

# Опыт использования гидроакустического метода и аппаратуры количественной оценки водных биомасс во внутренних водоемах

639.2.081

Д-р техн. наук В.И. Кудрявцев – ВНИРО

Канд. техн. наук А.И. Дегтев – Петрозаводский государственный университет

Э.С. Борисенко, д-р биол. наук А.Д. Мочек – ИПЭЭ РАН

Гидроакустические приборы, такие, как рыбопоисковые эхолоты, гидролокаторы, траловые зонды, и др., получили широчайшее применение в рыбной промышленности во всем мире, во многом способствуя как интенсификации, так и рационализации рыболовства. Количественная оценка гидробионтов является самым важным направлением использования гидроакустики в рыбохозяйственных научных исследованиях. Рациональный промысел основывается на научно-обоснованных квотах вылова конкретных объектов, в мировой практике квотирование все чаще определяется по результатам оценки численности или биомассы гидроакустическим методом.

На внутренних водоемах России задача эффективного и достоверного знания количественных параметров состояния той или иной популяции промысловых гидробионтов становится еще более насущной, в связи с усиливающимся отрицательным антропогенным влиянием на окружающую среду и экономической неготовностью общества к принятию масштабных мер по сохранению и поддержанию водоемов в экологическом состоянии, обеспечивающем разумное воспроизводство биоресурсов.

Правительством РФ утверждена «Концепция развития рыбного хозяйства Российской Федерации (2003 – 2020 гг.)», призванная определить порядок использования биоресурсов российскими рыбаками и внести значительные улучшения в систему управления рыболовством и биоресурсами российских морей и внутренних водоемов. Одним из важнейших направлений и задач рыбохозяйственной науки признано следующее: «Существенное повышение качества оценки запасов и определения объемов ОДУ (общий допустимый улов), которое возможно лишь при использовании всей доступной информации и применении передовых технологий».

В 2000 – 2006 гг. на ряде разнотипных водоемов РФ проводились исследования по количественной оценке водных биомасс гидроакустическим методом с использованием программно-технических комплексов (систем) «АСКОР-2» (Дегтев А.И., Ивантер Д.Э. Автоматизированная система количественной оценки рыбных запасов гидроакустическим методом АСКОР-2. «Рыбное хозяйство», 2002, № 4) и «АСКОР». Настоящая статья посвящена анализу результатов выполненных оценок на примере работ, проведенных на оз. Байкал (объект – омуль) [Кудрявцев В.И., Дегтев А.И., Соколов А.В. Об особенностях количественной оценки запасов байкальского омуля гидроакустическим методом // «Рыбное хозяйство», 2005, № 3], Белом море (ламинариевые водоросли) [Тронина О.А., Дегтев А.И., Кудрявцев В.И., Воробьев А.В. Количественная оценка запасов макрофитов Белого моря гидроакустическим методом // «Рыбное хозяйство», 2004, № 3], р. Иртыш (рыбное население условной ямы) и оз. Сайма (Финляндия) – бореальном водоеме, основной объект в котором – типично пелагический вид – ряпушка.

Гидроакустические съемки по количественной оценке состояния запасов байкальского омуля проводились в 2000 – 2004 гг. с

использованием системы «АСКОР-2»; выполнялись траловые и сетные контрольные обловы. На рис. 1 представлена характерная эхограмма регистрации рыбных скоплений на Селенгинском мелководье оз. Байкал. В целом оз. Байкал и байкальский омуль представляются удобными объектами для проведения быстрых и эффективных количественных оценок запаса с помощью гидроакустического метода. Несмотря на то, что из-за ограниченности выделяемых ресурсов суммарная площадь акваторий, охваченных ежегодными съемками, не превышала 5 % площади акватории озера, гидроакустические съемки байкальского омуля стали обязательным рабочим инструментом для получения существенной ихтиологической информации при оценке состояния его запасов. Соотношение указанной подлежащей обследованию площади и величины относительной биомассы омуля на ней (~30 % биомассы омуля в Байкале) свидетельствует о достаточно высокой эффективности проведенных гидроакустических работ [подробная информация и выводы приведены в работе В.И. Кудрявцева, А.И. Дегтева и А.В. Соколова (2005)]. Остается ряд не до конца исследованных аспектов, решение которых должно способствовать повышению качества и достоверности результатов гидроакустических съемок байкальского омуля. К ним относятся:

- видовая идентификация разнохарактерных гидроакустических регистраций рассеивателей биологической природы;
- зависимость «размер – отражательная способность байкальского омуля»;
- тактика проведения акустических съемок байкальского омуля в различных акваториях озера;

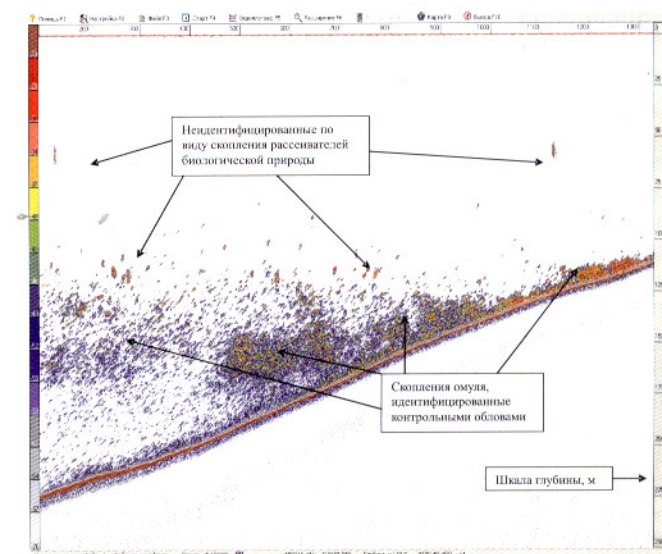


Рис. 1. Характерная эхограмма регистрации рыбных скоплений на Селенгинском мелководье оз. Байкал, июнь 2004 г.

интерпретация полученных с помощью гидроакустического метода на обследованной акватории значений численности и биомассы омуля для всей акватории оз. Байкал.

В 2002 – 2003 гг. были проведены опытно-экспериментальные работы по количественной оценке ламинариевых водорослей Белого моря с использованием комплекса «АСКОР-2»; отбор биологического материала производился с помощью аква-лангистов. Решались следующие задачи:

оценка особенностей гидроакустической регистрации водорослей;

определение возможности селекции эхо-сигнала от водорослей и донного эхо-сигнала;

оценка линейности зависимости интенсивности эхо-сигнала от водорослей и плотности их проективного покрытия как базовое условие гидроакустического метода количественной оценки водных биомасс;

анализ различий отражательной способности водорослей на разных рабочих частотах эхолота (50 и 200 кГц);

получение значений цены деления перехода от значений акустических характеристик обратного рассеяния к значениям биомассы водорослей;

разработка методики проведения эхо-съемок макрофитов.

На рис. 2 представлена характерная эхограмма регистрации зарослей ламинариевых водорослей на частоте 50 кГц (идентифицировано водолазным осмотром) на акватории Белого моря, в районе Соловецкого архипелага. В результате проведенных экспериментальных работ по количественной оценке макрофитов Белого моря гидроакустическим методом было установлено следующее:

показана применимость линейной модели зависимости между акустическими характеристиками обратного рассеяния и биомассой сублитеральных водорослей по уловам;

разработаны алгоритмы программной селекции эхо-сигнала от водорослей и донного эхо-сигнала;

получены регрессионные зависимости плотности проективного покрытия сублитеральных водорослей по уловам (в диапазоне от 1 до 10 кг/м<sup>2</sup>) от акустических характеристик обратного рассеяния для частот 50 и 200 кГц;

разработана методика проведения гидроакустических съемок макрофитов и интерпретации пространственно распределенных данных для оценки биомассы зарегистрированных зарослей.

Подробная информация и выводы приведены в работе О.А. Прониной с соавторами (2004).

В 2005 – 2006 гг., в летний, осенний и зимний периоды, на акватории Горнослинкинской русловой ямы р. Иртыш проводились работы по оценке численности и динамики пространственно-временного распределения рыбы с использованием измененного комплекса «АСКОР» в комплектации с эхолотом Furuno LS-

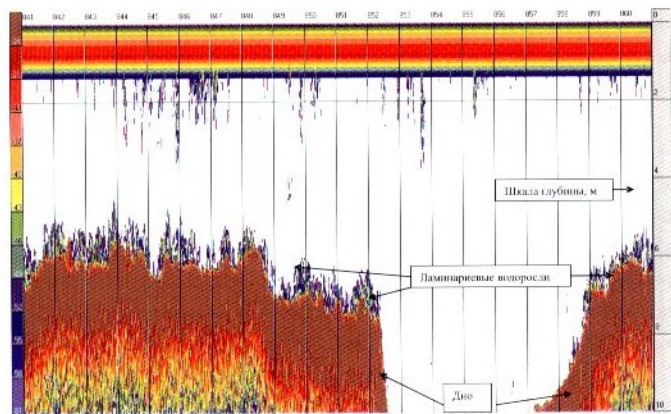


Рис. 2. Характерная эхограмма регистрации зарослей ламинариевых водорослей на частоте 50 кГц (идентифицировано водолазным осмотром) на акватории Белого моря, в районе Соловецкого архипелага, июль 2003 г.

6000 (рабочая частота – 200 кГц; электрическая мощность в импульсе – 300 Вт; длительность зондирующих импульсов – 0,1–0,2 мс; частота их следования – 4–6 Гц) и акустической антенной Furuno 520-5PWB,  $\Theta_{0,7} = 14,2^\circ$ . Контрольный отбор биологического материала производился с использованием сетей. Обследования акватории выполнялись по сетке галсов в различное время суток на протяжении нескольких дней. Съемки в зимний период были выполнены из лунок, сделанных во льду над предполагаемыми скоплениями рыб.

Целью работ было определение биологического значения русловых ям на водотоках Обь-Иртышского бассейна. На примере Горнослинкинской ямы решались следующие задачи:

определение размерно-видового состава рыб;

количественная оценка плотностей их скоплений, а также пространственного распределения;

определение временной динамики скоплений рыб по времени суток, дням наблюдений и сезонам года.

На основании проведенных работ показаны высокая сезонная и суточная динамичность и неравномерность распределения рыбных скоплений на обследованной акватории, причем, наиболее плотные скопления наблюдались на акватории ямы. Удалось наблюдать сезонное изменение размерного распределения рыб [подробная информация и выводы приведены в работе Д.С. Павлова, А.Д. Мочек, Э.С. Борисенко, А.И. Дегтева и др. «Биологическое значение Горнослинкинской ямы (р. Иртыш)» («Вопросы ихтиологии». В печати)].

На рис. 3 представлены трехмерное изображение батиметрии Горнослинкинской русловой ямы и распределение на ней рыбных скоплений.

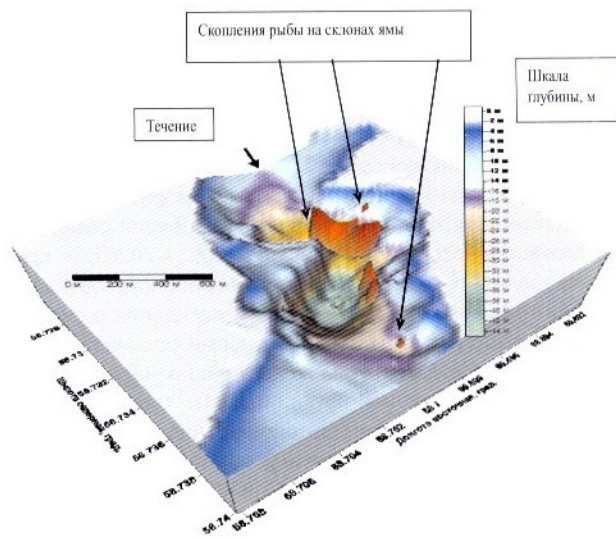


Рис. 3. Трехмерное изображение батиметрии Горнослинкинской русловой ямы и распределение на ней рыбных скоплений, июль 2005 г. (светлое время суток)

В сентябре 2002 г. по проекту «Сравнение и развитие методов учета пелагических рыб в больших северных озерах» на оз. Сайма специалистами из Финляндии, Швеции, Норвегии и России были проведены комплексные исследования по сравнению используемого гидроакустического оборудования и методик по следующим направлениям:

изучение распределения отражательной способности одиночных рыб;

определение поверхностной плотности рыбных скоплений;

количественная оценка рыб с использованием горизонтального обзора;

количественная оценка рыб в приповерхностном слое с использованием вертикальной локации в направлении снизу вверх;

использование гидроакустической техники для определения возможности избегания рыбой движущегося судна.

Таблица 1

Оборудование	EY500 Симрад (Норвегия)	EY500 Симрад	EY500 Симрад	EY500 Симрад	НТИ Hydroacoustic Technology (США)	АСКОР	АСКОР	EY-M Симрад
Параметры								
Рабочая частота, КГц	38	120	120	70	200	200	50	70
$\Theta_{0.7}$ , град.	12x12	7x7	2,5x10	11x11	4x10	14x14	46x46	11x11
Расщепленный луч	Да	Да	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет
Длительность импульса, мс	1.0	0.3	0.3	0.6	1.25	0.4	0.4	0.6
Частота следования посылок, Гц	2.5	2.5	2.5	3.3	5	4.5	4.5	3
Направление зондирования	Вертик.	Вертик.	Горизонт.	Вертик.	Горизонт.	Вертик.	Вертик.	Вертик.
Постпроцессорная обработка	EP500	EP500	EP500	EP500		АСКОР	АСКОР	HADAS

В табл. 1 приведен список использованного в работах оборудования, программных средств.

На рис. 4 представлена характерная эхограмма регистрации разреженного скопления ряпушки, сделанная во время траления на оз. Сайма системой «АСКОР-2» (рабочая частота эхолота – 200 кГц).

Сравнивались полученные на одних и тех же скоплениях восстановленные прямым и косвенным методами на различном оборудовании, работающем попарно, распределения силы цели одиночных рыб; количественным критерием статистически значимого совпадения полученных распределений служил критерий  $\chi^2$ .

В табл. 2 приведены результаты сравнения. (Ячейки зеленого цвета обозначают статистически значимое совпадение, красного цвета – несовпадение по парам сравниваемого оборудования. Числа в ячейках – фактические и табличные значения статистики  $\chi^2$ ).

Таблица 2

№ эксперимента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Сравниваемая пара											
EY500, 38 КГц	37,4	97,1	78,2		8,8	7,5	6,2	8,2				
EY500, 70 КГц	12	13,4	13,4		10,6	10,6	9,2	9,2				
EY500, 38 КГц				43,7								14,0
EY-M, 70 КГц				14,7								10,6
EY500, 38 КГц					6,3		7,7					
АСКОР, 200 КГц					10,6		10,6					
EY500, 70 КГц					9,9		11,0					10,4
АСКОР, 200 КГц					9,2		9,2					12,0
EY500, 120 КГц									11,3	16,2		7,8
EY500, 70 КГц									12,0	12,0		13,4
EY500, 120 КГц												3,3
АСКОР, 200 КГц												12,0

Сравнивались значения поверхностной плотности по данным акустических измерений во время тралений одних и тех же скоплений различным оборудованием между собой и с результатами тралового облова.

С помощью горизонтального обзора расщепленным лучом измерялась скорость свободного передвижения одиночных экземпляров ряпушки в приповерхностном слое. С помощью стационарно установленной антенны с расщепленным лучом с направлением зондирования от дна к поверхности получены данные о плотности и скорости свободного плавания ряпушки в приповерхностном слое.

При проведении экспериментов по оценке избегания рыбой движущегося судна получено более 400 гидроакустических регистраций следов движения рыбы аппаратурой с расщепленным

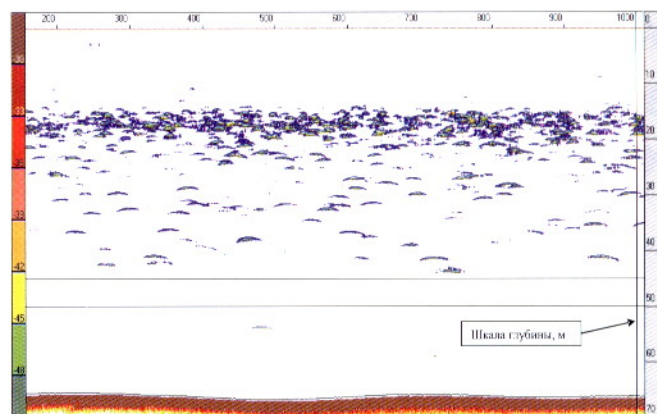


Рис. 4. Характерная эхограмма регистрации разреженного скопления ряпушки

лучом. Статистический анализ экспериментальных данных не позволил сделать значимый вывод о мере влияния движущегося судна на поведение ряпушки в условиях места и времени проведения эксперимента.

Краткие выводы по проведенным работам могут быть сформулированы следующим образом:

- результаты акустических измерений плотности рыбных скоплений и восстановления размерного распределения различными системами статистически значимо однородны;

- использование стационарных гидроакустических станций с направлением зондирования от дна к поверхности предпочтительнее, чем оборудование горизонтального обзора, в целях количественной оценки рыбы в приповерхностном слое;

- гидроакустические съемки, проводимые в темное время суток, дают лучший результат против светлого времени суток (применительно к объекту исследования). Следует избегать проведения съемок на рассвете и на закате.

Подробная информация и выводы по проведенным экспериментам приведены в работе: *Auvinen H., Bergstrand E., Degtev A., Enderlein O., Jurvelius J., Knudsen F., Peltonen H., Lilja J., Marjomaki T., Lindem T. Comparison and development of assessment methods for pelagic fish stocks in northern great lakes. Final report. Financed by the Nordic Council of Ministers. Project number 661045. Journal number 66010211301. January 10, 2003. Enonkoski, Finland.*

Изложенное выше свидетельствует о широких возможностях гидроакустических методов и средств при решении различных рыбохозяйственных задач во внутренних водоемах и, несомненно, заслуживает значительно большего внимания отечественных ихтиологов при оценке как состояния запасов, так и их временного и пространственного распределения.

Современное состояние радиоэлектроники, гидроакустики и компьютерных технологий позволяет достаточно легко решить проблему накопления и сохранения банков акустической информации о распределении и количественной оценке гидробионтов по районам с привязкой к географическим координатам. Это дает возможность объективной оценки их пространственной и количественной изменчивости по сезонам и сравнения с предшествующими данными.

Более широкое применение акустических методов позволит поднять рыбохозяйственные исследования на внутренних водоемах на новый качественный уровень.

Для объективной оценки состояния запасов гидробионтов во внутренних водоемах не обязательно применение дорогостоящих импортных специализированных гидроакустических исследовательских комплексов, вполне достаточно использовать системы накопления, обработки и анализа акустической информации, получаемой с серийных рыбопоисковых приборов.