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 [259].



Рисунок 5.17 – Зависимость глубины хода трала РТ/ТМ 57/360 от длины ваеров (данные измерений FS20/25 в 2012-2013 гг.) [259]

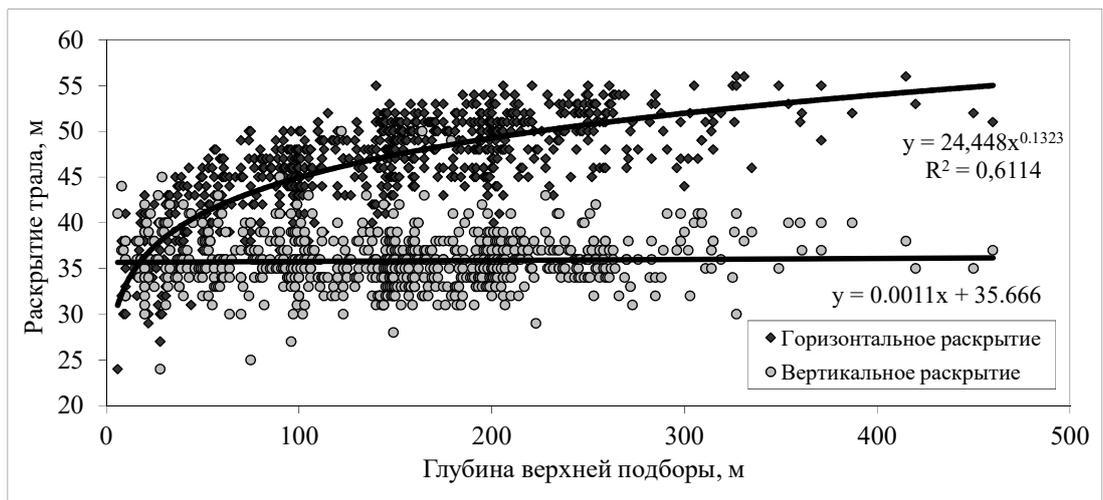


Рисунок 5.18 – Зависимость горизонтального и вертикального раскрытия трала РТ/ТМ 57/360 от глубины верхней подборы (данные измерений FS20/25 в 2012-2013 гг.) [259]

Если экспериментальных данных нет, программа интерполирует экспериментальные зависимости на другие типы тралов. Протраленная площадь в программе вычисля-

ется, как и в экспериментах по оценке коэффициента уловистости, с учетом фактической формы устья трала в виде эллипса, малым диаметром которого является вертикальное раскрытие трала, а большим – горизонтальное [259].

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 коэффициент уловистости трала с учетом размера рыб, отстояния трала от судна, параметров траловой системы и скорости движения судна [259].

Следует отметить, что с помощью программы можно рассчитать плотность рыб и, соответственно, коэффициент уловистости трала по отношению к любой зоне исследуемой промысловой системы «судно–трал» и при любом положении рыб: перед судном, под судном, между судном и тралом, перед тралом и т.д. Кроме этого, задавая в настройках программы параметры научного эхолота (см. рисунок 5.8), можно рассчитать исходное положение и плотность рыб на эхограмме, а также поправки, которые могут быть применены к показаниям эхолота для компенсации потерь энергии эхосигнала (коэффициента поверхностного рассеяния S_A) под судном при эхоинтеграционной оценке запасов [259].

Результаты расчета в виде графиков изменения плотности различных размерных групп минтая в предполагаемой зоне захвата трала относительно исходного распределения впереди судна типа «Атлантик–833» представлены на рисунке 5.19.

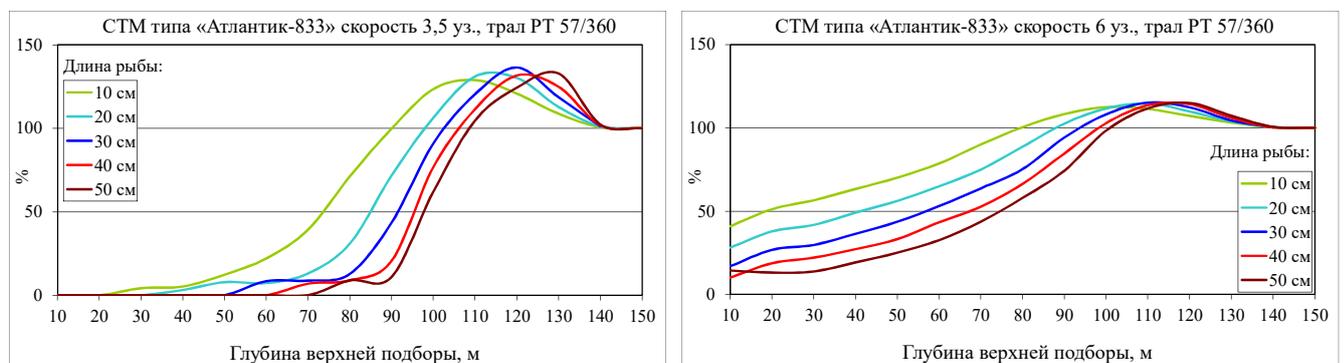


Рисунок 5.19 – Изменение плотности и размерной структуры минтая в зоне облова трала РТ/ТМ 57/360 в зависимости от глубины и скорости судна СТМ типа «Атлантик-833» [259]

Как видно из графиков, плотность минтая в предполагаемой зоне захвата трала существенно зависит от размера рыб, глубины (глубины хода трала) и скорости траления [259]. В приповерхностных горизонтах до 50 м при скорости судна 3,5 уз. (средней скорости траления) 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 впереди судна). Согласно модели, с увеличением глубины отношение количества рыб в зоне захвата трала и на той же площади впереди судна растет за счет перемещения части рыб в более глубокие горизонты (рисунок 5.19). Растет и экспериментально измеренный коэффициент уловистости трала (см. рисунок 4.1). 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 глубин 80-90 м. На больших изобатах наблюдается быстрый рост количества крупных рыб в предполагаемой зоне захвата трала из-за эффекта уплотнения (концентрации) скоплений рыб на дистанциях реагирования (см. рисунок 5.12, 5.13) и при глубине верхней подборы от 110 до 130 м плотность скопления минтая становится выше исходной на 30-36 % (в зависимости от размера рыб). За пределами зоны действия шумового поля судна воздействие возмущений от судна на распределение скоплений постепенно снижается и плотность скопления рыб в зоне захвата трала приближается к исходной (100 %) [259].

Как видно из рисунка 5.19, глубины, на которых образуются максимальные концентрации мелкоразмерного и крупноразмерного минтая, не совпадают. В модели применен биофизический принцип селективности [261]. Крупные рыбы из семейства тресковых сильнее реагируют на акустические раздражители, чем их молодь [207]. То есть рыбы младших возрастных классов имеют меньшую дистанцию реагирования, чем крупные, и это снижает вероятность их ухода из шумового поля судна. Поэтому согласно модели и биофизическому принципу селективности, коэффициент уловистости мелкоразмерного минтая, имеющего, к тому же, более слабые энергетические возможности и локомоции (скорости плавания), должен быть выше, чем у более крупных рыб [259].

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 глубинах свыше 90 м при скорости траления 3,5 узла начинается уплотнение этих рыб. Таким образом, на горизонтах траления до 100 м со-

гласно 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 селективирующее 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 (совпадает с используемым при проведении траловых съемок запасов коэффициентом уловистости) и лишь 21 % и 11 % крупного минтая размером 40 и 50 см соответственно. На глубинах свыше 90 м процент крупного минтая 40-50 см в устье трала быстро растет и на глубинах траления свыше 120 м крупного минтая в устье трала становится больше, чем молоди. Наибольший процент попадания среднего и крупного минтая в предполагаемую зону захвата трала получен при глубине верхней подборы 120-140 м. Таким образом, при вертикальном раскрытии исследуемых тралов 36-40 м, диапазон глубин 120-180 м согласно модели является оптимальным для промысла минтая судами типа «Атлантик–833», оснащенными разноглубинными тралами РТ/ТМ 57/360 и РТ/ТМ 80/396 (максимальная плотность крупных рыб с минимальным приловом молоди) [259].

Результаты расчета для более шумного судна РТМС «Простор» показали, что наибольший процент попадания в трал 118/620 и 172/786 крупного минтая 40-50 см получен при глубине верхней подборы трала 280-360 м (рисунок 5.20). Этот диапазон глубин и является оптимальным для промысла минтая с судов типа РТМС тралами РТ 118/620 и РТ 172/786 [259].

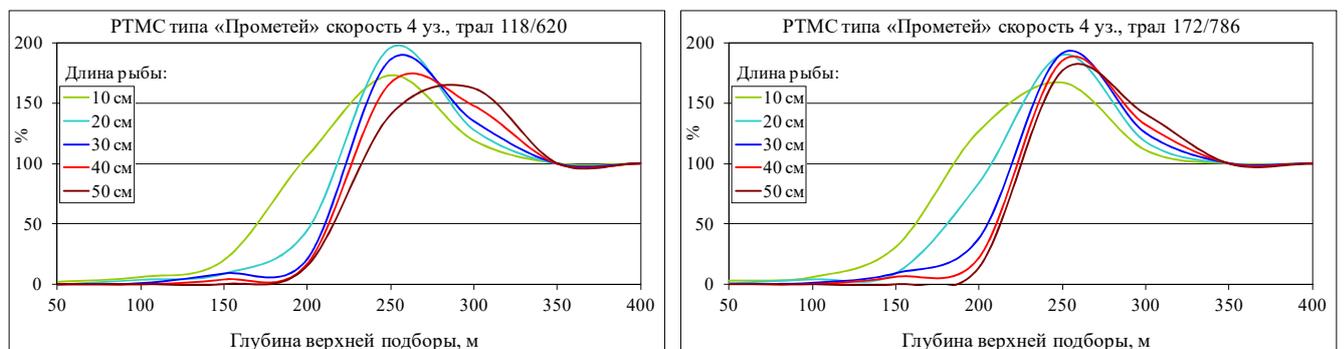


Рисунок 5.20 – Изменение плотности и размерной структуры минтая в зоне облова трала в зависимости от глубины с судна РТМС типа «Прометей» [259]

Местоположение рыб при различной скорости движения судна также существенно отличается, что иллюстрируют вышеприведенные рисунки. 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 последовательно снижается. Это связано с тем, что покинуть возмущенную область, где происходит реакция избегания, и оказаться в зоне повышенной плотности на горизонте траления, при скорости движения судна 3,5 узла успевают значительно большее количество рыб (и в большей мере крупноразмерных особей), чем при более высокой скорости судна [259]. Например, при скорости судна 6 узлов и глубине от 100 до 120 м (то есть в зоне, где происходит «толпление» минтая), плотность минтая на горизонтах траления 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 соответственно (рисунок 5.19) [259].

Это подтверждают результаты экспериментов с использованием эхоинтегратора, согласно которым акустическое обратное рассеяние (плотность) рыб на одном и том же скоплении под судном, идущем на свободном ходу, было значительно выше по сравнению с тралящим судном [21].

5.4 Сопоставление экспериментальных данных с моделью двигательного поведения рыб в шумовом поле судна

Как было показано выше, в диапазоне глубин 0-100 м модельная и экспериментальная оценки плотности скопления имеют сходную тенденцию увеличения на дистанциях реагирования рыб (см. рисунок 4.6 и рисунок 5.16). 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 кривая, наоборот, имеет тенденцию более плавного начального и сильного (лавинообразного) уменьшения плотности 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 [199]. В результате большая часть рыб попадает в луч эхолота (ширина луча – 7°), и плотность 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 идет наиболее интенсивно [199].

Принятое в модели равномерное исходное распределение рыб по глубине в экспериментах наблюдается крайне редко. Чаще всего рыбы изначально расположены глубже 20-30 м от поверхности. 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 вблизи судна лавинообразно). Возможна также экспериментальная погрешность из-за бокового смещения АГК относительно судна при его приближении и в ТМС [199].

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 рыб на экспериментальном и модельном графиках по мере приближения судна, менее заметно, чем на глубинах до 100 м [199].

Причиной расхождения вида экспериментальной и модельной кривых могли стать не совсем корректные параметры, входящие в модель. Например, используемые в алгоритме горизонтальная и вертикальная составляющие скорости движения рыб и соответствующего им смещения особей, минимизирующего влияние шума [184]. 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 [7, 130, 279]. 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 [165].

Поведение кривых на рисунке 5.19 также имеет определенное сходство с экспериментально полученной зависимостью коэффициента уловистости минтая от глубины хода трала (см. рисунок 4.1 и 4.10). 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 [184], поэтому у этих рыб преобладают вертикальные составляющие перемещений (известное «подсаживание» минтая). Эта тенденция уменьшения плотности рыб в зоне облова трала на небольших глубинах и увеличения оценок с глубиной хорошо согласуется с модельной [199]. За пределами зоны действия шумового поля судна его влияние на распределение минтая в трале ослабевает и значения коэффициента уловистости снижаются (см. рисунок 5.19, 4.1, 4.10) [259].

Однако есть некоторые отличия в модельной и экспериментально измеренной зависимости плотности минтая в предполагаемой зоне захвата трала и коэффициента уловистости трала. В модели учтен только биофизический принцип селективности, связанный с различием силы реакции крупных и мелких рыб на шумовое поле судна, но не учитываются двигательные реакции рыб в зоне действия самого трала и его механическая селективность, которые, как показали наблюдения, оказывают большое влияние на результирующую плотность минтая в трале и его уловистость [259].

Во-вторых, в модели не учтены эффекты, связанные с подъемом рыб и частичным восстановлением суммарной плотности скоплений минтая после прохождения судна, которые, как показали результаты экспериментов с использованием автономного плавучего гидроакустического комплекса, имеют место *in situ*. Видимо с этим связана большая разница плотности минтая в предполагаемой зоне захвата трала и его фактически измеренной уловистости на небольших глубинах выше 50 м [259].

После проведения экспериментальных исследований, модель двигательного поведения рыб в шумовом поле судна была усовершенствована. В модель импортированы экспериментальные оценки дистанции реагирования минтая, данные по изменению акустической плотности s_A по слоям глубины, а также скорости заглубления и подъема

минтая во время прохождения измерительных галсов. Эти данные использованы в модели как вертикальные составляющие двигательной реакции рыб в шумовом поле судна.

Модельные оценки изменения плотности скоплений минтая теперь хорошо согласуются с экспериментальными (по крайней мере на глубинах до 100 м). На рисунке 5.21 приведены экспериментальные (см. Главу 4) и модельные оценки изменения плотности скоплений минтая на пути судна.

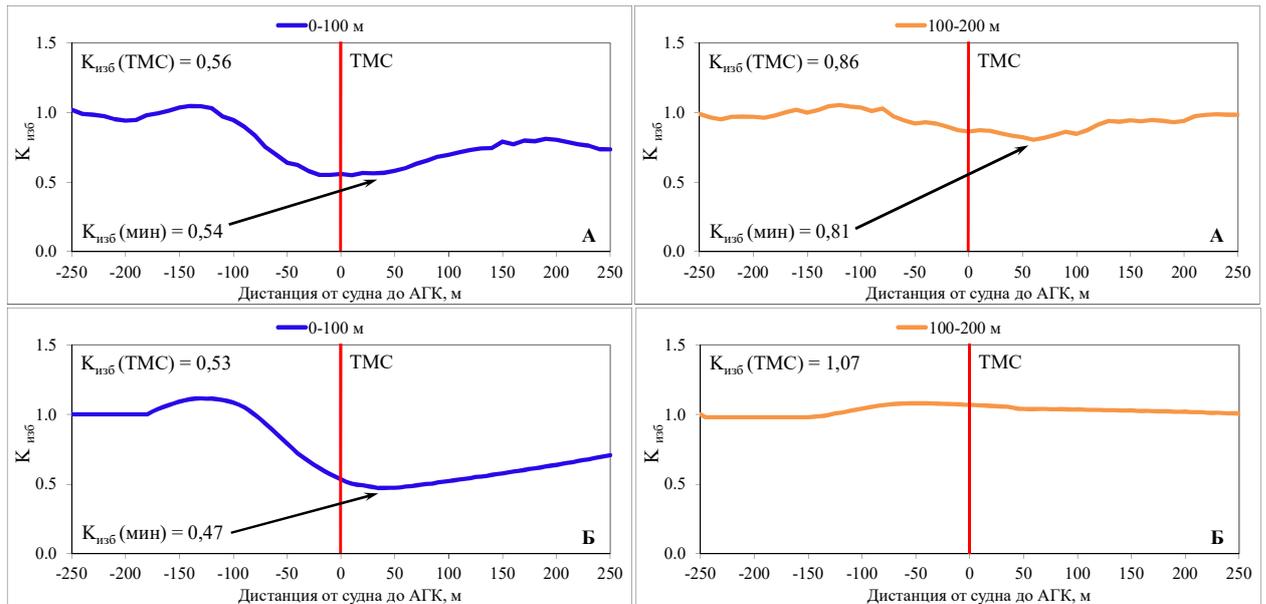


Рисунок 5.21 – Изменение плотности скоплений минтая ($K_{изб}$) в зависимости от дистанции между судном и АГК в диапазонах глубин 0-100 м и 100-200 м: А – экспериментальные оценки; Б – модельные оценки [199].

В диапазоне глубин 0-100 м модельная кривая, как и экспериментальная, имеет тенденцию небольшого начального подъема за счет горизонтального избегания и уплотнения («толпления») рыб впереди по ходу судна. Уплотнение начинается на расстоянии впереди судна 180-160 м, что хорошо согласуется с экспериментальным графиком [199].

После фазы подъема, при дальнейшем сближении с судном, поведение экспериментальной и модельной кривых характеризуется экспоненциальным снижением плотности скопления рыб, которое постепенно замедляется и практически завершается в точке максимального сближения с судном (ТМС). Модельная кривая, в отличие от экспериментальной, имеет чуть более плавное уменьшение плотности, которое заканчивается после прохода судна на дистанции около 40 м (см. рисунок 5.21) [199]. Отношение плотности скопления рыб к фоновой в диапазоне глубин 0-100 м в ТМС согласно модели составило 0,53, 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 в ТМС несколько различаются: 1,07 и 0,86 соответственно. Причиной расхождения является принятое в модели равномерное исходное распределение рыб, которое в естественных условиях и в экспериментах соблюдается крайне редко. В диапазоне глубин 100-200 м одновременно наблюдаются эффекты горизонтального избегания (рассеяния) и увеличения плотности за счет перемещения туда рыб из верхних горизонтов, которые при равномерном исходном распределении в модели взаимно компенсируют друг друга. В результате образуется слой, где согласно модельным оценкам плотность минтая может быть выше исходной ($K_{(изб)} > 1$), а суммарное изменение плотности скопления по мере приближения судна на модельном графике менее значимо, чем на экспериментальном [199].

Характеристики пространственного распределения минтая не претерпели серьезных изменений. Согласно уточненной модели, уменьшение плотности минтая в трале относительно исходной (измеренной перед судном) и, соответственно, снижение его уловистости на небольших глубинах наблюдается за счет избегающей реакции рыб в шумовом поле судна, основными источниками которого являются главные двигатели и гребной винт судна. С ростом глубины избегательная реакция, связанная с заглублением косяков, находящихся выше верхней подборы трала на глубинах меньших, чем дистанция реагирования рыб на шум судна, вызывает 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» (рисунок 5.22).

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 [259]. Эта зона формируется как по бокам, так и под килем судна и выглядит как полусфера, радиусом которой является дистанция реагирования рыб (рисунок 5.23).

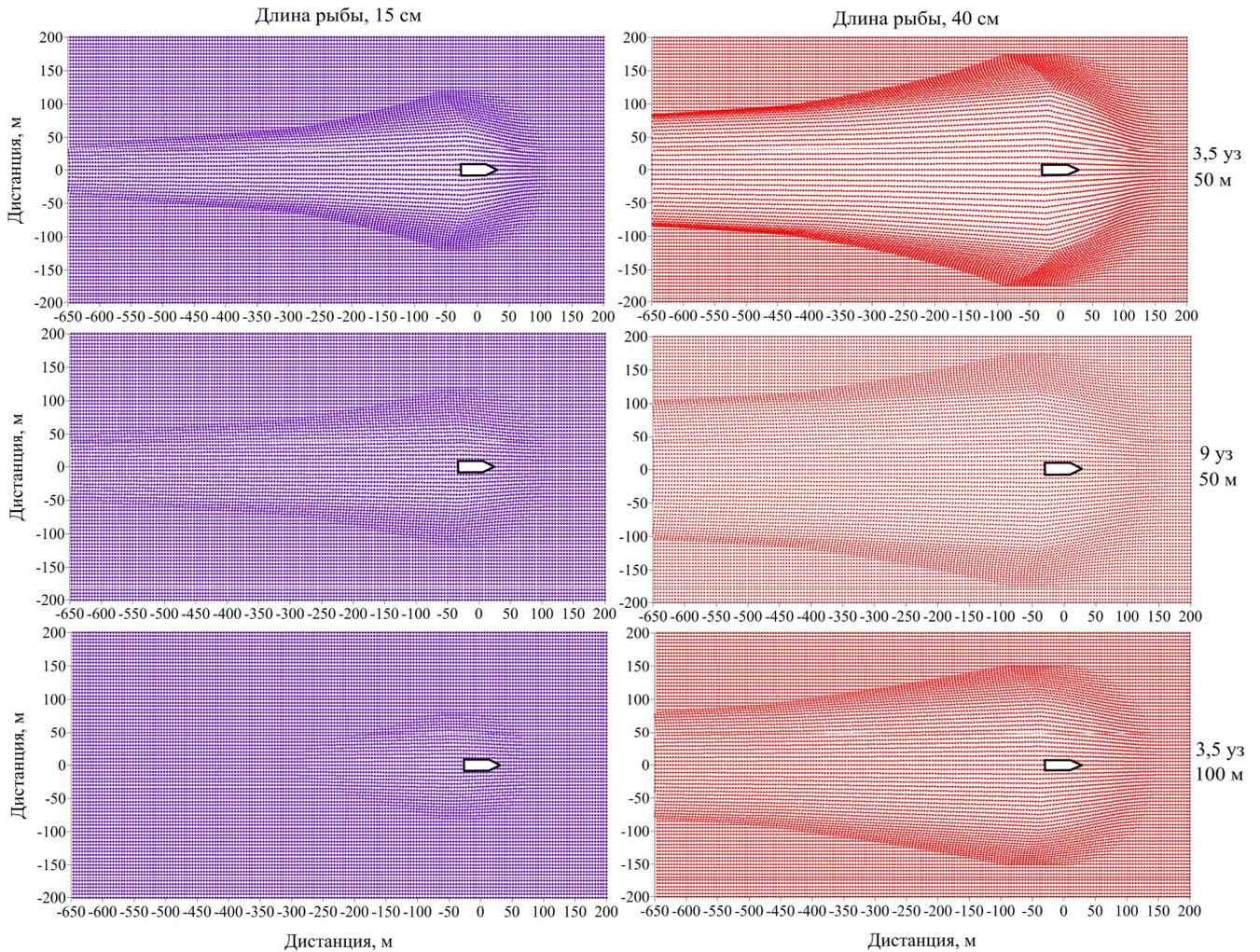


Рисунок 5.22 – Модель поведения минтая в шумовом поле СТМ типа «Атлантик–833» на глубине 50 и 100 м (вид сверху) для рыб малой (15 см) и большой (40 см) размерной группы при скорости 3,5 и 9 узлов (судно находится в точке с нулевыми координатами)

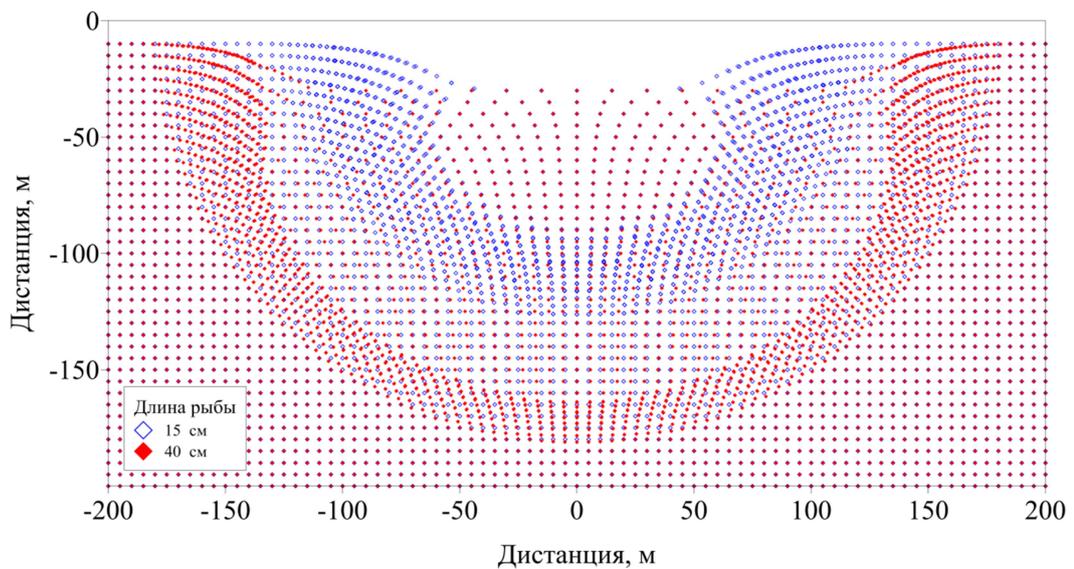


Рисунок 5.23 – Модель поведения минтая в шумовом поле СТМ типа «Атлантик–833» в поперечном разрезе для рыб малой (15 см) и большой (40 см) размерной группы при скорости 3,5 узлов (судно в точке с нулевыми координатами)

Протяженность зоны «толпления» и плотность объектов в ней определяются скоростью движения судна. За пределами этой зоны скорость рыб и плотность их распределения становится близкой к исходной (естественной) [259].

Из рисунка 5.22 и 5.23 можно увидеть, что крупные особи минтая, имеющие более высокие энергетические возможности, в процессе реакции смещаются дальше от судна, чем более мелкие рыбы. Поэтому глубины и расстояния от судна, на которых образуются максимальные концентрации мелкоразмерных особей в скоплении, не совпадают с таковыми у крупноразмерного минтая и это, как упоминалось выше, демонстрирует одно из проявлений селектирующего действия шумового поля [259].

Конечное местоположение рыб при различной скорости движения судна отличается. Возмущенную область, где происходит реакция избегания, при меньшей скорости движения судна успевают покинуть значительно больше рыб, чем при более высокой скорости. При этом площадь возмущенной области не меняется.

5.5 Выводы по главе 5

Разработанная модель дает представление о воздействии шумового поля судна на поведение рыб разных размерных групп и, как результат, графическое изображение изменения плотности и структуры скопления в пространственно-временных координатах [265].

В модели показано влияние шумового поля судна на пространственное распределение рыб и оценки запасов рыб траловым и гидроакустическим методами. При этом использованы сведения о механизмах восприятия акустических полей и особенностей поведения рыб в этих полях, закономерностях ориентации и сигнализации особей, что дает возможность достаточно точно рассчитать траектории движения рыб в шумовом поле приближающегося к ним судна [265].

Значимым является выявление и учет в модели зон, стадий и форм двигательной реакции рыб на шумовое поле судна, что позволяет более точно оценивать количество рыб в зондируемом эхолотом и облавливаемом тралом объеме. Реакция определяется плавательной способностью рыб (скорость и продолжительность движения), направлением и дистанцией реагирования (уровни шума и характеристики слуха), а также самим стереотипом поведения.

Получены модельные оценки влияния шумового поля судна на эхоинтеграционные оценки плотности рыб, уловистость и селективность (формирование размерного ряда) учетных тралов. Выявлены оптимальные для промысла минтая диапазоны глубин траления.

Результаты, полученные при расчете по имеющимся на данный момент формулам из литературных источников, как показали эксперименты, имеет небольшую погрешность. Экспериментальные данные позволили уточнить параметры двигательной реакции рыб в модели в виде дистанции реагирования и скорости заглубления и подъема рыб при приближении судна. В результате получены модельные оценки изменения плотности скоплений минтая, которые хорошо согласуются с экспериментальными.

Экспериментальные данные о реакции на шумовое поле судна других рыб позволят сделать модель более приближенной к естественным ситуациям и поэтому, более точной. Сбор необходимых данных может успешно осуществляться с помощью гидроакустической аппаратуры (эхолот, гидролокатор), которой оснащены современные научно-исследовательские суда.

Разработанные программные средства 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, выбирать оптимальные режимы траления по горизонтам глубины для вариаций объекта лова по размерам и плотности скоплений, сравнивать эффективность судов по водоизмещению и мощности, орудий лова по размерам и скорости траления [259].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе теоретических и экспериментальных исследований и технических разработок, выполненных в диссертационной работе, обоснована и решена научно-техническая проблема повышения качества мониторинга массовых промысловых видов рыб Дальневосточных морей.

В работе рассмотрены актуальные проблемы повышения достоверности и точности известных методов количественной оценки рыбных запасов. Траловый метод, несмотря на широкое использование, сталкивается с серьезными ограничениями, связанными с прерывистым (дискретным) характером взятия проб плотности и экспертным (а значит, весьма приблизительным) уровнем оценки уловистости различных гидробионтов и используемых орудий лова. С другой стороны, гидроакустический метод представляет собой более точный подход, обеспечивая высокую частоту получаемых данных и детализацию структуры рыбных скоплений. Однако, как показали наши исследования, подкильное расположение антенн эхолота дает отличную от исходной (естественной) картину распределения и плотности рыб впереди судна. Таким образом, ни один из используемых методов оценки запасов рыб не является идеальным, позволяющим избежать погрешности в реальных оценках численности.

Главным фактором, влияющим на точность и достоверность оценки запасов, является поведение объекта лова. Параметром, учитывающим поведение рыб в траловом методе оценки запасов, является коэффициент уловистости. Анализ литературных данных по оценке уловистости позволил выявить методические ошибки в интерпретации понятия «коэффициент уловистости». В нашем исследовании «уловистость» предлагается рассматривать применительно к промысловой системе «судно–трал» и плотность рыб измерять в предполагаемой зоне действия орудия лова при естественном их распределении впереди судна, а не в зоне, где уже происходит взаимодействие элементов системы (судна, досок, кабелей, подбор трала) с объектом лова, как это делалось в предыдущих исследованиях этого вопроса. При таком подходе устраняется методическая ошибка предыдущих исследований, поскольку измерения плотности рыб выполняются до начала реагирования объекта лова на приближающиеся элементы промысловой системы «судно–трал» [199, 259].

Технология судовых эхоинтеграционных съемок с подкильным расположением антенн эхолота также не учитывает эффекты влияния шумового поля судна на акустические оценки плотности рыб. Избегательная реакция рыб на шум судна сопровождается уходом объекта в сторону от судна (уменьшением акустической плотности) и увеличением глубины расположения рыб [199]. Поэтому при оценке обилия измеряемые эхолотом под килем судна плотности рыб должны соотноситься с естественными концентрациями рыб за пределами зоны влияния шумового поля судна, измеряемыми с использованием автономного гидроакустического комплекса.

В результате диссертационного исследования были разработаны:

1. Методика инструментальной оценки коэффициента уловистости учетных тралов в составе рыболовной системы судно–трал с использованием стационарных и мобильных гидроакустических устройств.
2. Методика инструментальной оценки реакции рыб и влияния шума судна на эхоинтеграционные оценки запасов рыб с использованием автономного (мобильного) гидроакустического комплекса.
3. Автономный (мобильный) гидроакустический комплекс со встроенным научным эхолотом EK-60 SIMRAD.
3. Модель двигательного поведения рыб в шумовом поле судна.
4. Программное обеспечение для оценки взаимодействия рыб с промысловой системой судно–трал.

В ходе проведения научного исследования получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Выявлены погрешности известных методов измерения коэффициента уловистости траловых учетных систем и гидроакустической оценки запасов, которые не учитывают исходное распределение и избегание рыбами шумового поля судна.
2. Разработаны методики и вычислительные алгоритмы использования стационарных и мобильных гидроакустических устройств для измерения распределения и плотности рыб в шумовом поле судна [199, 204, 259].

3. Разработан автономный дистанционно-управляемый плавучий гидроакустический комплекс со встроенным научным эхолотом EK-60 SIMRAD для измерения плотности рыб впереди судна [199, 204].

4. Выявлены закономерности поведения и параметры двигательной реакции минтая Охотского моря, оценено их влияние на эхоинтеграционные оценки запасов и уловистость траловых рыболовных систем.

5. Реакция минтая на шум приближающегося судна сопровождается их заглублением (вертикальная реакция) и рассеиванием (горизонтальная реакция). Реакция заглубления наблюдается на расстоянии от судна более 500 м, а на дистанции от 180 до 140 м появляется горизонтальная составляющая реакции избегания [199].

6. Дистанции реагирования минтая на шум судна СТМ проекта «Атлантик–833» соответствует расчетной (150 м), используемой в модельных оценках. На таких расстояниях реакция этих рыб становится направленной и сопровождается их начальным уплотнением и последующим снижением плотности (рассеянием рыб) по мере приближения судна [199].

7. Характерным является более сильное уменьшение суммарной плотности (рассеяние) рыб в верхних горизонтах за счет бокового избегания. Заглубление рыб при приближении судна вызывает последовательное увеличение их плотности в более глубоком слое. Эта тенденция уменьшения плотности рыб на небольших глубинах и увеличения оценок с глубиной хорошо согласуется с моделью двигательного поведения рыб в шумовом поле судна [199, 259].

8. В диапазоне глубин до 100 м отношение суммарной плотности минтая в точке максимального сближения с судном к фоновой составило 0,56. Это означает, что во время съемки, при подкильном расположении антенн, недоучет численности этих рыб эхоинтеграционным методом составит 44 %. На глубинах от 100 до 200 м, за счет заглубления рыб из верхних слоев, снижение суммарной плотности под судном было не столь значительным – менее 15 % [199, 204, 259, 266].

9. Скорость погружения рыб с приближением судна растет и на минимальном расстоянии от судна становится максимальной. Значения скорости вертикальных перемещений минтая в шумовом поле судна на порядок выше, чем при их естественных вертикальных миграциях и свидетельствуют о том, что шум судна является сильным раздра-

жителем для этого вида рыб, стимулирующим выраженную оборонительную реакцию [199, 204, 259, 266].

10. Уточнено понятие коэффициента уловистости как отношение количества пойманных рыб в трале к количеству рыб в протраленном объеме при естественном их распределении, то есть до начала воздействия на рыб шумового поля судна и буксируемого им орудия лова [259].

11. Получены оценки сквозного коэффициента уловистости минтая в составе учетной промысловой системы «объект лова – судно – трал», в которых суммируется избегание рыбами шумового поля судна и уловистость (эффективность работы) самого трала РТ/ТМ 57/360 [259].

12. Значения коэффициента уловистости варьируют от 0,01 в приповерхностных горизонтах до 0,85 на дистанциях реагирования минтая и подчиняются эмпирической зависимости от глубины, согласно которой наблюдается низкая уловистость на небольших глубинах из-за избегающей реакции рыб в шумовом поле судна, постепенное увеличение уловистости с глубиной за счет перемещения туда рыб из верхних горизонтов, максимальная уловистость на дистанциях реагирования и постепенное снижение на более глубоких изобатах [199].

13. Разработана модель двигательного поведения рыб в шумовом поле судна. Задавая вид и размер рыбы, тип и скорость движения судна (характеристики акустического поля) можно рассчитать положение рыб в любой точке пространства вокруг судна как по горизонтали, так и по вертикали, в любой момент времени [199, 265, 266].

14. Получены карты, иллюстрирующие горизонтальное и вертикальное распределение минтая в шумовом поле судна. Площадь возмущенной области, где происходит реакция избегания и количество отклонившихся особей существенно сокращается с глубиной. На краях возмущенной области образуется зона, где плотность реагирующих рыб становится выше исходной [259, 265, 266].

15. Крупные особи, имеющие более высокие энергетические и слуховые способности, в процессе реакции смещаются дальше от судна и имеют большую площадь возмущения, чем мелкие рыбы, что демонстрирует одно из проявлений селектирующего действия шумового поля [259].

16. Конечное местоположение рыб при различной скорости движения судна отличается. Возмущенную область, где происходит реакция избегания, при меньшей скоро-

сти движения судна успевают покинуть значительно больше рыб, чем при более высокой скорости. При этом площадь возмущенной области не меняется [21].

17. Модель позволяет количественно оценивать изменение плотности рыб в предполагаемой зоне захвата трала при их взаимодействии с шумовым полем движущегося судна. С увеличением глубины количество рыб в зоне захвата трала растет за счет перемещения туда части рыб из верхних горизонтов.

18. Динамика роста плотности рыб в предполагаемой зоне захвата трала и глубины, на которых образуются максимальные концентрации мелкого и крупного минтая, не совпадают. Экспериментальные данные и модельные оценки свидетельствуют о том, что оптимальным для эксплуатации ресурсов минтая с судов типа СТМ тралами РТ/ТМ 57/360 и РТ/ТМ 80/396 является диапазон глубин от 120 до 180 м, где наблюдается максимальная плотность крупных рыб с минимальным количеством молоди.

19. Модельная кривая изменения плотности минтая, как и экспериментальная, имеет тенденцию начального подъема за счет горизонтального избегания и уплотнения рыб впереди судна и последующего экспоненциального снижения при его приближении. Отношение плотности скопления рыб к фоновой в диапазоне глубин 0-100 м в ТМС согласно модели составило 0,53, что очень близко с экспериментальными оценками (0,56) [199].

20. В слое 100-200 м модельные и экспериментальные оценки несколько различаются. В диапазоне глубин 100-200 м эффекты горизонтального избегания (рассеяния) рыб выражены менее значимо и изменения плотности происходят, в основном, за счет перемещения туда рыб из верхних горизонтов [199]. В результате, при равномерном исходном распределении рыб в модели, образуется слой, где плотность минтая может быть выше исходной ($K_{(изб)} > 1$).

21. Уточненная модель поведения рыб в шумовом поле судна встроена в виде дополнительного модуля в программный комплекс постпроцессорной обработки акустических данных «SALTSE» [48] и может быть использована для коррекции суммарного обратного рассеяния от скопления при гидроакустической съемке и для расчета коэффициентов уловистости учетных тралов при проведении траловой съемки.

По результатам диссертационной работы могут быть даны следующие практические рекомендации и предложения, касающиеся проведения рыбохозяйственных исследований и промысла:

1. Разработанные методики оценки коэффициента уловистости и реакции рыб на шумовое поле судна являются универсальными и помимо минтая, можно применять в отношении других промысловых видов, образующих протяженные пелагических скопления (сельдь, сайка, сардина, скумбрия, анчоус, ставрида и др. виды).

2. Внедрение в алгоритм эхоинтеграционных и траловых съемок дифференцированных по глубине и по отношению к рыбам разной длины коэффициентов уловистости и коэффициентов избегания шумового поля судна позволяет оценить исходную размерную структуру и пространственное распределение (плотность) облавливаемых скоплений, то есть проводить оценки запасов рыб более точно.

3. Модель может служить инструментом для прогнозирования и оптимизации промышленного рыболовства, позволяя оценить воздействие шумового излучения судна на популяции рыб разного вида и размера, а также предоставляет основу для разработки эффективных стратегий ведения тралового промысла и управления промысловой системой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердичевский, Л.С. Биологические основы рационального использования рыбных запасов / Л.С. Бердичевский // Труды ВНИРО. – 1969. – Т. 67. – С. 10-31.
2. The United Nations. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.un.org> (дата обращения 11.06.2025).
3. Бабаян, В.К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению / В.К. Бабаян. – М.: Изд-во ВНИРО, 2000. – 192 с.
4. Планирование, организация и обеспечение исследований рыбных ресурсов дальневосточных морей России и северо-западной части Тихого океана / Под ред. Л.Н. Бочарова, И.В. Мельникова. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2005. – 231 с.
5. Гаврилов, Г.М. Методические основы оценки запасов, прогнозирования общего допустимого улова (ОДУ) и возможного вылова (ВВ) промысловых рыб в Охотском море / Г.М. Гаврилов // Материалы III Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана». Владивосток: Дальрыбвтуз. – 2014, 27-29 мая. – С. 82-86.
6. Шишкова, Е.В. Физические основы промысловой гидроакустики / Е.В. Шишкова. – Москва: Пищевая промышленность, 1977. – 247 с.
7. Аминева, В.А. Физиология рыб / В.А. Аминева, А.А. Яржомбек. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 200 с.
8. Сорокин, М.А. Слуховые способности некоторых дальневосточных рыб: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 / Сорокин Михаил Александрович. – Москва, 1984. – 28 с.
9. Касумян, А.О. Структура и функция слуховой системы рыб / А.О. Касумян. – Москва: МГУ, 2005. – 109 с.
10. Кузнецов, М.Ю. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 2. Методы и средства промысловой биоакустики / М.Ю. Кузнецов, Ю.А. Кузнецов // Известия ТИНРО. – 2016. – Т. 184. – С. 264-294.
11. Мамылов, В.С. Руководство по сбору и первичной обработке акустической информации в процессе тралово-акустических съемок / В.С. Мамылов, А.Э. Дорченков, Е.Н. Фимилина. – Мурманск: ПИНРО, 1989. – 60 с.

12. Юданов, К.И. Гидроакустическая разведка рыбы / К.И. Юданов. – Санкт-Петербург: Судостроение, 1992. – 186 с.
13. Simmonds E.J., Williamson N.J., Gerlotto F., Aglen A. Acoustic Survey Design and Analysis Procedure // ICES Cooperative Research Report. – 1992. – Vol. 187. – 131 pp.
14. Ермольчев, В.А. Методические рекомендации по организации и выполнению гидроакустических съемок запасов гидробионтов / В.А. Ермольчев, Е.Н. Гаврилов, Е.Н. Фими́на. – Мурманск: ПИНРО, 1993. – 132 с.
15. Reid D.G. and Simmonds E. J. 1993. Image analysis techniques for the study of fish school structure from acoustic survey data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50: 886–893.
16. Greenstreet S.P.R., Tuck I.D., Grewar G.N., Armstrong E., Reid D.G., and Wright P.J. 1997. An assessment of the acoustic survey technique, RoxAnn, as a means of mapping seabed habitat. *ICES Journal of Marine Science*, 54: 39–59
17. Кузнецов, М.Ю. Руководство по сбору и первичной обработке данных акустических измерений при проведении тралово-акустических съемок запасов минтая в Беринговом море / М.Ю. Кузнецов, А.В. Николаев. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2000. – 68 с.
18. Gerlotto, F., Georgakarakos, S., and Eriksen, P. K. 2000. The application of multibeam sonar technology for quantitative estimates of fish density in shallow water acoustic surveys. *Aquatic Living Resources*, 13: 385–393.
19. McQuinn I.H., Reid D., Berger L., Diner N., Heatley D., Higginbottom I., Andersen L.N., Langeland O., Lapierre J.P. Description of the ICES HAC Standard Data Exchange Format, Version 1.60 // ICES Cooperative Research Report. – 2005. – №. 278. 86 pp.
20. Fablet R., Lefort R., Karoui I., Berger L., Masse J., Scalabrin C., Boucher J.M. 2009. Classifying fish schools and estimating their species proportions in fishery-acoustic surveys. - *ICES Journal of Marine Science*, 66: 1136–1142.
21. 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 / М.Ю. Кузнецов // Известия ТИНРО. – 2013. – Т. 172. – С. 20-51.

22. Гончаров, С. М. Гидроакустические съёмки как средство мониторинга состояния запасов пелагических рыб на акваториях черноморского бассейна / С. М. Гончаров // Труды ВНИРО. – 2013. – Т. 150. – С. 128-133.
23. Кудрявцев, В.И. Гидроакустика рыбохозяйственная / В.И. Кудрявцев. – М.: Изд-во ВНИРО, 2018. – 460 с.
24. SIMRAD. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kongsberg.com/discovery/ocean-science/> (дата обращения 09.04.2025).
25. BioSonics. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.biosonicsinc.com/> (дата обращения 09.04.2025).
26. Furuno. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.furuno.com/> (дата обращения 09.04.2025).
27. Флот рыбной промышленности. Справочник типовых судов / под. ред. Б.А. Антипова. – М.: Транспорт, 1990. – 381 с.
28. НИС «Профессор Кагановский», НИС «ТИНРО». [Электронный ресурс]. – URL: <http://bif.vniro.ru/ru/suda/> (дата обращения 09.04.2025).
29. НИС «Атлантниро», НИС «Атлантида». [Электронный ресурс]. – URL: <http://atlant.vniro.ru/index.php/issledovaniya/flot2/> (дата обращения 09.04.2025).
30. Дегтев, А.И. Опыт оценки численности молоди и производителей тихоокеанских лососей гидроакустическим методом на путях миграции в пресноводных водоемах / А.И. Дегтев, Е.А. Шевляков, К.М. Малых, В.А. Дубынин // Известия ТИНРО. – 2012. – Т. 170. – С. 113-135.
31. Малых, К.М. Демченко Д.В., Дубынин В.А., Коваленко М.Н. Оценка численности мигрирующих на нерест производителей нерки (*Oncorhynchus nerka*) стада р. Озерной гидроакустическим методом / К.М. Малых, Д.В. Демченко, В.А. Дубынин, М.Н. Коваленко // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2020. – Вып. 56. – С. 63-73. <https://doi.org/10.15853/2072-8212.2020.56.63-73>.
32. Кузнецов, М.Ю. Особенности распределения минтая и температуры вод в горизонтах его обитания в Охотском море в весенний период / М.Ю. Кузнецов, А.Л. Фигуркин, В.И. Поляничко, Е.В. Сыроваткин // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана,

промысловое и техническое использование». Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. – 2015, 24-26 марта. – С. 93-98.

33. Кузнецов, М.Ю. Особенности пространственного распределения и поведения японской скумбрии и дальневосточной сардины в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана в летний период 2015-2016 гг. / М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, Е.В. Сыроваткин, В.И. Шевцов // Рыбное хозяйство. – 2017. – Т. 2. – С. 56-62.

34. Кузнецов, М.Ю. Электронный атлас типовых акустических изображений промысловых видов рыб дальневосточных морей России / М.Ю. Кузнецов, И.А. Убарчук, В.И. Поляничко, В.И. Шевцов, Е.В. Сыроваткин // Известия ТИНРО – 2018. – Т. 193. – С. 57-67.

35. Кузнецов, М.Ю. Акустические исследования сайки *Boreogadus saida* (*Gadidae*) в юго-западной части Чукотского моря в 2003–2020 гг. / М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, Е.В. Сыроваткин // Известия ТИНРО. – 2022. – Т. 202, вып. 3. – С. 580-600. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-580-600. EDN: FMKCOF.

36. Поляничко, В.И. Распределение и обилие минтая *Theragra Chalcogramma* в северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период 2020 г. и их межгодовая изменчивость / В.И. Поляничко, М.Ю. Кузнецов // Известия ТИНРО. – 2022. – Т. 202, вып. 4. – С. 793-809. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-793-809.

37. Захаров, Е.А. О влиянии использования неводов типа «заездок» на пропуск производителей тихоокеанских лососей на нерестилища в реке Амур и Амурском лимане / Е.А. Захаров, Д.Л. Шабельский, Н.Л. Ваккер, В.И. Поляничко, В.С. Краснов, В.И. Шевцов, М.А. Мизюркин, О.Н. Кручинин, В.М. Вологов // Вопросы рыболовства. – 2022. – Т. 23, вып. 4. – С. 230-239. DOI: 10.36038/0234-2774-2022-23-4-230-239

38. Lindem T., Al Houari D. 1993. EP500 – A system for processing and presentation of echogram data produced by the SIMRAD EY500/EK500 echo sounders. ICES CM 1993.

39. Korneliussen R.J. The Bergen echo integrator post-processing system, with focus on recent improvements // Fisheries Research. – 2004. Vol. 68. P. 159–169.

40. Echoview. [Электронный ресурс]. <https://www.echoview.com/> (дата обращения 05.04.2025).

41. Large Scale Survey System (LSSS). [Электронный ресурс] <https://www.marec.no/> (дата обращения 05.04.2025).

42. Verena T, Berger L, Sebastien B, et al. Overview of recent progress in fisheries acoustics made by Ifremer with examples from the Bay of Biscay // *Aquatic Living Resources* – 2009. – Vol. 22. P. 433-445. <http://dx.doi.org/10.1051/alr/2009027>.
43. Wall C.C, Towler R, Anderson C., Cutter R., Jech J.M. PyEcholab: An open source, python-based toolkit to analyze water-column echosounder data // *J Acoust Soc Am.* – 2018. Vol. 144(3). P. 1778. <http://dx.doi.org/10.1121/1.5067860>.
44. Sonar X. [Электронный ресурс]. https://folk.uio.no/hbalk/sonar4_5/index.htm. (дата обращения 05.04.2025).
45. Echopure. [Электронный ресурс]. <https://pyri.org/project/echopure/> (дата обращения 05.04.2025).
46. Perrot Y., Brehmer P., Habasque J., Roudaut G., Behagle N., Sarré A., Lebourges-Dhaussy A. Matecho: An open-source tool for processing fisheries acoustics data // *Acoustics Australia*. – 2018. Vol. 46. P. 241–248. <http://dx.doi.org/10.1007/s40857-018-0135-x>.
47. ESP3. [Электронный ресурс]. <https://sourceforge.net/projects/esp3/>. (дата обращения 05.04.2025).
48. Кузнецов, М.Ю. Программный комплекс для визуализации, многовидовой обработки и хранения данных гидроакустических ресурсных съёмок / М.Ю. Кузнецов, И.А. Убарчук, В.И. Поляничко, Е.В. Сыроваткин // *Труды ВНИРО*. – 2021. – Т. 183. – С. 174-190.
49. MacLennan D.N., Fernandes P.G., Dalen J. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics // *ICES Journal of Marine Science*. – 2002 – Vol. 59. – P. 365-369.
50. Nakken O., Olsen K. 1977. Target strength measurements of fish // *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* V. 170. P. 52-69.
51. Midttun L. 1984. Fish and other organisms as acoustic targets // *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* V. 184. P. 25–33.
52. Clay C.S., Horne J.K. 1994. Acoustic models of fish: the Atlantic cod (*Gadus morhua*) // *J. Acoustical Society of America*. V. 96. P. 1661-1668.
53. Traynor J.J. Target strength measurement of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and pacific whiting (*Merluccius productus*) // *ICES J. Marine Science*. 1996. V. 53. P. 253–258. DOI: 10.1006/jmsc.1996.0031.

54. Gutierrez M., MacLennan D. 1998. Preliminary results of determination of in situ target strength of main pelagic species: Cruise of RV Humboldt 9803-05 from Tumbes to Tacna // *Inf. Inst. Mar. Peru*. V. 135. P. 16-19.
55. Ona E. 1999. Methodology for Target Strength Measurements. ICES Cooperative Research Report № 235. P. 65.
56. Мамылов, В.С. Некоторые аспекты оценки плотности рыбных скоплений тралово-акустическими методами / В.С. Мамылов // *Сб. науч. тр. Развитие технических методов рыбохозяйственных исследований*. – Мурманск: ПИНРО, 1999. – С. 147-163.
57. Lee D.J., Shin H.H. 2005. Construction of a data bank for acoustic target strength with fish species, length and acoustic frequency for measuring fish size distribution // *Korean J. Fisheries and Aquatic Sciences*. V. 38. № 4. P 265-275.
58. Liu J. M., Wu C. L., Chang Y. 2005. In situ target strength versus fork length relationships of *Scomber japonicus* and *Scomber australasicus* in waters off Northeastern Taiwan // *J. Taiwan Fisheries Research*. V. 13. № 2. P.1-9.
59. Ермольчев, В.А. Результаты исследований зависимостей силы цели рыб *in situ* от длины для трески, путассу и мойвы в Баренцевом и Норвежском морях / В.А. Ермольчев // *Рыбное хозяйство*. – 2006. – № 1. – С. 92-96.
60. Гончаров, С.М. Измерение силы цели байкальского омуля для повышения точности оценки его запаса в озере Байкал / С.М. Гончаров, С.Б. Попов, В.М. Бондаренко, Н.Г. Мельник, Н.С. Смирнова, И.В. Ханаев // *Рыбное хозяйство*. – 2008. – Т. 2. – С. 87-90.
61. Charouki N., Svellingen I.K. 2008. Acoustic target strength of chub mackerel (*Scomber japonicus*) measured in situ using split beam acoustics // *Symp. on Sci. and the Challenge of Managing Small Pelagic Fisheries on Shared Stocks in Northwest Africa*. Casablanca, Morocco, 11-14 March 2008. Rome: FAO fisheries and aquaculture proc. P. 295-302.
62. Кузнецов М.Ю., Сыроваткин Е.В. Исследование акустической силы цели минтая (*Theragra chalcogramma*) Охотского моря в весенний период // *Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана / Материалы III международной научно-технической конференции*. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. С. 146–149.
63. Заре, П. Оценки «силы цели» большеглазой кильки *Clupeonella grimmi* Каспийского моря / П. Заре, С.В. Шибаяев, С.М. Касаткина, Х. Фазли // *Вопросы рыболовства*. – 2016. – Т. 17 (3). – С. 351-357.

64. Кузнецов, М.Ю. Исследование акустической силы цели японской скумбрии в северо-западной части Тихого океана *in situ* / М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, Е.В. Сыроваткин, И.А. Убарчук // Труды ВНИРО. – 2021. – Т. 184. – С. 73-86. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-73-86.
65. Minami K., Shirakawa H., Kawauchi Y., Shao H., Tomiyasu M., Iwahara Y., Tsuda Y., Takahara H., Zhu Y., Miyashita K. Estimating target strength of young chum salmon (*Oncorhynchus keta*) // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 2022. – Vol. 79, №2. – P. 195–199. DOI: 10.1139/cjfas-2021-0181.
66. Blaxter, J.H.S., Batty, R.S. 1990. Swimbladder behaviour and target strength // *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* Vol. 189. P. 233-244.
67. Foote K.G. Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strengths // *Journal of the Acoustical Society of America*, 1980. V. 67. P. 2084–2089. DOI: 10.1121/1.384452.
68. Foote K.G. Fish target strength for use in echo integrator surveys // *Journal of the Acoustical Society of America*. 1987. V. 82. P. 981–987. DOI: 10.1121/1.395298.
69. Hamre J., Dommasnes A. Test experiments of target strength of herring by comparing density indices obtained by acoustic method and purse seine catches // *ICES CM Documents /B:17*. 1994. 17 p.
70. Ona E., Zhao X., Svellingen I., Fosseidengen J.E. Seasonal variation in herring target strength // *Herring: Expectations for a New Millennium 461 Alaska Sea Grant College Program / Conference Paper*. 2001. P. 461–487.
71. Кузнецов, М.Ю. Исследование отражательных свойств минтая (*Gadus chalcogrammus, Pallas, 1814*) в глубоководных районах Охотского моря в весенний период / М.Ю. Кузнецов, Е.В. Сыроваткин, В.И. Поляничко, И.А. Убарчук // *Океанология*. – 2025. – Т. 65, №5. – С. 160-167.
72. Ona E. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish // *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 1990. V. 70. P. 107–127. DOI: 10.1017/S002531540003424X.
73. Jorgensen R. The effects of swimbladder size, condition and gonads on the acoustic target strength of mature capelin // *ICES Journal of Marine Science*. 2003. V. 60. P. 1056–1062. DOI: 10.1016/S1054-3139(03)00115-2.

74. Месяцев, И.И. Запасы рыбы и интенсивность промысла / И.И. Месяцев, С.Г. Зуссер, Ю.В. Мартинсен, А.Н. Резник // Рыбное хозяйство. – 1935. – № 3. – С. 5-19.
75. Майский, В.Н. К методике изучения рыбной продуктивности Азовского моря / В.Н. Майский // Труды АзчерНИРО. – 1940. – Т. 12. – С. 25-68.
76. Аксютин, З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин. – Москва: Пищевая промышленность, 1968. – 288 с.
77. Мельников, И.В. К методике выполнения крупномасштабных пелагических траловых съёмок / И.В. Мельников // Труды ВНИРО. – 2006. – Т. 146. – С. 118-132.
78. Кузнецов, М.Ю. Использование системы контроля трала SIMRAD FS 20/25 для исследования геометрии трала / М.Ю. Кузнецов, В.И. Шевцов // Успехи рыболовства: сб. науч. тр., посвященный 75-летию кафедры промышленного рыболовства Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2006. – С. 73-79.
79. Захаров, Е.А. Актуальность использования аппаратуры контроля орудий лова для снижения погрешности в оценке численности гидробионтов / Е.А. Захаров, П.О. Емелин // Известия ТИНРО. – 2016. – Т. 186. – С. 198-206.
80. Булатов, О.А. К вопросу о методологии прогнозирования запасов и стратегии промысла минтая / О.А. Булатов. // Труды ВНИРО. – 2015. – Т. 157. – С. 45-70.
81. Wespestad V., Traynor J. Walleye pollock // Condition of groundfish resources of the eastern Bering Sea and Aleutian Islands region in 1987. – Seattle: NOAA, 1988. – P. 11-32.
82. Sasaki T. 1989. Synopsis of biological information on pelagic pollock resources in the Aleutian Basin // Proceedings of the International Scientific Symposium on Bering Sea Fisheries. – Seattle: NOAA, 1989. – P. 80-182.
83. Sasaki T. Preliminary report on the second research cruise by Kaiyo maru for fiscal, 1989. Research on Pollock stock in the international waters of the Bering Sea // Proceedings of the International Scientific Symposium on Bering Sea Fisheries. – Seattle: NOAA, 1990. – P. 83-104.
84. Тупоногов, В.Н. Сравнительный анализ результатов донных траловых съёмок разными судами на островном склоне Северных Курил (методические аспекты ин-

теркалибровочных работ) / В.Н. Тупоногов, А.М. Орлов, И.Н. Мухаметов // Труды ВНИРО. – 2006. – Т. 146. – С. 181-190.

85. Кручинин, О.Н. Способ определения коэффициента уловистости донного трала / О.Н. Кручинин, М.А. Мизюркин, В.А. Сафронов // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 164. – С. 374-383.

86. Лапшин, О.М. Подходы к определению коэффициента уловистости учетных тралов / О.М. Лапшин // Известия ТИНРО. – 2009. – Т. 157. – С. 247-260

87. Атлас количественного распределения nekтона в Охотском море / под.ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. – М.: Нац. рыб. ресурсы, 2003. – 1031 с.

88. Волвенко, И.В. Информационное обеспечение комплексных исследований водных биоресурсов Северо-Западной Пацифики. Часть 2. Базы данных, базы знаний, автоматизированные рабочие места / И.В. Волвенко // Труды ВНИРО. – 2015. – Т. 157. – С. 71-99.

89. Баранов, Ф.И. Техника неводного лова / Ф.И. Баранов // Материалы к познанию русского рыболовства. – 1913. – Т. 2, вып. 4. – С. 3-40.

90. Баранов, Ф.И. Техника промышленного рыболовства / Ф.И. Баранов. – Москва: Пищевая промышленность, 1960. – 596 с.

91. Андреев, В.Г. Повышение уловистости речных закидных неводов / В.Г. Андреев // Рыбное хозяйство. – 1949. – № 1. – С. 6-8.

92. Карпенко, Э.А. Промысловая эффективность и уловистость разноглубинных тралов / Э.А. Карпенко, П.С. Гюльбадамов // В кн.: Орудия и способы рыболовства. Вопросы теории и практики: сб. научных трудов ВНИРО. – Москва, 1988. – С. 10-19.

93. Чурунов, В.Н. Проблемы определения и увеличения уловистости речных закидных неводов в дельте реки Волга / В.Н. Чурунов, Е.П. Новожилов, Д.А. Кострыкин // Вопросы рыболовства. – 2015. – Т. 16, № 2. – С. 233-239.

94. Семененко, В.И. Возможные пути повышения уловистости тралов / В.И. Семененко, С.В. Жигульская, Д.А. Пец // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2011. – Т. 23. – С. 71-78.

95. Кузнецов, Ю.А. Исследование уловистости ставных неводов с учетом кинематического ориентационного поведения лососей / Ю.А. Кузнецов, Д.В. Казаков // Исследование водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2016. – Вып. 42. – С. 55-71.

96. Андреев, Н.Н. Некоторые вопросы теории лова жаберными сетями / Н.Н. Андреев // Труды ВНИРО. – 1955. – Т. 30. – С. 109-127.
97. Изнанкин, Ю.А. Уловистость жаберных сетей / Ю.А. Изнанкин // Труды ВНИРО. – 1959. – Т. 41, – С. 124-137.
98. Мельников, В.Н. Видимость сетных орудий лова в воде в связи с их уловистостью / В.Н. Мельников // Труды ВНИРО. – 1962. – Т. 47. – С. 68-112.
99. Честной, В.Н. Влияние гидрооптических факторов на уловистость трала / В.Н. Честной // Труды ВНИРО. – 1962. – Т. 47. – С. 113-133.
100. Розенштейн, М.М. О влиянии скорости траления на уловистость трала / М.М. Розенштейн // Труды КТИРПИХ. – 1964. – Вып. 27. – С. 226-236.
101. Чурунов, В.Н. О форме закидного невода во время его замета и выборки / В.Н. Чурунов // Труды ВНИРО. – 1976. – Т. 117. – С. 99-104.
102. Мизюркин, М.А. Влияние особенностей конструкции и скорости буксировки бим-трала на результативность лова / М.А. Мизюркин, А.Н. Вдовин, А.И. Шевченко, В.М. Вологов, П.В. Калчугин, А.Л. Максимович // Вопросы рыболовства. – 2010. – Т. 11, № 3 (43). – С. 601-609.
103. Лихтер, А.М. Влияние поведения рыб на эффективность речного закидного неводного лова / А. М. Лихтер, В. Н. Чурунов, Е. П. Новожилов // Естественные науки. – 2012. – № 1(38). – С. 257-266.
104. Дубровский, А.Д. Об уловистости трала / А.Д. Дубровский // Труды КТИРПИХ. – 1964. – Вып. 27. – С. 166-183.
105. Сечин, Ю.Т. Математическая модель кривой относительной уловистости жаберных сетей / Ю.Т. Сечин // Рыбное хозяйство. – 1969. – № 9. – С. 56-58.
106. Блинов, В.В. Некоторые вопросы общей теории уловистости орудий лова / В.В. Блинов // Труды ВНИРО. – 1971. – Т. 87(7). – С. 185-192.
107. Kasatkina, S.M. Midwater trawl catchability as an aspect of a quantitative assessment of krill biomass conducted using a trawl census survey / S.M. Kasatkina // In: Selected Scientific Papers (SC- CAMLR-SSP/8). – Australia: Hobart- CCAMLR, 1991. – P. 257-272.
108. Демьяненко, К.В. Относительные коэффициенты уловистости учетных донных тралов для основных промысловых видов донных и придонных видов рыб

Азовского моря / К.В. Демьяненко, В.Г. Гурьянов // Рыбное хозяйство Украины. – 2003. – № 2. – С. 31-33.

109. Любин, П.А. Относительная уловистость и относительная селективность донных тралов в отношении *Pandalus borealis*, применяемых в съёмках её запаса / П.А. Любин // Тезисы докладов VII всероссийской конференции по промысловым беспозвоночным (памяти Б. Г. Иванова). – М.: ВНИРО, 2006. – С. 165-168.

110. Мельников, К.А. Оценка коэффициента уловистости орудий лова как относительной меры промыслового усилия / К.А. Мельников // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 27-34.

111. Лексуткин, А.Ф. Проверка уловистости орудий лова мечением рыбы / А.Ф. Лексуткин // Рыбное хозяйство. – 1947. – №9. – С. 16-17.

112. Новожилов, Е.П. Экспериментальное определение коэффициентов уловистости речных закидных неводов / Е.П. Новожилов // Рыбное хозяйство. – 1968. – № 12. – С. 48-49.

113. Трещев, А.И. К методике определения уловистости пелагического трала / А.И. Трещев, С.Ф. Ефанов // Рыбное хозяйство. – 1976. – № 11. – С. 51-52.

114. Артемов, А.Г. Определение уловистости трала / А.Г. Артемов, Э.А. Карпенко, В.А. Протащук // Труды ВНИРО. – 1978. – Т. 135. – С. 52-55.

115. Горелов, П.А. Коэффициент уловистости сетной части донного трала // Совершенствование техники промышленного рыболовства / П.А. Горелов // Труды ВНИРО. – 1978. – Т. 135. – С. 55-59.

116. Вереин, Е.Л. Совершенствование метода определения коэффициента уловистости речного закидного невода / Е.Л. Вереин, В.А. Пальгуй // В кн.: Рациональные основы ведения осетрового хозяйства. – Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1981. – С. 35-36.

117. Заферман, М.Л. Определение коэффициента уловистости донного трала с помощью подводных аппаратов / М.Л. Заферман, Г.В. Попков // Рыбное хозяйство. – 1982. – № 1. – С. 50-51.

118. Коротков В.К. Определение уловистости донного трала по результатам подводных наблюдений: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.18.17 / Виктор Константинович Коротков. – Москва, 1984. – 23 с.

119. Серебров, Л.И. Определение коэффициента уловистости донного трала с помощью БПА «Тетис» / Л.И. Серебров, Г.В. Попков // Рыбное хозяйство. – 1982. – № 8. – С. 59-61.
120. Бердичевский, З.М. / Акустическая оценка уловистости трала / З.М. Бердичевский, В.И. Зубов, В.С. Мамылов, Т.М. Сергеева // Рыбное хозяйство. – 1984. – № 8. – С. 60-61.
121. Заферман, М.Л. Методы и результаты изучения коэффициентов уловистости тралов / М.Л. Заферман, Л.И. Серебров // В кн.: Исследования по оптимизации рыболовства и совершенствованию орудий лова. Москва: ВНИРО, 1985. – С. 84-94.
122. Kasatkina S.M. Acoustic studies of catchability by midwater trawl of slow and fast moving commercial species / S.M. Kasatkina // Proceeding of the Institute of Acoustics: Symposium on Fisheries Acoustics. – Lawfsoft, England, 1989. – Vol. 11, – part. 3. – ISBN Number 094673/83. – 20p.
123. Карпенко, Э.А. Оценка уловистости тралов на промысле минтая и определение структуры его облавливаемых скоплений / Э.А. Карпенко // Труды ВНИРО. – 2006. – Т. 146. – С. 280-285.
124. Мельников, В.Н. О достоверности оценки запасов промысловых рыб по результатам учетных и промысловых съемок / В.Н. Мельников, А.В. Мельников, Р.А. Юсупов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2005. – № 3(26). – С. 9-16.
125. Новожилов, Е.П. Влияние коэффициента уловистости орудий рыболовства на точность определения состояния запасов гидробионтов / Е. П. Новожилов // Известия КГТУ. – 2014. – № 32. – С. 250-254.
126. Ионас, В.А. Применение метода анализа размерностей при определении абсолютной уловистости трала / В.А. Ионас // Рыбное хозяйство. – 1966. – № 2. – С. 46-48.
127. Ионас, В.А. Об уловистости кошелькового невода / В.А. Ионас // Рыбное хозяйство. – 1966. – № 10. – С. 48-49.
128. Ионас, В.А. Производительность трала / В.А. Ионас. – Москва: Пищевая промышленность, 1967. – 51 с.
129. Андреев, Н.Н. Проектирование кошельковых неводов / Н.Н. Андреев. – Москва: Пищевая промышленность, 1970. – 504 с.

130. Андреев, Н.Н. К теории лова рыбы траллирующими орудиями / Н.Н. Андреев // Труды ВНИРО. – 1977. – Т. 122. – С. 58-76.
131. Честной, В.Н. Динамика уловистости тралов / В.Н. Честной. – Москва: Пищепромиздат, 1977. – 66 с.
132. Трещев, А.И. Интенсивность рыболовства / А.И. Трещев. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 236 с.
133. Войниканис-Мирский, В.Н. Теория уловистости и классификация орудий промышленного рыболовства / В.Н. Войниканис-Мирский // Труды Дальрыбвтуза. – 1963. – Вып. 3. – С. 29-40.
134. Войниканис-Мирский, В.Н. О зонах влияния зонах действия и коэффициентах уловистости орудий промышленного рыболовства / В.Н. Войниканис-Мирский // Труды КТИРИПХ. – 1969. – Вып. 21. – С. 45–51.
135. Засосов, А.В. Методы определения уловистости тралов новых конструкций / А.В. Засосов // Рыбное хозяйство. – 1966. – №7. – С. 40-42.
136. Лукашов, В.Н. Об уловистости орудий рыболовства / В.Н. Лукашов // Рыбное хозяйство. – 1963. – № 7. – С. 38-41.
137. Лукашов, В.Н. Устройство и эксплуатация орудий промышленного рыболовства / В.Н. Лукашов. – Москва: Пищевая промышленность, 1972. – 367 с.
138. Никоноров, И.В. Взаимодействие орудий лова со скоплением рыб / И.В. Никоноров. – Москва: Пищепромиздат, 1973. – 236 с.
139. Сергеев, Ю.С. Основы теории лова ставными неводами и тралами / Ю.С. Сергеев. – Москва: Пищевая промышленность, 1979. – 143 с.
140. Розенштейн, М.М. Расчет элементов глубоководной траловой системы / М.М. Розенштейн. – Москва: Пищевая промышленность, 1976. – 189 с.
141. Фридман, А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства / А.Л. Фридман. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 328 с.
142. Кадильников, Ю.В. Расчетная оценка улавливающих качеств трала: методические указания / Ю.В. Кадильников. – Калининград: АтлантНИРО, 1985. – 203 с.
143. Кадильников, Ю.В. Вероятностно-статистическая теория рыболовных систем и технической доступности для них водных биологических ресурсов / Ю.В. Кадильников. – Калининград: АтлантНИРО, 2001. – 277 с.

144. Толкунов, А.Е. Имитационная модель уловистости и ловающей характеристики траловой системы для промысла черноморского шпрота / А.Е. Толкунов // Рыбное хозяйство Украины. – 2003. – № 7. – С. 27-36.
145. Толкунов, А.Е. Обоснование основных параметров и режимов эксплуатации траловой системы для промысла черноморского шпрота: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.18.17 / Алексей Евгеньевич Толкунов. – Москва, 2013. – 24 с.
146. Розенштейн, М.М. Определение законов распределения траловых уловов и поведенческих характеристик объекта лова для совершенствования модели процесса тралового лова рыбы / М.М. Розенштейн, В.В. Николаев // Известия КГТУ. – 2004. – № 5. – С. 52-57.
147. Николаев, В.В. Совершенствование математической модели процесса лова рыбы разноглубинным тралом: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.18.17 / Виталий Викторович Николаев. – Калининград, 2004. – 28 с.
148. Ricker W.E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations // Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada. – 1975. – Vol. 191. 382 p.
149. Leslie P.H., Davies H.S. An attempt to determine the absolute number of rats on a given area // Journal of Animal Ecology. – 1939. – Vol. 8, – P. 94-113.
150. DeLury D.B. On the estimation of biological populations // Biometrics. – 1947. – Vol. 3 (4). – P. 145-67.
151. Paloheimo J.E. A method of estimating natural and fishing mortalities // Journal of the Fisheries Board of Canada. – 1958. Vol. 15 (4). – P. 749-758.
152. Chapman D.G. The estimation of mortality and recruitment from a single-tagging experiment // Biometrics. – 1965. – Vol. 21 (3). – P. 529-542.
153. Ehrdhardt N. Mortality and catchability estimates for the stone crab (*Menippe mercenaria*) in Everglades National Park // Bulletin of Marine Science. – 1990. – Vol. 46 (2). – P. 324-334.
154. Pollock K.H., Nichols J.D., Brownie C., Hines J.E. Statistical inference for capture-recapture experiments // Wildlife Monographs. – 1990. – Vol. 107. - 97 p.
155. Megrey B.A. Review and comparison of age-structured stock assessment models from theoretical and applied points of view // American Fisheries Society Symposium. – 1989. – Vol. 6. – P. 8-48.

156. Shepherd J.G. Towards a method for short-term forecasting of catch-rates based on length compositions. In Pauly D. and Morgan G.R. eds. Length-Based Methods in Fisheries Research. (ICLARM Conf. Proceedings 14.) International Center for Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines; and KISR, Kuwait. – 1987. – P. 167-176.
157. Caswell H. 1988. Approaching Size and Age in Matrix Population Models // In: Ebenman, B., Persson, L. (eds) Size-Structured Populations. Springer, Berlin, Heidelberg.
158. Gulland, J.A. 1983. Fish Stock Assessment. A Manual for Basic Methods. New York: John Wiley and Sons. 223 pp.
159. MacCall, A.D. (1976) Density dependence of catchability coefficient in the California Pacific sardine (*Sardinops sagax caerulea*) purse seine fishery // Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. – Vol. 18. – P. 136-148.
160. Csirke, J. 1989. Changes in the catchability coefficient in the Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*) fishery. In D. Pauly, P. Muck & I. Tsukayama (eds). The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. – P. 207–219.
161. Pitcher T. J. The Impact of Pelagic Fish Behavior on Fisheries // Scientia Marina. – 1995. – Vol. 59 (3-4). – P. 295-306.
162. Заферман, М.Л. Определение численности промысловых объектов с помощью притралового фотоавтомата / М.Л. Заферман // Рыбное хозяйство. – 1974. – № 7. – С. 25-26.
163. Серебров, Л.И. Опыт использования автоматической подводной фотокамеры для изучения поведения и распространения донных рыб перед тралом / Л.И. Серебров // Рыбное хозяйство. – 1973. – № 7. – С. 52-54.
164. Серебров, Л.И. Определение плотности скоплений донных рыб и уловистости тралов подводной телевизионной станцией «Кайман-2» / Л.И. Серебров // Рыбное хозяйство. – 1985. – №7. – С. 59-61.
165. Коротков, В.К. Реакции рыб на трал, технология их лова / В.К. Коротков. – Калининград: МариНПО, 1998. – 398 с.
166. Мартышевский, В.Н. Особенности поведения некоторых видов рыб в зоне действия трала / В.Н. Мартышевский, В.К. Коротков // Материалы всесоюзной конференции по вопросу изучения поведения рыб в связи с техникой и тактикой промысла. – Мурманск: ПИНРО, 1968. – С. 79-85.

167. Заферман, М.Л. Визуальная оценка плотности скоплений рыб / М.Л. Заферман // Рыбное хозяйство. – 1978. – № 3. – С. 11-14.
168. Albert O.T., Harbitz A., Hoines A.S. Greenland halibut by video in front of survey trawl: Behaviour, escapement, and spatial pattern // Sea Research. – 2003. – Vol. 50. – P. 117-127.
169. Заферман, М.Л. Новая методология оценки уловистости донного трала / М.Л. Заферман // Рыбное хозяйство. – 2006. – № 1. – С. 90-92.
170. Заферман, М.Л. Уловистость донного трала при лове черного палтуса (*Reinhardtius Hippoglossoides*) / М.Л. Заферман, Г.П. Тарасова // Вопросы рыболовства. – 2006. – Т. 7, №1(25). – С. 176-184.
171. Карпенко, Э.А. Исследование дифференциальной уловистости / Э.А. Карпенко // Техника промышленного рыболовства и поведение рыб. – Москва: ВНИРО, 1983. – С. 16-22.
172. Карпенко, Э.А. Методика определения размерного состава скопления по характеристикам улова / Э.А. Карпенко, Г.Н. Степанов, В.В. Акишин. // Труды ВНИРО. – 2006. – Т. 146. – С. 266-280.
173. Карпенко, Э.А. Экспериментальные исследования поведения рыб при взаимодействии с элементами трала в модельных условиях / Э.А. Карпенко, О.М. Лапшин, Ю.В. Герасимов // Вопросы ихтиологии. – 1997. – Т. 37. – С. 253-260.
174. Parrish, B.B., Blaxter, J.H.S., Hall, W.B. (1964). Diurnal variation in size and composition of trawl catches. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer, 155, 27-34.
175. Byrne, C.J., Azarovitz, T.R., Sissenwine, M.P. (1981). Factors affecting variability of research vessel trawl surveys. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 58, 258-273.
176. Godø O.R., Walsh, S. (1992). Escapement of fish during trawl sampling – implication of resource assessment. Fish. Res., 13, 281-292.
177. Godø O.R., Weststad V.G. (1993). Monitoring changes in abundance of gadoids with varying availability to trawl and acoustic surveys. ICES J. Mar. Sci., 50, 39-51.
178. Godø, O.R. 1994. Factors affecting the reliability of groundfish abundance estimates from bottom trawl surveys. In Marine Fish Behaviour in Capture and Abundance Estimation, pp. 166 –199. Ed. by A. Ferro, and S. Olsen. Fishing News Books, Oxford. 240 pp.
179. Paloheimo, J.E. 1963. Estimation of catchability and population sizes of lobsters. J. Fish. Res. Board, Can. 20: 59-88.

180. Morgan, G.R. 1974. Aspects of the of the Western Rock lobster, *Panulirus cygnus* George II. Seasonal change in the catchability coefficient. *Aust J. mar. Freshwater Res.* 25 249-259.
181. Hilborn, R. and Walters, C.J. (1992) *Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamics and Uncertainty*. New York: Chapman and Hall. 570 pp.
182. Naya, M., Ueno, Y., Mouri, T., Oshima, K., Watanabe, T., Fujita, K., Itoh, K., Iwasaki, K., Matsuo, Y., Itoh, Y., Shimizu, Y. Estimation of the fishing efficiency of a mid-water trawl for Pacific saury *Cololabis saira* using a high-frequency side-scan sonar // *Nippon Suisan Gakkaishi*. 2010; 76(4), 658-669.
183. Кузнецов, М.Ю., Поляничко В.И. Исследование коэффициента уловистости минтая учетным тралом с использованием гидроакустических средств / М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко // *Материалы III Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана»*. Владивосток: Дальрыбвтуз. – 2014, 27-29 мая. – С. 150-155.
184. Кузнецов, М. Ю. Дистанции реагирования различных видов рыб на гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и допустимые уровни шума / М. Ю. Кузнецов // *Известия ТИНРО*. – 2011. – Т. 164. – С. 157-176.
185. Протасов, В.Р. *Поведение рыб* / В.Р. Протасов. – Москва: Пищевая промышленность, 1978. – 295 с.
186. Mitson R.B. *Underwater noise of research vessels: review and recommendations* // *ICES Cooperative Research Report*. Copenhagen, Denmark. 1995. – № 209. – 61 p.
187. Mitson R.B., Knudsen H.P. *Causes and effects of underwater noise on fish abundance estimation* // *Aquatic Living Resources*. – 2003. – Vol.16. – P. 255-263.
188. 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 // *Известия ТИНРО*. – 2009. – Т. 157. – С. 334-355.
189. Кузнецов, М.Ю. Характеристики гидроакустического шума научно-исследовательских судов ТИНРО-Центра / М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, В.И. Шевцов // *Известия ТИНРО*. – 2014. – Т. 177. – С. 235-257.
190. Простаков, А.Л. *Гидроакустика и корабль* / А.Л. Простаков. – Ленинград: Судостроение, 1967. – 100 с.

191. Урик, Р.Д. Основы гидроакустики / Р.Д. Урик. – Ленинград: Судостроение, 1978. – 448 с.
192. Болгов, В.М. Акустические шумы и помехи на судах / В.М. Болгов, Д.Д. Плахов, В.Е. Яковлев. – Ленинград: Судостроение, 1984. – 192 с.
193. Колесников, А.Е. Шум и вибрация. / А.Е. Колесников. – Ленинград: Судостроение, 1988. – 246 с.
194. Johanneson K.A., Mitson R.B. Fisheries acoustics: a practical manual for aquatic biomass estimation. – Rome: FAO, 1983. – 249 p.
195. Петровский, В.С. Гидродинамические проблемы турбулентного шума / В.С. Петровский. – Ленинград: Судостроение, 1966. – 252 с.
196. Кузнецов, М.Ю. Биотехническое обоснование и разработка пневмоакустических систем для управления поведением рыб в процессе лова: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.06 / Кузнецов Михаил Юрьевич. – Владивосток, 1996. – 28 с.
197. Popper A. N. Effects of anthropogenic sound on fishes // Fisheries. – 2003. – Vol. 28. – P. 24-31.
198. Popper A.N., Fay R.R., Platt C., Sand O. Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes // Sensory Processing in Aquatic Environments. – New York: Springer-Verlag, 2003. – P. 3-38.
199. Кузнецов, М.Ю. Влияние гидроакустического шума судна на эхоинтеграционные оценки запасов рыб и уловистость учетного трала (на примере минтая Охотского моря) / М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, И.А. Убарчук, Е.В. Сыроваткин // Известия ТИНРО. – 2017. – Т. 190. – С. 85-100.
200. Ona E., Godø O.R. Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling // Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer. – 1990. – Vol. 189. – P. 159-166.
201. Гончаров, С. М. Влияние рыболовного судна на поведение стай ставриды / С. М. Гончаров, Э. С. Борисенко, А. И. Пьянов // Рыбное хозяйство. – 1991. – № 3. – С. 52-54.
202. Vabø R., Olsen K., Huse I. The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring spawning herring // Fisheries Research. – 2002. – Vol. 58. – P. 59-77.
203. De Robertis A., Wilson C. D., Williamson N. J., Guttormsen M. A., Stienessen S. Silent ships sometimes do encounter more fish. 1. Vessel comparisons during winter pollock surveys // ICES Journal of Marine Science. – 2010. – Vol. 67(5). – P. 985-995.

204. Кузнецов, М.Ю. Экспериментальные исследования влияния шума судна на эхоинтеграционные и траловые оценки запасов рыб с использованием гидроакустических технологий / М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, В.И. Шевцов // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2016. – Т. 38. – С. 27-32.
205. Misund O.A.; Coetzee J. Recording fish schools by multi-beam sonar: potential for validating and supplementing echo integration recordings of schooling fish // Fisheries Research. – 2000. – Vol. 47. – P. 149-159.
206. Zaferman M.L., Tretyak V.L., Yaragina N.A. On catchability of sampling trawls and perspective of trawl surveys // Gear Selection and Sampling Gears. Proceed. of the 7th Rus.–Norw. Symp.. – Murmansk: PINRO Press, 1997. – P. 159-168.
207. Engås 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*) // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 1996. – Vol. 53. – P. 2238-2249.
208. Кузнецов, М. Ю. Способ снижения подводного шума судна при проведении траловых и тралово-акустических учетных съемок / М.Ю. Кузнецов // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 167. – С. 223-233.
209. Протасов, В.Р. Наука и промышленное рыболовство / В.Р. Протасов, В.Н. Мельников, А.Д. Дубровский. – Москва: Знание, 1973. – 63 с.
210. Халиулов, Ф. А. Параметрический метод управляемого преобразования гидроакустических полей шумоизлучения научно-исследовательских и промысловых судов, методы и системы их измерения, основанные на закономерностях нелинейной акустики: дис. ... канд. техн. наук.: 05.11.06 / Фаргат Амершанович Халиулов. – Владивосток, 2002. – 179 с.
211. Мантейфель, Б.П. Изучение поведения стайных рыб в целях усовершенствования техники их лова / Б.П. Мантейфель // Труды совещания по вопросам поведения и разведки рыб. – 1955. – С. 108-116.
212. Мантейфель, Б.П. Наблюдения за поведением салаки при лове ее тралом в Рижском заливе / Б.П. Мантейфель, М.Н. Лишев, Д.В. Радаков, К.И. Юданов // Труды ВНИРО. – 1958. – Т. 36. – С. 19-24.
213. Гюльбадамов, С.Б. Промыслово-биологические основы проектирования пелагических тралов / С.Б. Гюльбадамов // Труды ВНИРО. – 1958. – Т.36. – С. 192-241.

214. Okonski S. Echosounding observations of fish behavior in the proximity of the trawl // *FAO Fisheries Report*. 62(2). – 1969. – P. 377-388.
215. Коротков, В.К. Поведение некоторых рыб в зоне действия трала / В.К. Коротков // *Вопросы ихтиологии*. – 1969. – Т. 9, вып. 6 (59). – С. 1110-1117.
216. Коротков, В.К. Трал, поведение объекта лова и подводные наблюдения за ними / В.К. Коротков, А.С. Кузьмина. – Москва: Пищевая промышленность, 1972. – 269 с.
217. Выскребенцев, Б.В. Поведение рыб в зоне действия тралящих орудий лова / Б.В. Выскребенцев // *Биологические основы управления поведением рыб*. – Москва: Наука, 1970. – С. 267-302.
218. Обвинцев, А.Л. О взаимодействии объекта лова с тралом / А.Л. Обвинцев // *Рыбное хозяйство*. – 1975. – № 1. – С. 48-51.
219. Сабуренков, Е.Н. Поведение рыб в зоне действия трала и пути совершенствования тралового лова / Е.Н. Сабуренков // *Обзорная информация: Промышленное рыболовство*. – Москва: ЦНИИТЭИРХ, 1977. – Вып. 1-2. – 56 с.
220. Ефанов, С.Ф. Особенности поведения минтая в зоне действия трала / С.Ф. Ефанов, И.Г. Истомин, В.И. Рождественская // *Рыбное хозяйство*. – 1987. – № 11. – С. 60-62.
221. Норинов, Е.Г. Поведение минтая в разноглубинном трале / Е.Г. Норинов // *Совершенствование и создание новых способов и орудий лова*. – Владивосток: ТИНРО, 1990. – С. 22-28.
222. Степанов, Г.Н. Основные параметры отцеживающих орудий лова / Г.Н. Степанов // *Сб. науч. тр. Совершенствование орудий промышленного рыболовства в связи с поведением гидробионтов*. – Москва: ВНИРО, 1990. – С. 70-90.
223. Fréon P., Gerlotto F., Soria M. Variability of *Harengula* spp. school reactions to boats or predators in shallow water // *ICES Marine Science Symposia*. – 1993. – Vol. 196. – P. 30-35.
224. Fernö A., Huse I.J. Fish avoidance of survey vessels and gear: Can predictions based on the response of fish to predators explain the observed variations? // *Presentation at the ICES Fish Behaviour in Exploited Ecosystems Symposium*. – Bergen, Norway, 2003. – 31 p.

225. Skaret G., Axelsen B. E., Nøttestad L., Ferno A., Johannessen A. The behaviour of spawning herring in relation to a survey vessel // ICES J. Mar. Sci. – 2005. – Vol. 62. – P. 1061-1064.
226. Кадильников, Ю.В. Критерии управления разноглубинными тралами / Ю.В. Кадильников // Исследования по технике промышленного рыболовства и поведению рыб. – Москва: ВНИРО, 1983. – С. 22-32.
227. Коротков, В.К. Распределение и поведение ставриды относительно судна и трала в ЮВТО и ЮЗТО / В. К. Коротков, А.В. Свиридов // Сб. науч. тр. Техника промышленного рыболовства. Вопросы теории, практики промысла и поведения гиробионтов. – Москва: ВНИРО, 1993. – С. 67-77.
228. Wilson C.D. Fish avoidance to a research survey vessel // ICES Symposium on Fish Behaviour in Exploited Ecosystems. – Bergen, Norway, 2003. – P. 78.
229. Winger P.D., Walsh S.J., McCallum B.R., Brown J.A. Vessel- and trawl-induced avoidance behaviour of Atlantic cod and American plaice determined using acoustic telemetry // Presentation at the ICES Fish Behaviour in Exploited Ecosystems Symposium. – Bergen, 2003. – 20 p.
230. Soria M., Freon P., Gerlotto F. Analysis of vessel influence on spatial behaviour of fish schools using a multi-beam sonar and consequences for biomass estimates by echosounder // ICES Journal of Marine Science. – 1996. – Vol. 53. – P. 453-458.
231. Fay R.R. What fish hear // Using sound to modify fish behavior at power-production and water-control facilities: a Workshop, Final Report. – 1997. – P. 77-90.
232. Павлов, Д.С. Стайное поведение рыб / Д.С. Павлов, А.О. Касумян. – Москва: МГУ, 2003. – 146 с.
233. Изак, Г.Д. Шум на судах и методы его уменьшения / Г.Д. Изак, Э.А. Гомзигов. – Москва: Транспорт, 1987. – 303 с.
234. Мартышевский, В.Н. Об исследовании акустического поля донного трала / В.Н. Мартышевский, В.В. Кузнецов // Рыбное хозяйство. – 1982. – № 1. – С. 55-58.
235. Радаков, Д.В. Об особенностях оборонительного поведения стай некоторых пелагических рыб / Д.В. Радаков // Труды Института морфологии животных АН СССР. – 1961. – Вып. 39. – С. 47-71.
236. Коротков, В. К. Эффективность отпугивания рыб кабелями донного трала / В. К. Коротков // Рыбное хозяйство. – 1978. – № 2. – С. 57-59.

237. Коротков, В. К. Реакция рыб на отдельные элементы донного трала / В. К. Коротков // Сб. науч. тр. Особенности поведения рыб в экспериментальных и естественных условиях. – Москва: ИЭМЭЖ им. Северцова, 1982. – С. 202-214.
238. Кузнецов, В.В. Изучение реакции рыбы на колебания канатных элементов / В.В. Кузнецов // Вопросы теории и практики промышленного рыболовства. – Москва: ВНИРО, 1998. – С. 163-168.
239. Mohr H. Observations of the Atlanto-Scandian herring with respect to schooling and reactions to fishing gear // FAO Fisheries Report. – 1969. – Vol. 62(3). – P. 567-577.
240. Suuronen P., Lehtonen E., Wallace J. Avoidance and escape behaviour by herring encountering midwater trawls // Fisheries Research. – 1997. – Vol. 29(1). – P. 13-24.
241. Лапшин, О.М. Теория, методология и практика учетных рыболовных систем: автореф. дис. ... док. технич. наук: 05.18.17 / Лапшин Олег Михайлович. – Москва, 2009. – 48 с.
242. Мамылов, В.С. К методике расчета акустической зоны тени при оценке запасов донных рыб / В.С. Мамылов, С.В. Ратушный // Сб. науч. тр. Инструментальные методы рыбохозяйственных исследований. – Мурманск: ПИНРО, 1996. – С. 107-121.
243. Кудрявцев, В.И. Развитие средств гидроакустической телеметрии и телеуправления в рыбохозяйственной отрасли / В.И. Кудрявцев // Труды ВНИРО. – 2018. – Т. 170. – С. 153-183.
244. Волвенко, И.В. Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съемок / И.В. Волвенко // Известия ТИНРО. – 1998. – Т. 124. – С. 473-500.
245. Волвенко, И.В. Технические проблемы адекватной интерпретации результатов траловых съемок и пути их решения / И.В. Волвенко // Известия ТИНРО. – 2013. – Т. 172. – С. 282-293.
246. Шевченко, А.И. Обоснование параметров устья разноглубинных тралов / А.И. Шевченко, А.Н. Бойцов // Поведение рыб и орудия лова. – Владивосток: ТИНРО, 1983. – С. 12-16.
247. Габрюк, В.И. Параметры разноглубинных тралов / В.И. Габрюк: – Москва: Агропромиздат, 1988. – 212 с.
248. Недоступ, А. А. Метод расчета характеристик разноглубинного трала / А. А. Недоступ // Известия КГТУ. – 2009. – № 16. – С. 34-43.

249. Кручинин, О.Н. Расчет геометрии донных тралов по их проектным характеристикам / О.Н. Кручинин, И.В. Волвенко, В.А. Сафронов // Известия ТИНРО. – 2012. – Т. 170. – С. 241-255.
250. Савотин, Д.В. Расчёт формы устья трала с гексагональной ячейей / Д.В. Савотин // Труды ВНИРО. – 2015. – Т. 155. – С. 146–150.
251. Розенштейн, М.М. Расчет раскрытия устья разноглубинного трала в форме прямоугольника / М.М. Розенштейн, М.В. Савин // Рыбное хозяйство. – 2016. – № 6. – С. 90–93.
252. Розенштейн, М.М. Расчет раскрытия устья разноглубинного трала в форме многоугольника / М.М. Розенштейн, М.В. Савин // Рыбное хозяйство. – 2017. – № 1. – С. 86–87.
253. Розенштейн, М.М. Результаты проверки адекватности метода расчета раскрытия устья разноглубинного трала / М.М. Розенштейн, М.В. Савин // Рыбное хозяйство. – 2017. – № 2. – С. 90–92.
254. Кручинин, О.Н. Определение рабочих параметров траловой системы с учетом экспериментальных данных о форме канатно-сетной оболочки разноглубинных тралов / О.Н. Кручинин, Е.А. Захаров, Д.Л. Шабельский // Известия ТИНРО. – 2020. – Т. 200 (1). – С. 193-209.
255. Rosen S., Engås A., Fernö A., Jörgensen T. The reactions of shoaling adult cod to a pelagic trawl: implications for commercial trawling // ICES Journal of Marine Science. – 2012. – Vol. 69(2). – P. 303-312.
256. Кузнецов, М.Ю. Гидроакустические исследования распределения и вертикальных миграций минтая *Theragra chalcogramma* в северной части Охотского моря в весенний период / М.Ю. Кузнецов // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2011. – Т. 23. – С. 44-53.
257. De Robertis A., Handegard N.O. Fish avoidance of research vessels and the efficacy of noise-reduced vessels: a review // ICES Journal of Marine Science. – 2013. – Vol. 70. – P. 34-45.
258. Кузнецов, М.Ю. Методические рекомендации по измерению подводного шума судов научно-промыслового назначения / М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, И.А. Убарчук, В.И. Шевцов // Известия ТИНРО. – 2025. – Т. 205, № 1. – С. 179-194.

259. Кузнецов, М.Ю. Совершенствование методов оценки уловистости траловых учетных систем с использованием гидроакустических средств (на примере минтая Охотского моря) / М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, И.А. Убарчук // Известия ТИНРО. – 2015. – Т. 183. – С. 259-278.
260. Olsen K., Angell J., Lovik A. Quantitative estimations of fish behaviour on acoustically determined fish abundance // Symposium on Fisheries Acoustics, Bergen, Norway, FAO Fisheries Report. – 1983. – Vol. 300. – P. 139-149.
261. Мельников, А.В. Селективность рыболовства / А.В. Мельников, В.Н. Мельников. – Астрахань: АГТУ, 2005. – 376 с.
262. Волвенко, И.В. Морфометрические характеристики стандартных биостатистических районов для биоценологических исследований рыболовной зоны России на Дальнем Востоке / И.В. Волвенко // Известия ТИНРО. – 2003. – Т. 132. – С 27-42.
263. Убарчук И.А., Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Шевцов В.И., Сыроваткин Е.В. Электронный атлас типовых акустических изображений промысловых видов рыб Дальневосточных морей России // Программа для ЭВМ. – Свидетельство о регистрации №2018619345. – Дата регистрации 03.08.2018.
264. Убарчук И.А., Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В., Шевцов В.И. Электронный атлас акустических изображений скоплений рыб Дальневосточных морей и их промысловой значимости // Программа для ЭВМ. – Свидетельство о регистрации №2025666061. – Дата регистрации 23.06.2025.
265. Поляничко, В.И. Математическая модель поведения минтая в шумовом поле судна / В.И. Поляничко, М.Ю. Кузнецов, И.А. Убарчук // Балтийский морской форум: материалы XII Международного Балтийского морского форума: в 6 т., Калининград, 30 сентября – 04 октября 2024 года. – Калининград: Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота, Калининградский государственный технический университет, 2024. – С. 260-270.
266. Поляничко, В.И. Гидроакустические методы оценки уловистости тралов и реакции рыб на шумовое поле судна при выполнении учетных съемок / В.И. Поляничко, М.Ю. Кузнецов, // Рыбное хозяйство. – 2025. – Т. 2. – С. 116-125.
267. Бабаян, В.К. О некоторых особенностях математического моделирования в сырьевых рыбохозяйственных исследованиях / В.К. Бабаян // Вопросы рыболовства. – 2015. – Т. 16 (4). – С. 428-439.

268. Шулейкин, В.В. Энергетика и скорость миграций рыб, дельфинов и китов / В.В. Шулейкин // Труды ВНИРО. – 1966. – Т. 60. – С. 27-39.
269. Сабуренков, Е.Н. О скоростях движения рыб / Е.Н. Сабуренков, Ю.Н. Сбикин, Д.С. Павлов // Поведение рыб в зоне гидротехнических сооружений. – Москва: Наука, 1967. – С. 124-136.
270. Яржомбек, А.А. Природа скоростей рыб / А.А. Яржомбек // Рыбное хозяйство. – 1975. – № 9. – С. 28-29.
271. Яржомбек, А.А. Скоростная выносливость рыб и ее математическое выражение / А.А. Яржомбек // Изучение поведения рыб в связи с совершенствованием орудия лова. – Москва: Наука, 1977. – С. 116-120.
272. Павлов, Д.С. Скорость и особенности движения рыб / Д.С. Павлов, Е.Н. Сабуренков // Основные особенности поведения и ориентации рыб. – Москва: Наука, 1974. – С. 155-187.
273. Радаков, Д.В. Скорости движения и некоторые особенности зрения рыб / Д.В. Радаков, В.Р. Протасов. – Москва: Наука, 1964. – 48 с.
274. Честной, В.Н. Максимальные скорости движения рыб / В.Н. Честной // Рыбное хозяйство. – 1961. – № 9. – С. 22-27.
275. Blaxter J.H.S. Swimming speeds of fish // FAO Fisheries Report. – 1969. – Vol. 62(2). – P. 69-100.
276. Коротков, В. К. Скорость и выносливость рыб при выходе из трала / В.К. Коротков // Вопросы ихтиологии. – 1970. – Т. 10, вып. 6 (65). – С. 1098-1103.
277. Белов, В.А. Буксируемые орудия лова / В.А. Белов, В.К. Коротков, С.Л. Шимьянский, В.К. Саврасов. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 200 с.
278. Поддубный, А.Г. Миграции рыб во внутренних водоемах / А.Г. Поддубный, Л.К. Малинин. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 224 с.
279. He P., Wardle C.S. Endurance at intermediate swimming speeds of atlantic mackerel, *Scomber scombrus*, herring, *Clupea harengus* and saithe, *Pollachius virens* // Journal of Fish Biology. – 1988. – Vol. 33. – P. 255-266.
280. Выскребенцев, В.А. Экспериментальное изучение бросковых скоростей движения рыб / В.А. Выскребенцев, Н.В. Савченко // Рыбное хозяйство. – 1970. – № 6. – С. 13-18.

281. Мельников, В.Н. Биотехнические основы промышленного рыболовства / В.Н. Мельников. – Москва: Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. – 216 с.
282. Цветков, В.И. Реакции рыб на изменение давления и некоторые особенности их гидростатики / В.И. Цветков // Основные особенности поведения и ориентации рыб. – Москва: Наука, 1974. – С. 155-187.
283. Радаков, Д.В. Наблюдение за реакцией черноморской хамсы и некоторых других рыб на искусственные раздражители / Д.В. Радаков, Н.Н. Данилевский // Труды ВНИРО. – 1958. – Т. 36. – С. 25-32.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

АКТ ВНЕДРЕНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Федеральное агентство по рыболовству
 Государственный научный центр Российской Федерации
 Тихоокеанский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
 «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
 РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ»
 Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»)



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора -

Руководитель Тихоокеанского филиала

А.А. Байталоков

«13» *Ноября* 2025 г.

АКТ

о внедрении результатов

кандидатской диссертационной работы

«Совершенствование методов оценки коэффициентов уловистости учетных тралов и запасов
 рыб с использованием гидроакустических средств»

в практику рыбохозяйственных исследований

Результаты научно-исследовательской работы Поляничко Владимира Ильича (научный руководитель: кандидат технических наук М.Ю. Кузнецов) включают разработку методов инструментальной оценки коэффициента уловистости тралов и реакции рыб на шумовое поле судна. Полученные с помощью этих методов дифференцированные по глубине значения коэффициента уловистости и характеристики реакции избегания шумового поля судна интегрированы в математическую модель поведения рыб и включены в алгоритм эхоинтеграционной оценки запасов минтая в Охотском море.

Значения коэффициента уловистости используются в программе для ЭВМ «Электронный атлас акустических изображений скоплений рыб Дальневосточных морей и их промысловой значимости» (Свидетельство о регистрации №2025666061. - Дата регистрации 23.06.2025. Авторы: Убарчук И.А., Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В., Шевцов В.И.). Атлас предназначен для визуализации и анализа характерных акустических изображений промысловых видов рыб Дальневосточных морей, позволяет, вводя параметры используемого трала производить оценку промысловой значимости скоплений. Применение программы создает дополнительные возможности повышения качества распознавания (идентификации) гидробионтов на эхограммах и повышения эффективности их тралового промысла с использованием гидроакустических средств наблюдений. Электронный Атлас активно используется при проведении ресурсных исследований ТИНРО в морских экспедициях.

Внедрение результатов научно-исследовательской работы Поляничко В.И. способствует повышению точности и достоверности оценки водных биоресурсов, выполняемой траловым и гидроакустическим методами, что имеет важное значение для их рационального использования и обеспечения управляемого промысла.

Заместитель руководителя
 Тихоокеанского филиала ГНЦ РФ
 ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»)

Мельников И.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

АКТ ВНЕДРЕНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО

«Дальрыбвтуз»

Т.А. Жук

Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный
университет

» декабря 2025 г.

(ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»)

г. Владивосток

АКТ

о внедрении результатов

кандидатской диссертационной работы

Поляничко Владимира Ильича

на тему

«Совершенствование методов оценки коэффициентов уловистости

учетных тралов и запасов рыб с использованием

гидроакустических средств»

в учебный процесс

Результаты научно-исследовательской работы Поляничко Владимира Ильича (научный руководитель: кандидат технических наук, заведующий лабораторией промысловой гидроакустики, технологий лова и технических средств аквакультуры Тихоокеанского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» Кузнецов М.Ю.) в виде результатов математического моделирования поведения рыб в шумовом поле судна и технологии гидроакустической оценки распределения и плотности рыб в различных зонах промысловой системы «судно–трал» внедрены в учебный процесс на кафедре промышленного рыболовства ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет» при подготовке бакалавров (направление 35.03.09 «Промышленное рыболовство») по дисциплине «Биофизические основы рыболовства». Материалы, в частности, вошли в учебное пособие «Биофизические основы рыболовства» (учеб. пособие / В. В. Баринов. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2025. – 148 с.) и изложены в разделе «3.4. Промысловые акустические поля»

Использование результатов научно-исследовательской работы Поляничко В.И. позволяет углубить получаемые студентами теоретические знания о поведении объекта промысла и дать практические навыки ведения тралового лова и использования гидроакустических средств.

Начальник учебно-методического
управления

Хмелева О.В.

Начальник Научного управления

Денисова Е.В.

Зав. кафедрой
«Промышленное рыболовство

Е.В. Осипов

Директора института
Рыболовства и Аквакультуры

И.В. Матросова

ПРИЛОЖЕНИЕ В

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018619345

**«Электронный атлас типовых акустических изображений
промысловых видов рыб Дальневосточных морей России»**

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Тихоокеанский научно-исследовательский
рыбохозяйственный центр» (ФГБНУ «ТИНРО-Центр») (RU)**

Авторы: **Убарчук Игорь Анатольевич (RU), Кузнецов Михаил
Юрьевич (RU), Шевцов Василий Игнатьевич (RU), Поляничко
Владимир Ильич (RU), Сыроваткин Евгений Владимирович (RU)**

Заявка № 2018614047

Дата поступления 24 апреля 2018 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 03 августа 2018 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025666061

**«Электронный атлас акустических изображений
скоплений рыб Дальневосточных морей и их
промысловой значимости»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Всероссийский научно-исследовательский
институт рыбного хозяйства и океанографии» (RU)*

Авторы: *Убарчук Игорь Анатольевич (RU), Кузнецов Михаил
Юрьевич (RU), Поляничко Владимир Ильич (RU), Сыроваткин
Евгений Владимирович (RU), Шевцов Василий Игнатьевич (RU)*

Заявка № 2025610109

Дата поступления 09 января 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 23 июня 2025 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов