

На правах рукописи

УДК 681.883.4:597-134:597-152,6

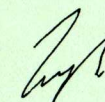
Гончаров Сергей Михайлович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО
МЕТОДА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЛИЧИНОК И МОЛОДИ РЫБ

Специальность 05.18.17

«Промышленное рыболовство»

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук



Москва - 2007

Работа выполнена во ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО)

Научный руководитель: доктор технических наук Кудрявцев Валерий Иванович
Официальные оппоненты: доктор технических наук Левашов Дмитрий Евгеньевич
 кандидат технических наук Ермольчев Вячеслав Александрович

Ведущая организация: ФГУП «Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (АтлантНИРО).

Защита диссертации состоится 5 февраля 2008 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д307.004.03 при Всероссийском научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии, 107140, г. Москва, ул. Верхняя Крайняя

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВНИРО

Автореферат разослан 28 декабря 2007 года

Ученый секретарь диссертационного совета
 кандидат технических наук

Б/Н-2

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изучение личиночной и мальковой стадии развития рыб является одним из основных элементов в комплексе научно-исследовательских работ по определению состояния запасов морских рыбных ресурсов с целью качественного и обоснованного процесса промышленного рыболовства. Знания о личиночной биомассе и ее распределении существенно повышают точность прогнозирования промыслового изъятия в районах промысла особенно для короткоцикловых видов рыб. На основании данных о смертности на личиночной и мальковой стадиях развития рыб можно прогнозировать урожайность годового поколения.

Для оценки биомассы молоди рыб с помощью гидроакустического метода (ГАМ) вполне приемлемы многие методические подходы, используемые для взрослых рыб, при наличии соответствующих орудий лова, позволяющих облавливать рыбную молодь в процессе выполнения контрольных тралений. Но широко используемый ГАМ был разработан для оценки биомассы взрослых рыб. Для оценки личиночной биомассы следует использовать несколько иные подходы, связанные с особенностью отражательных свойств личинок в процессе их развития и орудий лова.

Важнейшим элементом при вычислении личиночной биомассы по данным гидроакустических измерений являются знания об акустической силе цели личинок (TS), а именно о зависимости между TS личинки и ее длиной. Но таких данных для личинок в литературе представлено крайне мало и для пузырных видов рыб экспериментальные данные соответствуют периоду личинок с развитым плавательным пузырем. Именно вопросу изучения особенностей отражения ультразвука личинками рыб в процессе их роста с момента выклеывания посвящена существенная часть данной диссертации.

В диссертации исследованы различные подходы для оценки личиночной биомассы с помощью гидроакустических измерений и на основании



полученных данных по TS личинок предложен наиболее достоверный способ оценки.

Целью настоящей работы является совершенствование гидроакустического метода (ГАМ) количественной оценки биомассы молоди рыб и, особенно, в ее личиночной стадии для повышения точности прогноза возможного промыслового изъятия и предохранения личинок и молоди рыб от возможной гибели в результате промысла в местах их концентраций.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести проектирование и построить мезоэкосм для проведения детальных биологических измерений личинок рыб, а также гидроакустических измерений отражательных характеристик личинок на разных стадиях развития;
- провести экспериментальные работы в мезоэкосме по изучению особенностей отражения ультразвука личинками рыб в процессе их роста с момента выклеывания на примере личинок атлантической сельди *Clupea harengus*;
- рассчитать функциональных зависимостей силы цели (TS) личинок от их стандартной длины для различных ультразвуковых частот;
- сравнить экспериментальные результаты с теоретическими данными, рассчитанными на моделях;
- провести гидроакустические съемки личинок анчоуса, определить личиночную биомассу и ее пространственное распределение;
- провести анализ различных подходов количественной оценки личиночной биомассы для выбора наиболее достоверного метода вычислений;
- выбрать и описать методологию гидроакустической количественной оценки личинок рыб на примере данных гидроакустических съемок личинок анчоуса;
- разработать универсальный подход для оценки биомассы рыбной молоди.

Научная новизна работы. В диссертации впервые представлены результаты измерений отражательных свойств рыбных личинок атлантической сельди *Clupea harengus* в процессе их роста и на разных излучаемых

ультразвуковых частотах. На основании полученных результатов как модельных, на примере гидроакустических съемок личинок анчоуса, реализована и описана методика количественной оценки и распределения личиночной биомассы. В процессе экспериментальных исследований впервые:

- проведены измерения отраженных ультразвуковых сигналов от личинок атлантической сельди *Clupea harengus* для разных частотах излучения (120, 200 и 710 кГц) с момента выклеывания личинок в условиях максимально приближенных к естественным условиям их обитания;
- по данным измерений установлено, что в процессе взросления наблюдается резкое изменение TS личинок, что связано с появлением газовой системы;
- одновременно для трех частот излучения были получены усредненные значения TS на ранней стадии роста личинок, с момента их вылупления и до появления газовой системы и эмпирические уравнения TS личинок от стандартной длины с момента появления газовой системы и дальнейшего развития плавательного пузыря.

Практическая значимость. Результаты измерений TS личинок в мезоэкосме, методика сбора и обработки данных личиночной гидроакустической съемки и метод количественной оценки личиночной биомассы, представленный в диссертации, были использованы при проведении гидроакустических съемок личинок анчоуса (*Engraulis encrasicolus*) в 2004, 2005 и 2006 годах в Сицилийском канале. Полученные данные о биомассе личинок существенно дополнили общую картину биотопа района исследований. Кроме этого с высокой точностью были определены места наибольших концентраций личинок, что позволит в дальнейшем уберечь их от гибели в результате ограничения или запрета промысловых работ в этих подрайонах. Полученные данные о TS личинок, существенно повысили точность оценки их биомассы.

Разработана универсальная схема расчетов оценки биомассы молоди рыб. Результаты, представленные в диссертации, могут быть использованы российскими рыбохозяйственными институтами при выполнении гидроакустических съемок молоди и взрослых рыб и при выполнении комплексных съемок для

получения более детальной и точной информации по оценке и пространственному распределению личиночной биомассы.

Апробация работы. Материалы диссертации представлялись на: на 6-ом симпозиуме ИКЕС по промысловой гидроакустике (Монпелье, Франция) в 2002 г.; на 26-ой ежегодной конференции по личинкам рыб (Берген, Норвегия) в 2002; на 4-ой (Рим, Италия) и 5-ой (Лион, Франция) европейской конференции по подводной акустике в 1998 и 2000; на международной конференции по гидроакустическим измерениям (Крит, Греция) в 2005; на международном симпозиуме по промысловой акустике (Лаустофт, Англия) в 1989; на научном консультативном комитете при совместной рыбохозяйственной комиссии по средиземному морю в Танжере (Марокко) в 2003 г. и в Малаге (Испания) в 2004г; на IV конгрессе конкорсиума научно-исследовательских морских институтов (Палермо, Италия) в 2004.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 работы, в том числе на международных симпозиумах и конференциях и в отечественных и иностранных научных изданиях, наиболее значимые из них приведены в списке литературы автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, списка цитируемой литературы, выводов. Текст изложен на 164 страницах с 7 таблицами и 45 рисунками. В списке литературы 134 названий.

Личный вклад автора в представленную диссертационную работу состоит в:

- разработке и монтаже системы мезокозм совместно с норвежскими и итальянскими участниками работ;
- проведении гидроакустических экспериментальных работ в мезокозме на всех этапах исследований;
- выполнении анализа гидроакустических сигналов для всех трех частот, записанных от рыбных личинок в процессе экспериментов в мезокозме;
- в выборе математических моделей для сравнения экспериментальных и модельных данных о TS личинок;
- личном участии в научно-исследовательских рейсах в качестве руководителя

гидроакустических работ и обработки гидроакустических данных, собранных в процессе экспедиций.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- особенности отражения ультразвука личинками сельди *Clupea Harengus* в процессе их роста;
- оценка влияния возрастных физиологических изменений личинок рыб на энергию отражаемого ими ультразвукового сигнала;
- сравнительный анализ экспериментальных данных о TS личинок сельди с расчетными результатами на моделях (флюидных цилиндра и сферы);
- обоснование выбора наиболее достоверного метода оценки личиночной биомассы пелагических клупеидных рыб;
- методические особенности сбора и обработки данных для гидроакустической количественной оценки личиночной биомассы и ее распределения;
- методика расчета биомассы многовидовых скоплений молоди рыб.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность использования ГАМ для количественной оценки личинок и молоди рыб, сформулированы цели и задачи диссертации, оценена новизна работы, ее практическая и научная значимость, представлены данные о реализации и апробации работы, структуре и объеме диссертации, показано личное участие автора в решении задач диссертации, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации изложены теоретические основы ГАМ, основанного на принципах морской реверберации. Представлены и математически описаны два основных подхода гидроакустической количественной оценке: эхосчет, когда каждый отраженный сигнал от одиночного объекта может быть распознан как сигнал от отдельной цели и эхоинтегрирование, когда отдельные цели неразрешимы и могут быть распознаны только как групповые. Поскольку в природе редко встречаются ситуации, когда гидробионты в скопления распознаются как одиночные

объекты, чаще используется метод эхонитетирования. Именно этот метод был взят автором за основу, при разработке LAM для количественной оценки личинок и молоди рыб.

Методика количественной оценки морских биомасс, основанной на проведении гидроакустической съемки (ТАС), содержит большой набор процедур, которые, по характеру решаемых задач, могут быть разделены на четыре

основных этапа:

- планирование ТАС;
- калибровка аппаратуры;
- проведение ТАС;
- обработка гидроакустических данных, собранных в процессе ТАС, для количественной оценки биомассы и построение карты ее распределения.

Точность конечного результата определяется каждым из этапов и каждый

из них рассмотрен в этой главе. Инструментальные средства, используемые при проведении ТАС и на этапе обработки гидроакустических данных, также вносят существенный вклад в точность оценки биомасс. Особенно важны метрологические характеристики научно-исследовательского эхолота, как источника измерительных данных и к ним предъявляются определенные требования по дальности обнаружения и высокой разрешающей способности. В главе изложены параметры научного эхолота и его основные элементы, влияющие на его тактико-технические характеристики. Обработка гидроакустических данных происходит, как правило, по завершению ТАС с использованием специализированных компьютерных систем обработки, называемые еще прострессинговыми системами (далее ПТС). Здесь дан краткий обзор и описание современных ПТС.

Представлены основные математические модели, используемые при построении карт распределения плотности рыбных скоплений и оценки биомассы: **дeterminистическая**, основанная на описании данных некоторой математической функцией и не учитывающая их внутреннюю структуру;

геостатистическая, учитывающая пространственную корреляцию данных для улучшения пространственных оценок и интерполяции. Геостатистическая модель все шире используется в мире для решения такого рода задач и именно эта модель была использована автором при построении карт распределения личиночных биомасс в главе 3. Представлены алгоритмы оценки точности биомассы и пути ее совершенствования.

Для количественной гидроакустической оценки рыбных биомассы необходимы данные по силе цели (TS) исследуемых объектов. Показана важность этого параметра, являющегося основополагающим при проведении вычислений, и влияние среды обитания, морфологии рыб и частоты излучения эхолота на его величину. К настоящему времени в научной литературе широко представляются зависимости по TS взрослых рыб, но данных о TS личинок крайне мало и, как правило, они соответствуют лишь небольшому промежутку времени развития личинки. Знания об отражательных способностях личинок могут позволить оценить их биомассу и спрогнозировать возможные прирост численности рыб в будущем с учетом влияния физических и биологических процессов. Поэтому актуальность исследований их отражательных свойств очевидна и этому вопросу посвящена вторая глава данной диссертации.

Во второй главе представлены результаты и анализ данных экспериментальных работ в мезокоме по определению особенностей отражения ультра-звук личинками сельди *Clupea harengus* в процессе их роста. Следует отметить, что неопределенные измерения отражательных свойств отдельных личинок в морских условиях чрезвычайно сложны и качество результатов не всегда соответствует затраченным усилиям. Однако, такие измерения могут быть выполнены с высокой точностью в мезокоме. Суть системы мезокома заключается в том, что она моделирует в ограниченном пространстве водную экосистему и при этом надежно изолируется от проникновения внутрь каких либо морских организмов без вмешательства экспериментаторов. Конструкция мезокома не может быть универсальной и зависит от целей эксперимента и параметров измерительной аппаратуры. Для проведения работ по исследова-

нию отражательных свойств рыбных личинок в процессе их роста была разработана и изготовлена система мезокозм, схематично представленная на рис. 1.

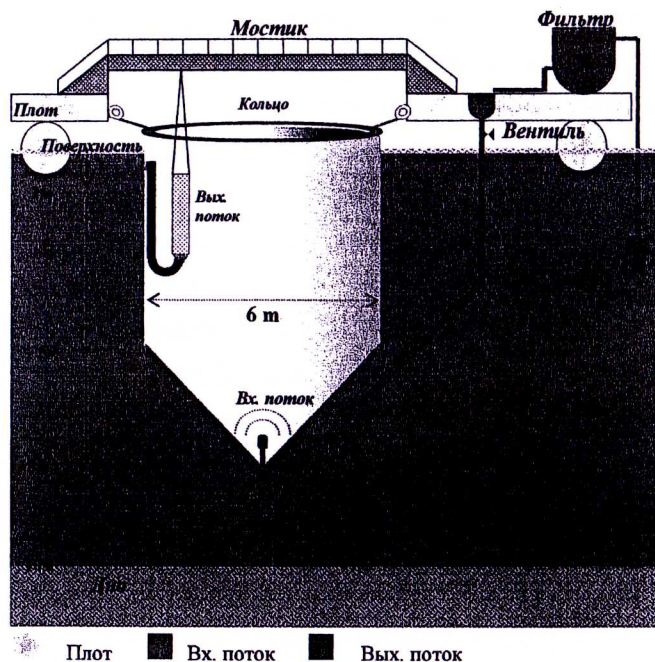


Рис. 1. Схема мезокозма и расположения его основных элементов.

В качестве модельного объекта исследований были выбраны личинки атлантической сельди, по следующим причинам. Данный вид является типичным представителем пелагических клупеонидных рыб с физиологической и морфологической точки зрения, имеет важное коммерческое значение и обладает высоким уровнем адаптации и выживания.

В главе подробно описана методика подготовительного этапа работ с момента вылова нерестовой сельди, оплодотворения икры, помещения икры в специальный инкубатор. После периода инкубации, выжившие икринки переместили в два мезокозма в разных количествах. Один мезокозм должен был

использоваться для проведения основных измерений TS и объемная плотность личинок в нем предполагалась существенно ниже, чем во втором. Второй мезокозм предназначался как резервный, на случай внезапной гибели личинок в первом мезокозме. Акустические, физические и биологические измерения выполнялись с регулярными временными интервалами с момента вылупления личинок и до появления и развития у них плавательного пузыря. В процессе всего периода работ осуществлялся контроль за параметрами воды (температура, кислород, соленость) в мезокозмах. Кормление личинок проводилось практически ежедневно живыми копеподами и их личинками. По проведенным автором оценкам, уровень отраженных гидроакустических сигналов от копепод (даже для самых крупных экземпляров) был ниже уровня эхосигналов от личинок, и с помощью установки соответствующих пороговых уровней, сигналы от копепод полностью исключались из обработки. Контроль за физиологическим состоянием личинок проводился регулярно методом их отлова и проведением морфометрического анализа в лаборатории.

Гидроакустические измерения выполнялись с использованием многочастотных научно-исследовательских эхолотов фирмы Kongsberg Simrad и одночастотного научного эхолота фирмы BioSonics: Simrad EK 500 (антенна 120 кГц с расщепленным лучом и однолучевая антенна 710 кГц); Simrad EK60 (частота излучения 200 кГц, расщепленный луч) и BioSonics DT 6000 с цифровой антенной 200 кГц и расщепленным лучом. Антенны эхолотов устанавливались в центре садка на глубине 30 см. Перед началом гидроакустических измерений была проведена полная сквозная градуировка эхолотов для каждой частоты излучения. Обработка записанных эхосигналов была выполнена с использованием ППС BI500, EchoView ver. 2.25 (SonarData Pty Ltd.) и специальная программа «Target Tracking software», разработанная в Бергенском институте морских исследований (IMR, Норвегия).

По результатам биологических измерений было получено обобщенное эмпирическое уравнение стандартной длины (SL) личинок в зависимости от возраста с момента выклеивания:

$$SL_{\text{мм}} = 0,34 \times D + 5,56 \quad (1)$$

где D – возраст личинок, дни

Поскольку гидроакустические измерения проводились практически ежедневно, а обловы личинок выполнялись реже, то для пересчета размера личинок на момент проведения гидроакустических измерений использовалось вышеприведенная зависимость.

Было установлено, что раннем этапе взросления отражательные свойства личинки определяются исключительно объемом и тканями тела и уровень отраженного ультразвукового сигнала от них, соизмерим с уровнем эхосигналов от макропланктоном. Одновременно с ростом личинок происходят и изменения их внутреннего строения. В частности появляются внутренние полости, заполненные газом, что существенно меняет отражательные свойства личинок и определяющим элементом в величине отраженной ультразвуковой энергии сигнала становится величина объема, заполненная газом. Эти газовые полости представляют собой слуховую систему личинки (bulla), зачаточный плавательный пузырь (из которого в последствии формируется полноценный плавательный пузырь) и кишечник, соединенные между собой тонкими каналами (Blaxter, 1982). Размер зачаточного плавательного пузыря еще крайне мал, поэтому его доля в величине отраженного сигнала соизмерима с другими элементами газовой системы (рис. 2. А). На данном этапе развития личинки именно газовая система является определяющей в величине отраженного сигнала. При ее появлении меняются ультразвуковые отражательные свойства личинки. Для личинок атлантической сельди формирование газовой системы происходит при достижении роста примерно в 22 мм (Blaxter, 1982). По мере взросления личинки происходит развитие полноценного плавательного пузыря, его объем становится значительно больше и доля других органов, заполненных газом, уже не играет столь существенной роли в отражении ультразвукового сигнала, доля плавательного пузыря становится определяющей (рис. 2.В).

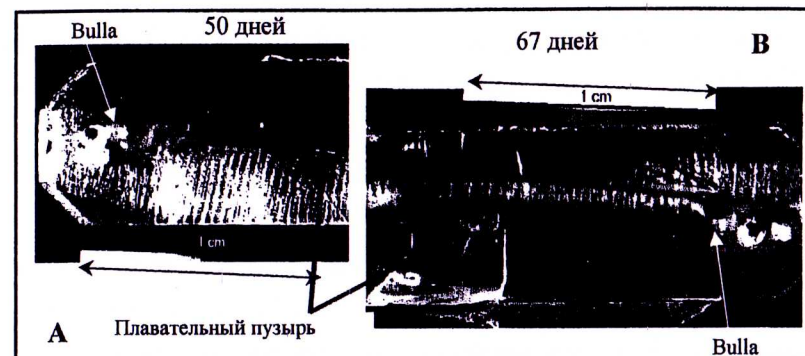


Рис. 2. Микрофотографии, полученные под микроскопом, двух личинок атлантической сельди на разных возрастных стадиях (А – 50 дней, В – 67 дней), сохраненных в гесторезине во время проведения экспериментальных работ.

На рис. 3 представлены результаты измерений силы цели личинок в зависимости от их возраста для трех ультразвуковых частот, где отчетливо видно, что в момент появления газовой системы происходит резкое изменение TS.

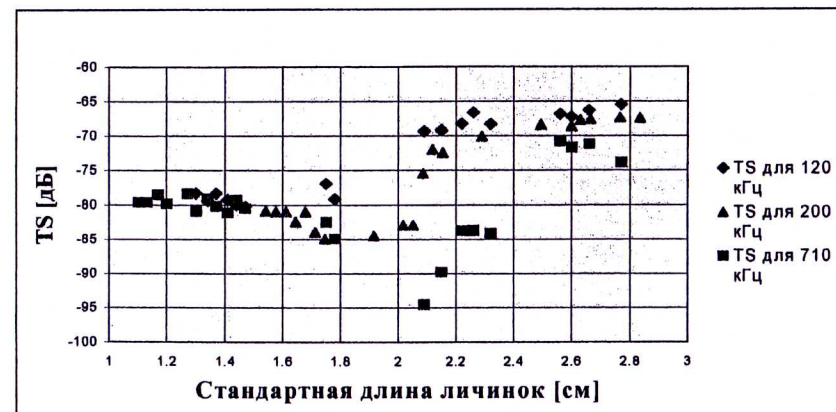


Рис. 3. Экспериментальные результаты измерений TS для трех частот на разных этапах развития личинок атлантической сельди (*Clupea harengus*).

Но в отличие от 120 кГц и 200 кГц, где величина TS скачкообразно возросла соответственно с -79,16 дБ до -69,41 дБ и с -83 дБ до -70,2 дБ, то есть почти на 10 дБ и 13 дБ (Goncharov *et al.*, 2002), для частоты 710 кГц, наоборот, наблюдается существенный спад с -84,98 дБ до -94,57 дБ и затем постоянный рост. Появление такого спада возможно объясняется интерференционными процессами акустических волн на границе газовой полости и тканью тела личинки, а именно эффектом суперпозиции падающей и отраженной волны, находящихся в противофазах.

На раннем этапе роста личинок до появления газовой системы, для всех трех частот характер изменения кривых TS примерно одинаков. Особенность изменения TS на этом этапе заключается в том, что нет отчетливо выраженной динамики роста или уменьшения TS личинок. По этой причине довольно сложно описать изменение TS каким либо математическим уравнением. Для 710 кГц величина TS изменялась в пределах от -84,98 дБ до -78,46 дБ, а среднее значение $TS_{cp} = -80,4$ дБ. Для 120 кГц диапазон изменений TS был в пределах от -80,3 дБ до -77,01, $TS_{cp} = -79,02$ дБ. Для 200 кГц TS личинок изменялось в границах от -85 дБ до -80,9 дБ при $TS_{cp} = -82,59$ дБ.

На более позднем этапе личиночного развития отражение ультразвука в первую очередь определялось газовой системой, а затем развившемся плавательным пузырем. Отчетливо просматривается динамика роста TS. Для этого этапа были рассчитаны уравнения TS в зависимости от стандартной длины личинок (SL, см):

$$TS=186 \times \text{Log SL} - 150,9 \quad (R^2=0,89) \quad \text{для } 710 \text{ кГц} \quad (2)$$

$$TS=20 \times \text{Log SL} - 75,12 \quad (R^2=0,71) \quad \text{для } 120 \text{ кГц} \quad (3)$$

$$TS=20 \times \text{Log SL} - 77,11 \quad (R^2=0,70) \quad \text{для } 200 \text{ кГц} \quad (4)$$

где R^2 – величина достоверности аппроксимации.

Для полного математического описания изменение отражательных свойств личинок на всем этапе их роста, были проанализированы данные, полученные в ходе экспериментов и данные, полученные на теоретических моделях более простых по структуре, чем тело личинки и в то же время с

понятным и однозначным описанием их отражательных свойств. При совпадении данных такая модель могла быть в дальнейшем использована для описания отражения ультразвука личинками рыб на самом начальном этапе их развития. В качестве таких моделей, были выбраны флюидные цилиндр и сфера, успешно используемые для описания отражательных свойств зоопланктона и криля (Dalen, 1987; Wibe *et al.*, 1990; Stanton, 1989; Foote, 1990; Greenlow, 1977). Для всех трех частот экспериментальные значения TS личинок оказались существенно выше значений TS флюидной сферы. Существенно лучшие результаты были получены при использовании цилиндра. Экспериментальные значения TS не столь существенно отличаются от модельных значений. Для частот 120 и 200 кГц это относится к данным, рассчитанным для вещества модели, близкого к тканям взрослых рыб. Но для вещества модели, соответствующей тканям личинок, отличия также очень высоки. Поэтому ни цилиндрическая, ни сферическая модели не могут быть использованы для описания отражения ультразвука личинками на этих частотах. Вероятно для этого требуются более сложные модели.

Для проведения количественных оценок личиночной биомассы для частот 120 и 200 кГц могут быть использованы средние значения их TS для раннего этапа развития (до появления газовой системы), а именно для 120 кГц $TS = -79,02$ дБ и для 200 кГц $TS = -82,59$ дБ., а для определения TS личинок с сформировавшейся газовой системой или плавательным пузырем уравнения 3 и 4.

Наилучший результат был получен для самой высокой из частот 710 кГц, с незначительным расхождением TS между экспериментальными и модельными значениями цилиндрической модели, с параметрами вещества, аналогичными параметрам ткани личинок и в расчетах личиночной биомассы эта модель может быть использована для определения TS личинки на ранней стадии развития.

В третьей главе рассмотрены различные подходы оценки личиночной рыбной биомассы и ее распределения, основанных на методе эхоинтегрирования гидроакустических сигналов. Если при выполнении ихтиопланктонной

съемки, когда при переходе от станции к станции отсутствует информация о распределении личинок между станциями, сопровождать непрерывными гидроакустическими наблюдениями с помощью научно-исследовательского эхолота, то картина распределения личинок будет более детальной, а ее биомасса более точной. Особенно это важно для районов с высокой неоднородностью распределения личинок, связанных с неоднородностью распределения параметров среды.

Поскольку в расчетах важнейшим элементом является достоверность результатов биологического анализа видового и количественного состава личинок в улове, особенную важность приобретает тип орудия лова, используемый при ихтиопланктонных съемках. Поэтому в главе приводится обзор различных орудий лова, используемых при выполнении ихтиопланктонных съемок. При проведении обловов и выборе слоя эхоинтегрирования важно знать вертикальное распределение личинок рыб. В главе приводятся литературные данные об особенностях вертикального распределения личинок разных видов рыб, в разных местах обитания и в разное время суток. Представленные данные наглядно показывают различие в распределении личинок разных видов и в разных местах обитания.

Результаты количественной оценки личиночной биомассы были получены по данным комплексных съемок, выполненных на борту итальянского НИС «Урания» в летние периоды 2002г. и 2003г. в районе мыса Пассеро Сицилийского канала Средиземного моря. Объектом исследований являлись личинки анчоуса (*Engraulis encrasicolus*). Приводится описание океанологических особенностей района работ. Учитывая высокую неоднородность распределения параметров среды в исследуемом районе, необходимо было получить детальную карту распределения личиночной биомассы и ее более точную количественную оценку, чем по данным ихтиопланктонной съемки. Гидроакустические работы были выполнены с использованием научного эхолота BioSonics DT 6000 с цифровой антенной 200 кГц (BioSonics Inc. USA).

Представлены результаты двух подходов оценки и распределения личиночной биомассы. **Первый метод** ранее был опробован для оценки распределения зоопланктона и изложен в ряде работ (Гончаров и Бондаренко, 1990; Takiguchi, 1988; Johnson and Griffiths, 1987; Goncharov and Bondarenko, 1990). Он основан на корреляционном анализе уловов и данных измерений эхосигналов (мильного коэффициента поверхностного рассеяния, s_A) в слое облова при выполнении ихтиопланктонных станций и не учитывает в явном виде особенности изменений TS личинок. После фильтрации эхосигналов от ихтиопланктона и с учетом результатов биологических анализов рассчитывались $s_{\text{Лич.}}$ личинок анчоуса и $s_{\text{Др. вид.}}$ личинок других видов. Эти значения сопоставлялись с данными биологических анализов, а именно со значениями объемных плотностей личинок анчоуса $\rho_{\text{анч.}}$ (г/м^3) и личинок других видов $\rho_{\text{др. вид.}}$ (г/м^3) и строились корреляционные функции. Полученные зависимости использовались далее для пересчета результатов интегрирования в значения объемных плотностей, после предварительной селекции эхосигналов ихтиопланктона на фоне рыбных эхосигналов. В результате были построены планшеты распределений концентраций личинок анчоуса и личинок других видов рыб, рассчитаны их биомассы в слое облова. Биомасса личинок анчоуса была оценена в 40,7 тонн.

В основе **второго метода** заложены знания о TS исследуемого объекта. Для определения $s_{\text{Лич.}}$ из общего значения s_A , включающего результаты интегрирования эхосигналов от ихтиопланктона (зоопланктон, личинки рыб), использовались весовые пропорции зоопланктона и личинок рыб в пробе, а для выделения $s_{\text{Лич.}}$ анчоуса из $s_{\text{Лич.}}$ всех личинок использовались количественные соотношения личинок анчоуса к общему количеству личинок в пробе. Расчеты значений поверхностных плотностей личинок анчоуса $\rho_{\text{анч.}}$ (тонн/миля^2) были выполнены по результатам глобальных усреднений всех пойманных личинок анчоуса во время ихтиопланктонной съемки 2002 года. На обследованной акватории средняя стандартная длина и вес одной личинки анчоуса составили: $SL_{\text{ср.}} = 0,515$ см и $w_{\text{ср.}} = 0,00103$ гр. Если TS личинки анчоуса определить по фор-

муле (4) для 200 кГц (правомерность использования формулы объясняется принадлежностью анчоуса и сельди к типичным представителям пелагических клупеоидных рыб), то личиночная биомасса составит 19,6 тонн. Для личинок анчоуса газовая система появляется при достижении длины в 9 мм (Blaxter and Hunter, 1982). По данным измерений, количество личинок со стандартной длиной равной или более 9 мм (с развитой газовой системой) было не более 6%. Поэтому в расчетах крайне важно использовать TS, характерную для личинок на ранней стадии развития и меньшую на 10 дБ. В этом случае биомасса возрастет примерно в четыре раза и составит 73 тонны.

Для ответа на вопрос какой из подходов дает наиболее достоверный результат были проведены вычисления возможной биомассы анчоуса поколения 2002 года через 12 месяцев с учетом фактора смертности личинок и полученные результаты сравнили с результатами гидроакустической съемки рыбных скоплений, выполненной в Сицилийском канале в июле 2003 года. Биомасса анчоуса, рассчитанная по данным личиночной биомассы 2002 года, полученной по данным о TS личинок была наиболее близка к данным ГАС съемки взрослых рыб (разница не превышала 10%). Результаты, полученные по данным личиночной биомассы, рассчитанной по корреляционным уравнениям оказались значительно ниже. Поэтому метод расчета личиночной биомассы по данным их TS был признан наиболее достоверным. Именно этот метод был использован для расчета биомассы личинок анчоуса по данным ГАС в 2003 году. При выполнении биологических анализов данных 2003 года по сравнению с 2002 годом, особое внимание было уделено вопросу измерения для каждой личинки анчоуса стандартной длины и веса, а также наличия или отсутствия газовой системы или плавательного пузыря. Эти данные позволили с высокой точностью рассчитать значения поверхностной плотности личинок анчоуса с газовой системой и без нее на каждом интервале интегрирования и определить их биомассу.

В четвертой главе описаны основные процедуры по обработке данных гидроакустической съемки (ГАС) с целью оценки рыбных биомасс молоди рыб,

которые могут быть использованы и для старших возрастных групп: выделение рыбных записей на фоне других звукорассеивающих слоев (ЗРС) таких как зоо- и фитопланктон, скопления медуз, креветок и т.д.; привязка результатов интегрирования к данным биологических анализов уловов контрольных тралений; вычисление поверхностной плотности рыбных скоплений на каждом интервале интегрирования; построение карт распределения и абсолютная количественная оценка рыбных биомасс. Выделение экосигналов от рыбных скоплений выполняется на эхограммах с помощью ППС, которые позволяют реализовать как ручные (визуальные) так и автоматические методы селекции. Наиболее точные результаты оценки биомасс могут быть получены при совместном использовании визуальной и автоматической селекции.

Рассмотрен двухчастотный метод выделения экосигналов, позволяющий с высокой степенью точности выделять экосигналы от рыбных скоплений и зоопланктона.

Представлены алгоритмы расчета рыбной биомассы на примере одновидовых скоплений равноразмерных рыб, представляющие упрощенный случай обработки. В подавляющем большинстве случаев рыбные экосигналы отражаются от различных видов рыб. Кроме этого рыбные скопления состоят из рыб разной длины. Если необходимо оценить биомассу определенного вида рыбы, то в расчетах необходимо учесть все видовое и размерное разнообразие в районе проведения ГАС. Для оценки видового и размерного состава используются результаты ихтиологических анализов контрольных тралений. Чем больше видовое и размерное разнообразие рыб, тем сложнее вычисления биомассы. ГАМ количественной оценки позволяет при достаточной статистике видового и размерного состава уловов контрольных тралений определить не только суммарную рыбную биомассу, но и оценить биомассу по видам, а также по размерным, а следовательно, и возрастным группам. Теоретически, максимальная детализация результатов гидроакустической съемки заключается в построении планшетов плотностей распределений для каждого вида и каждой размерной (возрастной) группы и определения их биомасс.

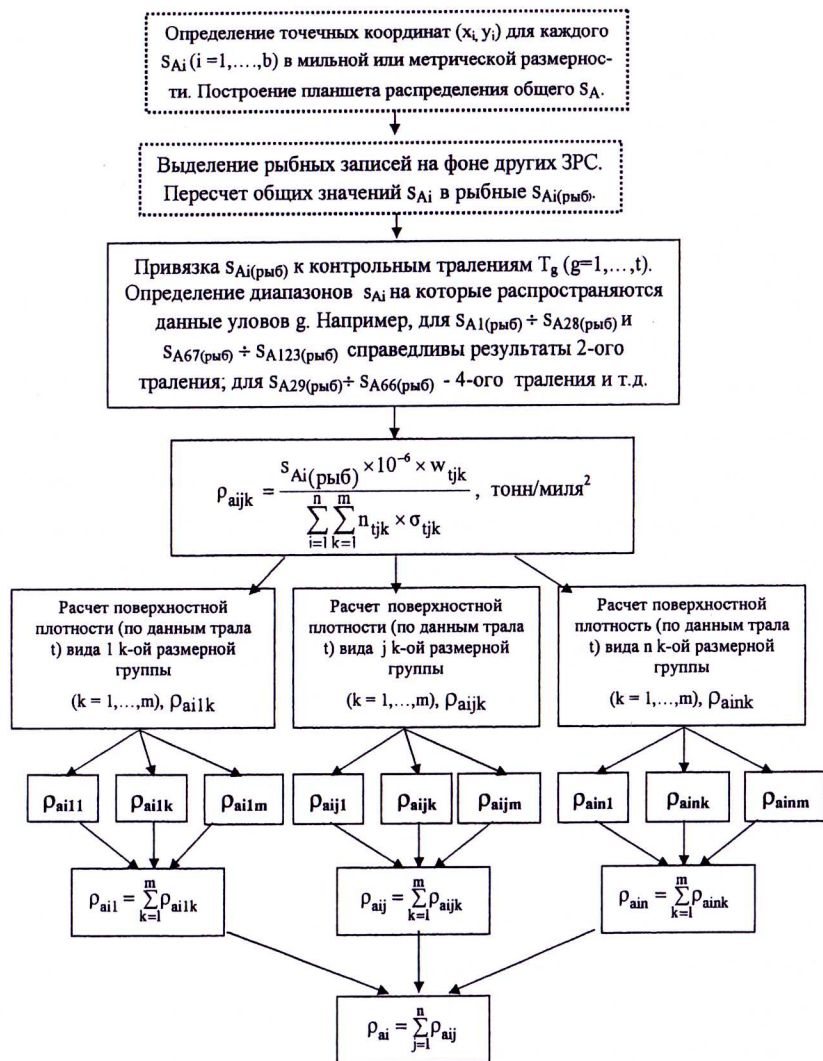


Рис. 4. Схема этапов расчета поверхностных плотностей многовидовых скоплений. В данной схеме i ($1 \dots b$) – порядковый номер отсчета эхоинтегрирования; j ($1 \dots n$) – вид рыбы; k ($1 \dots m$) – размерный класс рыбы; g ($1 \dots t$) – номер контрольного траления; w – вес рыбы, гр.; ρ_a – поверхностная плотность, тонн/миля²; σ – акустическое сечение обратного рассеяния рыбы, м².

Представлены алгоритмы обработки и схема этапов обработки многовидовых скоплений разновозрастных рыб (рис.4). Зная размерные диапазоны, характерные для молоди рыб, можно определить значения поверхностных плотностей, сложив соответствующие величины ρ_{aijk} (см. рис.4), построить планшеты распределения молоди и рассчитать ее биомассу.

ВЫВОДЫ

1. Впервые проведены детальные измерения TS личинок атлантической сельди *Clupea harengus* на различных возрастных стадиях в мезоэкосме и для разных ультразвуковых частот. Полученные результаты могут быть использованы при расчетах личиночных биомасс пузырных пелагических видов рыб.
2. Для проведения работ по исследованию отражения ультразвука личинками рыб в процессе их роста, разработанная и изготовленная система мезоэкосм является идеальной конструкцией, полностью моделирующей в ограниченном пространстве водную экосистему.
3. Установлено, что на раннем этапе роста личинок, с момента их вылупления и до появления газовой системы, для всех трех частот характер изменения TS личинок примерно одинаков: нет отчетливо выраженной динамики роста или уменьшения. Поэтому отражательные свойства личинок на этом этапе развития могут характеризоваться средними значениями силы цели: для 120 кГц $TS_{cp} = -79,02$ дБ; для 200 кГц $TS_{cp} = -82,59$ дБ и для 710 кГц $TS_{cp} = -80,4$ дБ.
4. В процессе измерений для всех используемых частот (120, 200 и 710 кГц) установлено резкое изменение TS личинок, что связано с появлением газовой системы. Для частот 120 кГц и 200 кГц скачкообразное увеличение TS личинок составило 10 -13 дБ. Для частоты 710 кГц наблюдалось резкое кратковременное уменьшение TS на 10 дБ и далее по мере роста личинок и развития газовой системы их TS постоянно увеличивалась.
5. Получены уравнения TS личинок в зависимости от их стандартной длины SL с момента появления газовой системы и дальнейшего развития плавательного пузыря.

6. Для обобщенного описания отражательных свойств личинок рыб проведен сравнительный анализ экспериментальных данных, полученных в мезокосме с расчетными результатами на моделях: флюидные цилиндр и сфера. Наилучший результат был получен для самой высокой из частот 710 кГц с параметрами вещества цилиндрической модели аналогичными параметрам ткани личинок. Для универсального описания отражения ультразвука личинками на более низких частотах необходимо использовать более сложные модели.

7. Проведенный анализ различных подходов для оценки личиночной биомассы показал, что наиболее достоверные результаты могут быть получены при использовании данных о TS личинок в отличие от корреляционного метода, основанного на расчетах эмпирических зависимостей между результатами контрольных обловов и эхоинтегрирования в слое облова.

8. Учитывая скачкообразный характер изменения TS личинок в процессе развития, необходимо в расчетах личиночной биомассы использовать как значения $TS_{ср}$, характерные как для ранней стадии личиночного развития, так и уравнения TS на стадии появления газовой системы и ее дальнейшего развития. Для этого необходимо определять количественные и весовые соотношения между личинками с газовой системой и без нее в каждом контрольном облове.

9. Впервые выполнены гидроакустические съемки личинок анчоуса в Сицилийском канале и при расчете личиночной биомассы и ее пространственного распределения использованы данные о TS на разных стадиях роста. Полученные результаты доказывают возможность использования такой методики в ресурсных исследованиях.

10. Представленный в диссертации алгоритм селекции гидроакустических сигналов от рыбных скоплений и расчетов поверхностной плотности многовидовых скоплений может быть использован как для молодежи, так и для взрослых рыб.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации:

1. **Гончаров, С.М.** Результаты использования гидролокатора одновременного кругового обзора. / С.М. Гончаров, В.И. Кудрявцев. // Рыбное хозяйство. – 1989. – № 12. – С. 63-65.
2. **Гончаров, С.М.** Гидроакустическая оценка биомассы и распределения планктона. Электрона карлсберга в южной полярной фронтальной зоне. / С.М. Гончаров, М.В. Бондаренко. // Сборник научных трудов. – М.: Изд-во ВНИРО. – 1990. – Том 1. – С. 147-154.
3. **Гончаров, С.М.** Оценка промысловой значимости скоплений быстроходных рыб. / С.М. Гончаров С.М., В.М. Бондаренко. // Рыбное хозяйство. – 1990. – № 7. – С. 68-70.
4. **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.
5. **Гончаров, С.М.** Географическая информационная система «Картмастер». / В.А. Бизиков, С.М. Гончаров, А.В. Поляков. // Рыбное хозяйство. – 2007. – № 1. – С. 96-99.
6. **Гончаров, С.М.** Вероятностные характеристики поля плотности по данным гидроакустических съемок. Вопросы промысловой гидроакустики. / В.Д. Теслер, С.М. Гончаров. Сборник научных трудов. М.: Изд-во ВНИРО. – 1989. – С. 68-76.
7. **Gontcharov, S.** Target Strength and swimming behaviour of herring larvae studied by the Split Beam Tracking Method. / S. Gontcharov, L. Calise, T. Knutsen, *et al.* // 6th ICES SYMPOSIUM “Acoustics in fisheries and aquatic ecology”. Montpellier, France. – 2002. – 10-14 June. – P. 386-396.
8. **Goncharov, S.** Acoustic evaluation of anchovy larvae distribution in relation to oceanography in the Cape Passero area (Strait of Sicily). /A. Bonanno, S. Goncharov, S. Mazzola, *et al.* // *Chem.Ecol.* – August 2006. – Vol. 22 (Supplement 1) – P. S265-S273.

9. **Goncharov, S.** Experimental evaluation of target strength for herring larvae (*Clupea harengus*) at early developmental stages. / A. Bonanno, S. Goncharov, T. Knutsen, *et al.* // Proceedings of the International Conference "Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results" Heraklion, Crete, Greece. – 2005. – 28th June – 1st.
10. **Goncharov, S.M.** The target strength dependence of some freshwater species on their length-weight characteristics. / E.S. Borisenko, A. G. Gusar, S.M. Goncharov. // Proceedings of the Institute of Acoustics. Lowestoft, UK. – 1989. Vol.11. Pt3. – P. 27-34.
11. **Gontcharov, S.** Feeding performance of herring (*Clupea harengus*) larvae in mesocosm as observed by scientific echo-sounder. / S. Mazzola, S. Gontcharov, L. Calise, *et al.* // 26th Annual Larval Fish Conference. Bergen, Norway. – 2002. – 22-26 July. – Abstracts. P. 40.
12. **Gontcharov, S.** Diurnal behaviour of herring (*Clupea harengus*) larvae in mesocosm as observed by scientific echo-sounder. / L. Calise, S. Mazzola, S. Gontcharov, *et al.* // 26th Annual Larval Fish Conference. Bergen, Norway. – 2002. – 22-26 July. – Abstracts. P. 39.
13. **Gontcharov, S.** Primi risultati di un esperimento di accrescimento larvale di aringhe (*Clupea harengus*) in due mesocosmi a differente densita. / E. Montella, S. Mazzola, S. Goncharov, *et al.* // 35 Congresso della Societa Italiana di Biologia Marina. Genova, Italia. – 2004. – 19-20 Luglio. – P. 55.
14. **Gontcharov, S.** Interannual fluctuations in acoustic biomass estimates and in landings of small pelagic fish populations in relation to hydrology in the Strait of Sicily. / B. Patti, A. Bonanno, S. Goncharov, *et al.* // *Chem.Ecol.* – 2004. – 20, P. 365–375.