

УДК 639.2.081.7

ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ РЫБ В СКОПЛЕНИЯХ

М. Д. ТРУСКАНОВ И М. Н. ЩЕРБИНО

С появлением новых технических средств исследований возникает возможность создания новых методов. Одним из таких средств являются гидроакустические рыбопоисковые приборы. В настоящее время во многих странах, ведущих океанический промысел, созданы совершенные гидролокационные приборы, обладающие высокой разрешающей способностью и позволяющие надежно обнаруживать рыбу на всех доступных промыслу глубинах.

Авторы, начиная с 1958 г., разрабатывали гидроакустический метод определения численности рыб в разреженных и плотных скоплениях.

С 1961 г. этот метод официально принят для определения состояния запаса атлантическо-скандинавских сельдей.

Гидроакустический метод определения численности является прямым методом подсчета количества рыбы в стаде, в значительной степени свободным от недостатков ранее известных методов прямого определения численности.

Существовавшие ранее методы определения численности обладают одним существенным недостатком: при оценке численности того или иного стада промысловых рыб используются данные лишь косвенно характеризующие количественный состав данного стада. При этом точность таких методов зависит от многих факторов, часто не поддающихся количественному учету.

Известно, что промысловые рыбы образуют различные по плотности скопления, причем диапазон плотности весьма широк. Он находится в пределах от одного экземпляра на 100 и 1000 м³ воды до нескольких десятков экземпляров рыб на 1 м³ воды.

Как правило, пелагические рыбы образуют более плотные скопления по сравнению с донными рыбами.

Замечено, что плотность скопления обратно пропорциональна размеру особей, составляющих это скопление. Известно так же, что плотность концентрации того или иного вида промысловых рыб зависит от сезона, так, например, перестовые концентрации почти всегда плотнее, чем нагульные. Если на нерестилищах или на зимовке рыбы образуют плотные локальные, резко очерченные концентрации, то в период нагула то же количество особей может довольно равномерно распределиться на значительной акватории.

В связи с этим все эхозаписи гидроакустических приборов могут

быть разделены на два вида: эхозаписи разреженных скоплений, по которым возможен подсчет числа рыб, находящихся в зоне действия эхолота (рис. 1); эхозаписи плотных скоплений, по которым визуальный подсчет числа рыб, находящихся в зоне действия прибора, невозможен, хотя эхо-сигналы и в этом случае содержат информацию о количестве рассеивателей, т. е. рыб (рис. 2).

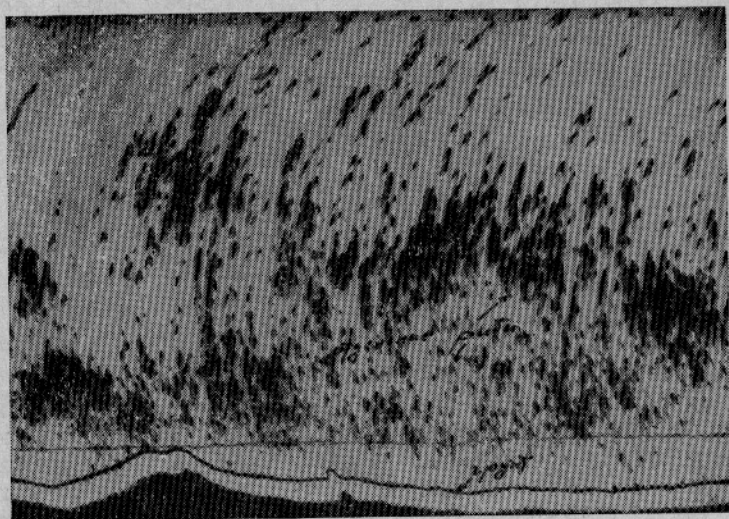


Рис. 1. Разреженное скопление рыбы.

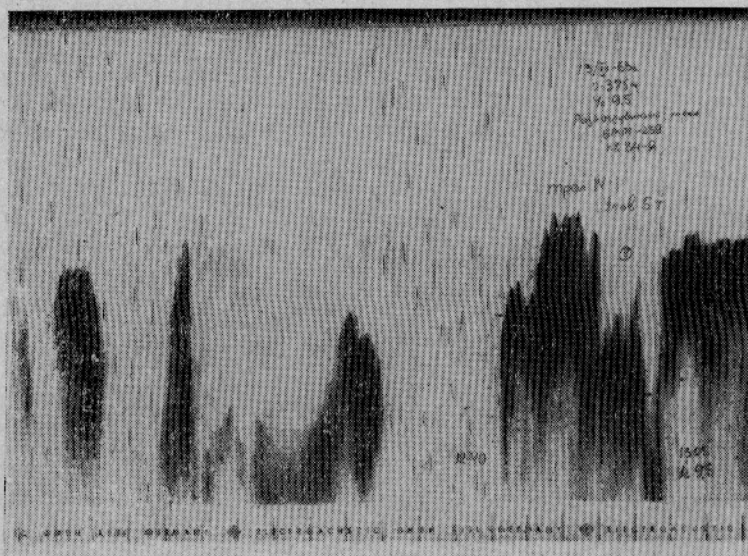


Рис. 2. Плотное скопление рыбы.

Решение вопроса определения численности рыб основывается на знании двух основных факторов: объема и плотности.

Методика определения объема и разреженных, и плотных скоплений аналогична, методика же определения плотности — различна.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА СКОПЛЕНИЯ

Многие виды промысловых рыб в некоторые периоды своей жизни собираются в определенных районах моря, где их скопления могут быть достаточно точно околонтурены с помощью гидроакустических приборов.

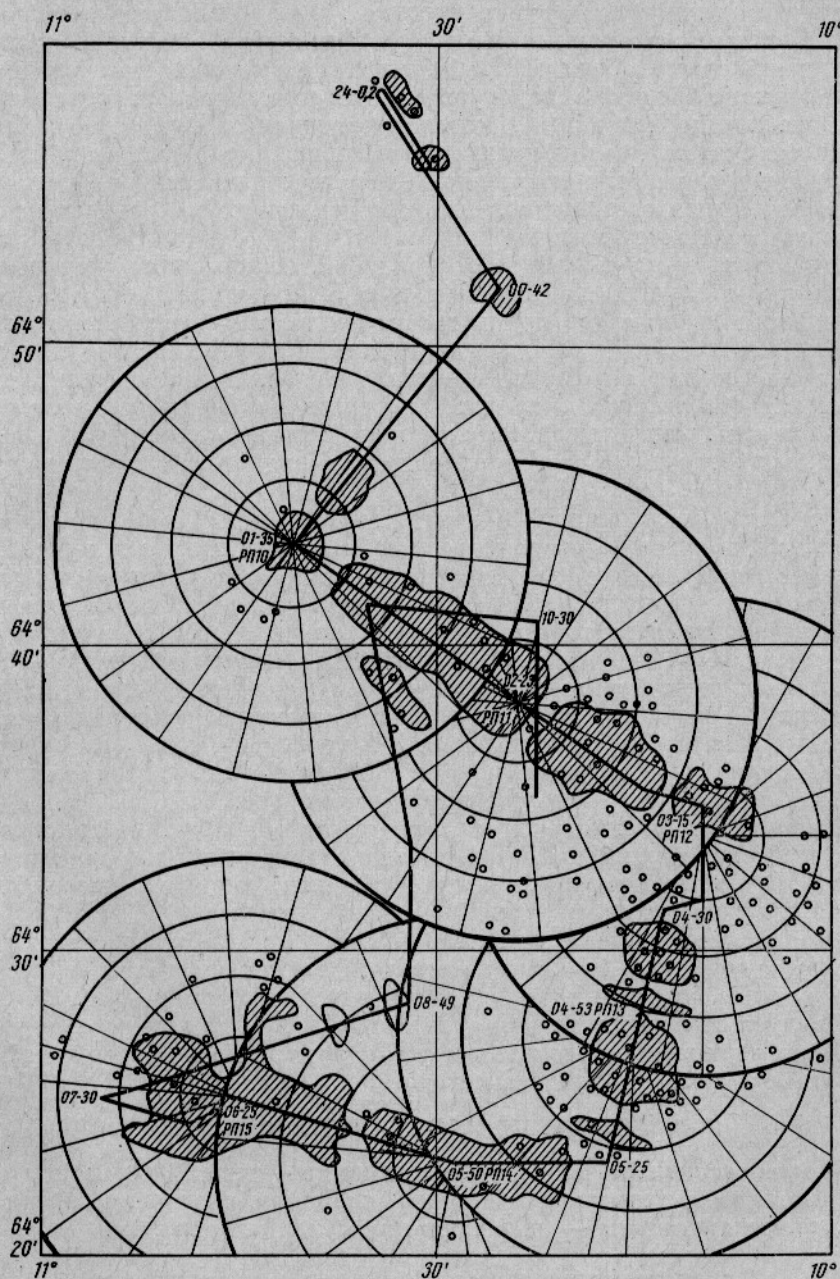


Рис. 3. Сводный планшет эхометрической съемки.

Определение объема производится путем непосредственной эхометрической съемки, время и район проведения которой в основном определяется биологией исследуемого объекта. При этом желательно выби-

рать такой период времени, когда вся или основная часть популяции сконцентрирована на наименьшей акватории (преднерестовые или нерестовые концентрации), либо такой период, когда стадо распределено на большой акватории, но с равномерной плотностью (нагульный период).

В каждом отдельном случае характер проведения эхометрической съемки определяют следующие факторы: биология объекта (характер скоплений, пути миграции, сезон и т. д.); величина акватории моря, которую необходимо обследовать; технические возможности рыбопоисковой гидроакустической аппаратуры (эхолотов и гидролокаторов).

В начале производится рекогносцировочная съемка (одним или несколькими судами), охватывающая акваторию моря, заведомо бóльшую, чем акватория, занятая скоплением, для выяснения точного местоположения отдельных частей скопления, его вертикального распределения и характера отдельных косяков.

При этом, в случае плотных скоплений, используется гидролокатор и эхолот, а в случае разреженных скоплений — только эхолоты. Одновременно одним из судов производится гидрологическая съемка района работ. После того как определены средние размеры косяков и частота их встречаемости (а в случае плотных скоплений дополнительно определяется и обеспеченная дальность пеленгования минимальных по размеру косяков), рассчитывается необходимое количество судов для проведения съемки, исходя из необходимого количества эхометрических галсов.

Основная съемка производится синхронно всеми судами, при этом на каждом из судов составляется подробный планшет, на который наносятся все встреченные косяки с их истинными размерами по горизонту.

При разреженных скоплениях площадь каждого косяка определяется с помощью системы галсов, покрывающих сеткой акваторию моря, занятую косяком, при этом каждый галс прерывается спустя 5—10 мин после окончания последних записей рыбы на эхолоте. В случае плотных скоплений площадь косяка определяется с помощью гидролокатора, дающего горизонтальную протяженность косяка по различным курсовым углам. В этом случае значительно сокращается число галсов, а следовательно, и количество участвующих в объеме судов.

Разработана специальная методика учета ошибок, которые возникают при определении размеров косяка с помощью гидролокатора и эхолота, и составлены специальные таблицы поправок, позволяющие быстро получить истинные размеры каждого косяка.

По площади и вертикальному размеру косяка подсчитывают его объем, а суммируя объем всех косяков, определяют объем скопления. Изготавливается сводный планшет эхометрической съемки (рис. 3).

Следует отметить, что при съемке предъявляются повышенные требования к точности судовождения, так как от этого в значительной степени зависит точность данного метода.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СКОПЛЕНИЯ

Второй основной параметр — плотность — определяется тем или иным методом в зависимости от того, на каком скоплении проводится эхометрическая съемка — на разреженном или на плотном.

Определение плотности в разреженном скоплении

Прежде чем начать эхометрическую съемку разреженного скопления, необходимо провести определение параметров гидроакустического прибора. Для этого судно на небольшой скорости проводит эхозапись скопления.

Как известно, одиночная рыба регистрируется на ленте эхолота в виде галочки. Это происходит из-за того, что каждый эхолот имеет направленность и ультразвуковые лучи при движении судна облучают объект с разных дистанций. Проанализировав запись одиночных рыб, можно построить зону действия, т. е. зону, аналогичную диаграмме направленности приемо-излучающей системы, но в отличие от нее показывающую, какая область пространства под килем судна контролируется эхолотом. Таким образом, можно определить тот объем воды под килем судна, в котором эхолот за каждую посылку регистрирует какое-то количество отдельных особей данного скопления.

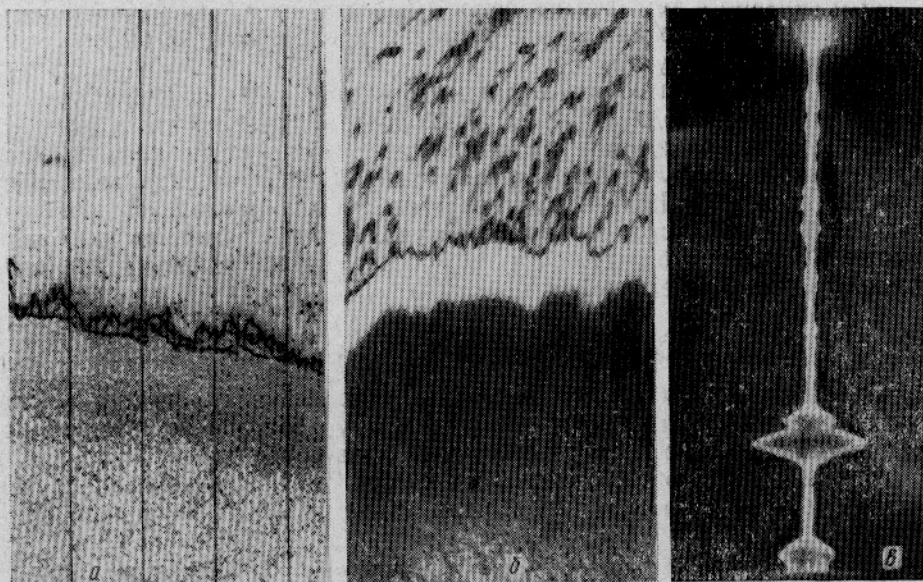


Рис. 4. Различные способы отделения рыбы от грунта:

а — с помощью дифференцирующей цепочки; б — с помощью «белой линии»; в — с помощью электронного отметчика.

Различные эхолоты имеют различные диаграммы направленности, а следовательно, различные зоны действия. Авторами разработан метод построения зоны действия любого эхолота по данным его диаграмм направленности и отражающей способности эхолотируемого объекта. Следует иметь в виду, что на всех судах, участвующих в съемке, должны быть предварительно определены зоны действия их эхолотов. Пользуясь заранее рассчитанными зонами действия эхолотов, которыми производят зондирование скопления, определяют поперечный размер зоны действия по верхней и нижней кромке интересующего нас скопления. Высоту слоя, в котором находится скопление, получают с эхограммы. Скорость судна в момент, когда произведена эпозапись рыбы, и время, в течение которого она отмечалась, известны. Следовательно, объем воды, прозондированной эхолотом, также известен.

По эхограмме подсчитывается количество рыб, зафиксированных эхолотом за это время. Получив эти данные, определяют плотность как отношение числа рыб к величине объема воды, в котором они находятся.

$$\rho = \frac{N}{V},$$

где ρ — плотность, шт/м³;
 N — число рыб, шт;
 V — объем, м³.

Иногда удобнее пользоваться обратной величиной — объемом воды, приходящимся на единичный объем в скоплении, т. е.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{V}{N}.$$

При съемке разреженных скоплений удобно пользоваться таким моментом, когда вся или основная часть скопления находится в толще воды, а не у грунта (отдельные моменты вертикальных миграций).

Это связано с тем, что неровности грунта могут в некоторой степени затемнить на эхограмме эхо-сигналы, приходящие от рыб, которые находятся вблизи грунта.

Если неровности грунта велики и большая часть особей разреженного скопления находится у дна, приходится применять некоторые специальные меры, такие как использование в эхолотах различных селекторов донных сигналов типа «белая линия», дифференциальная цепь, фишфильтр и т. д. Если эхометрическая съемка проводится в период, когда рыба держится в средних слоях воды, все экземпляры рыб записываются эхолотом без всяких помех и маскировки и могут быть определены на эхограмме (рис. 4).

Определение плотности рыб в плотных скоплениях

Авторами разработаны три метода определения плотности в плотных скоплениях. Эти методы дополняют друг друга и желательно при определении плотности скопления использовать все три.

Первый метод определения абсолютной плотности основан на совместном использовании для этой цели автоматической подводной фото-

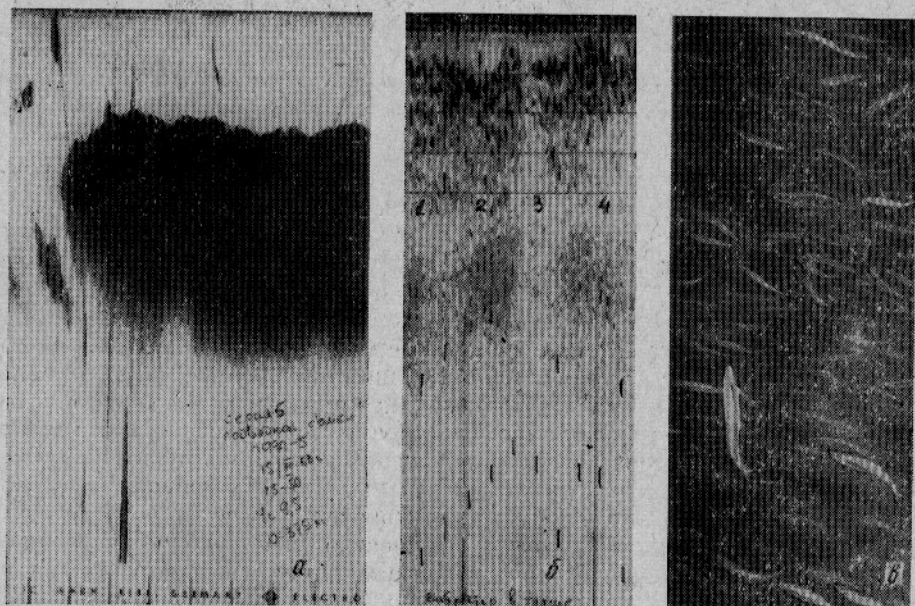


Рис. 5. Определение плотности скоплений рыбы:

а — запись косяка сельди бортовым эхолотом; б — запись того же скопления при акустической системе, помещенной в скопление; в — подводная фотография того же скопления.

камеры и эхолота. Подсчитав количество рыб в кадре и рассчитав предварительно объем воды, в котором регистрируются объекты, можно достаточно точно определить плотность (рис. 5).

Практически это осуществляется следующим образом: подводная фотокамера опускается в один и тот же горизонт, но в различные по плотности косяки, на которых с помощью эхолота и электронного осциллографа замеряется амплитуда приходящего сигнала.

По полученным данным определяют зависимость амплитуды эхосигнала на входе усилителя эхолота от плотности скопления.

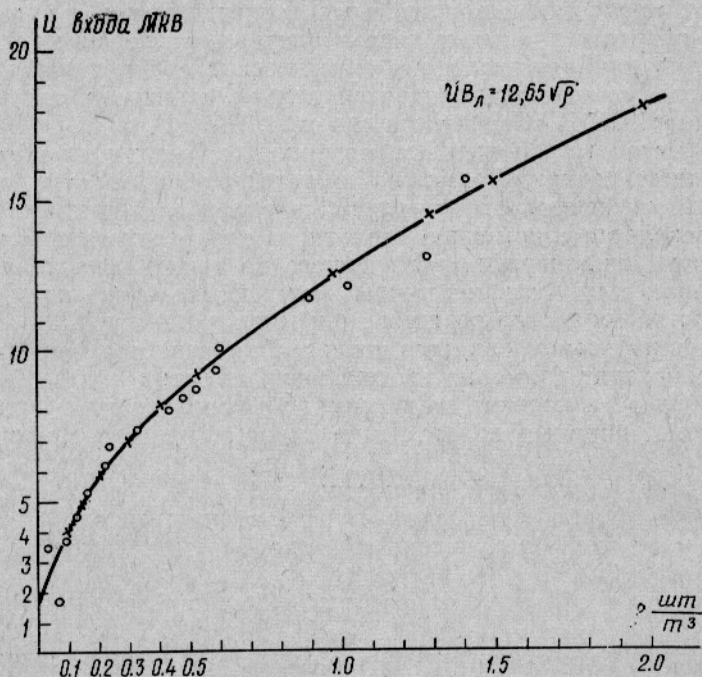


Рис. 6. График зависимости амплитуды приходящего на вход эхолота сигнала от плотности скопления. (Точками обозначены величины, полученные экспериментальным путем, крестиком — расчетом по формуле $U_{\text{вх}} = 12,65\sqrt{\rho}$).

Второй метод заключается в размещении приемо-излучающей системы бортового эхолота непосредственно в скоплении рыбы. Это значительно повышает разрешающую способность эхолота по углу благодаря наличию в зоне действия меньшего числа объектов (рыб), чем при работе с поверхностью.

Это позволяет применить здесь метод разреженных скоплений и определить плотность. Одновременно с выносным эхолотом работает и бортовой эхолот с электронным отметчиком. По их показаниям составляется зависимость амплитуды эхосигнала на входе усилителя от плотности скопления (рис. 6).

Третий метод заключается в определении плотности при помощи эхолота, предварительно откалиброванного по целям — эквивалентам, которые выбираются на основании данных экспериментальных работ, а также данных, полученных расчетным путем. При этом учитывается характеристика рассеивания, размеры отражающих поверхностей и коэффициент отражения рыбы. При определении плотности, особенно во

время первых эхометрических съемок, желательнее использовать данные, полученные при помощи всех трех методов. По этим данным рассчитывают зависимость величины приходящего сигнала от плотности скопления рыбы по формуле

$$I_{\text{вх}} = K\sqrt{\rho},$$

где $I_{\text{вх}}$ — амплитуда эхо-сигнала на входе эхолота, мкв;
 K — коэффициент;
 ρ — плотность, шт/м³.

Эмпирический коэффициент K определяется путем систематической обработки опытных данных и характеризует акустические и электрические свойства данного эхолота и акустические свойства рыбы.

Для атлантического-скандинавской сельди, например, при использовании эхолота ЭЛАК «Сениор» он равен 12,65.

Этими методами определяют плотность во время дрейфа судна в фиксированных точках. Возможно определение плотности во время съемки так называемой относительной плотности. Относительная плотность определяется с помощью эхолотного электронного отметчика или специального осциллографа, включенного на выход усилителя эхолота. Относительную плотность несложным пересчетом приводят к абсолютной плотности, при использовании зависимости между $I_{\text{вх}}$ и ρ .

Следующим этапом является точная обработка полученных данных, которая происходит примерно по следующей схеме:

строят разрезы косяков по вертикали и горизонтали с учетом навигационных и приборных поправок, на которые наносят значения плотности;

строят зоны одинаковой плотности;

дифференцированно подсчитывают объем каждой зоны;

определяют число рыб в каждой зоне, затем в косяке и, наконец, во всем скоплении;

контрольными обловами определяют размерный и возрастной состав скопления;

определяют количество рыбы в массовом (весовом) исчислении.

Таков в основном общий ход работ при определении численности скоплений в разреженных и плотных скоплениях с помощью гидроакустических приборов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методика определения численности разреженных скоплений была опробована в различных районах Баренцева моря. Съемки проводились на скоплениях, которые в результате вертикальных миграций находились в разреженном состоянии в толще воды. Контрольные траления донным тралом приносили штучные уловы. В результате 10 эхометрических съемок была определена численность отдельных локальных скоплений. Например, скопление на мурманском мелководье состояло из 200 000 экз. трески средних размеров, которая держалась в придонном слое с плотностью $0,32 \times 10^{-4}$ шт/м³. Скопление крупной трески на Финимаркенской банке состояло из 308 000 рыб, которые распределились в объеме скопления с плотностью $0,12 \times 10^{-4}$ шт/м³. Скопление трески на Рыбачей банке состояло из 102 000 экз. трески, которая держалась с плотностью $0,63 \times 10^{-4}$ шт/м³.

В 1962 г. была проведена эхометрическая съемка в восточном прибрежном районе. Скопление состояло из 73 000 экз. мелкой трески и пикши, средняя плотность при этом составляла $0,78 \times 10^{-4}$ шт/м³.

Наибольшие по объему работы были проведены во время эхометрических съемок зимующего скопления атлантическо-скандинавских сельдей в Норвежском море севернее Фарерских островов.

Эти работы проводились, начиная с 1958 г., в 1961, 1962 и 1963 гг. В съемках участвовало головное судно типа БМРТ и 7—10 контрольных судов типа СРТ.

Данные результатов съемок приведены в таблице.

Показатели	1958 г.	1961 г.	1962 г.	1963 г.
Средний вертикальный размер скопления, м	70	85	80	115
Общая площадь скопления, м ²	260 · 10 ⁶	142 · 10 ⁶	268 · 10 ⁶	221 · 10 ⁶
Общий объем скопления, м ³	18,5 · 10 ⁹	12,1 · 10 ⁹	21,4 · 10 ⁹	20,9 · 10 ⁹
Средняя плотность скопления, шт/м ³	1,0	0,75	0,68	0,77
Состояние запаса сельди, т	6,03 · 10 ⁶	2,50 · 10 ⁶	2,80 · 10 ⁶	3,00 · 10 ⁶

Прогнозы, основанием для которых послужили данные эхометрических съемок, полностью оправдались в части предсказания состояния стада и производительности промысла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует несколько подробнее остановиться на возможностях и перспективах данного метода. Если другие методы прямого определения численности, основанные на теории выборки, ограничены числом выборок (допустим, числом пробных тралений или обловов кошельковыми неводами и т. д.), то для гидроакустического метода число выборок составляет огромную величину (несколько десятков в 1 мин), поскольку каждая посылка эхолота является своеобразной выборкой. Если при определении плотности скопления с помощью пробного лова результат может зависеть от большого числа факторов — от выбора места лова, от конструкции и уловистости орудий лова и от некоторых других причин, то в данном случае создается возможность достаточно точно определить плотность и границы каждой концентрации на всем ее протяжении непрерывно. На основании проведенных работ можно считать, что при наличии достаточного количества судов и тщательного проведения эхометрической съемки можно определить численность того или иного скопления с точностью не ниже 10—15%.

Поскольку метод предполагает проведение синхронной съемки, то время, необходимое для осуществления ее, должно привести к неучтенным ошибкам. Практически съемка проводится в течение одних-двух суток.

Трудоемкость данного метода также невелика, если не принимать во внимание довольно сложный процесс обработки полученных данных. В настоящее время авторами разрабатываются методы автоматизации процесса сборки и обработки материала.

Как показал опыт проведения эхометрических съемок в условиях Баренцева и Норвежского морей, данный метод может быть с успехом использован при определении численности многих пелагических и донных рыб в различных рыбопромысловых бассейнах.