

**Опыт количественной оценки запасов макрофитов  
Белого Моря гидроакустическим методом.**

Пронина О.А., СевПИНРО

Дегтев А.И., СевНИИРХ

Кудрявцев В.И., ВНИРО

Воробьев А.В., СевПИНРО

**Введение**

Морские водоросли наряду с другими гидробионтами являются не только ценными промысловыми объектами, но и играют существенную роль в пищевых взаимоотношениях организмов, а также играют роль экологического компонента при очистке водной среды от загрязняющих веществ. Отсюда понятен интерес исследователей к количественным оценкам этого объекта. До 80-х годов оценку запасов водорослей проводили в основном с использованием водолазного метода, который достаточно трудоемок и затратен (по времени и средствам), а также требует определенной подготовки аквалангистов для выполнения поставленных задач. Поэтому с середины 80-х годов начали активно изучать возможности применения гидроакустических приборов для выполнения количественной оценки запасов водорослей-макрофитов, в результате чего на северных морях был разработан комплексный метод, включающий начальную акустическую съемку зарослей, в основном сублиторальных видов, с последующим отбором биологического материала с помощью аквалангистов. В качестве пригодных приборов были рекомендованы рыбопоисковые эхолоты с регистрацией на бумаге “Шкипер-607”, “Шкипер-417” и некоторые другие, отвечающие определенным техническим требованиям. Однако с их помощью, в основном, обеспечивалась лишь качественная оценка водорослей.

В начале 90-х годов успешное развитие получило научное направление, связанное с использованием цельных программных комплексов для оценки рыбных ресурсов, увенчавшееся разработкой многочисленных программ и моделей. Закономерно встал вопрос о возможности применения аналогичных комплексов для оценки промысловых и просто массовых видов морских водорослей. После анализа существующего рынка наиболее отвечающим необходимым требованиям был признан разработанный в СевНИИРХе комплекс «АСКОР-2» (далее – система, комплекс) /1/.

Базовой идеей при создании системы было объединение серийно выпускаемых изделий (рыболовственных эхолотов, навигационных приемников системы GPS и электронно-вычислительных устройств) и специализированного программного обеспечения в единый комплекс, реализующий гидроакустический метод количественной оценки водных биомасс (далее – метод). Преимуществами этой системы являются: невысокая стоимость (серийные неспециализированные компоненты общего назначения и доработка уже существующей для рыбных объектов методики), работа в многозадачной ОС Microsoft Windows (одновременно с записью акустических данных возможны подключение навигационных приборов для точной привязки местоположения зарослей и работа других приложений), вывод информации в формате, требуемом для передачи в офисные приложения.

В 2002 – 2003 годах СевПИИРО и СевНИИРХ провели опытно-экспериментальные работы по адаптации комплекса для количественной оценки ламинариевых водорослей Белого моря, комплекс был подключен к рыболовственным эхолотам Furuno LS6000 50 кГц и Furuno LS6000 200 кГц. Эксперименты выполнялись на базе СевПИИРО на Соловецком архипелаге, объектом исследований являлись ламинариевые водоросли (ламинария сахаристая - *Laminaria saccharina* (L) Lamour и ламинария пальчаторассеченная - *Laminaria digitata* (Huds.) Lamour), общий характер произрастания которых может быть проиллюстрирован фотографией на рисунке 1.

Рис. 1. Ламинариевые водоросли Белого моря



Решались следующие задачи:

- оценка особенностей гидроакустической регистрации водорослей;
- оценка возможности селекции эхосигнала от водорослей и донного эхосигнала;
- оценка 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 камеральной программы обработки полученных в съемках данных;
- разработка методики проведения эхосъемок макрофитов.

### Методика

Модель проводимых исследований, основывающаяся на базовом положении гидроакустического метода оценки водных биомасс о линейной зависимости между энергией эхосигнала и плотностью рассеивателей [2,3], определялась как:

$$10Lg(\bar{\rho}) = \bar{SA} + 10Lg(C); \quad (1)$$

где:

$\bar{\rho}$  - средняя биомасса водорослей (кг/м<sup>2</sup>) в интервале усреднения;

$\bar{SA}$  - средняя сила поверхностного обратного рассеяния (дБ) в интервале усреднения;

$C$  - цена деления перехода от значений акустических характеристик обратного рассеяния к значениям биомассы водорослей (кг/м<sup>2</sup>).

Средняя сила поверхностного обратного рассеяния в интервале усреднения определялась как:

$$\bar{SA} = 10Lg(\bar{M}) - 10Lg(C_{EA}) - 10Lg(\Psi);$$

где:

$\bar{M}$  - среднее накопление интегратора в интервале усреднения;

$C_{EA}$  - электро-акустическая постоянная системы;

$\Psi$  - интегральный фактор направленности антенны.

Электро-акустическая постоянная системы определяется калибровкой системы по эталонной цели как:

$$10Lg(C_{EA}) = 20Lg(r) + 10Lg(M_{\max}) - TS_{\text{сферы}};$$

где:

$r$  – дистанция до сферы;

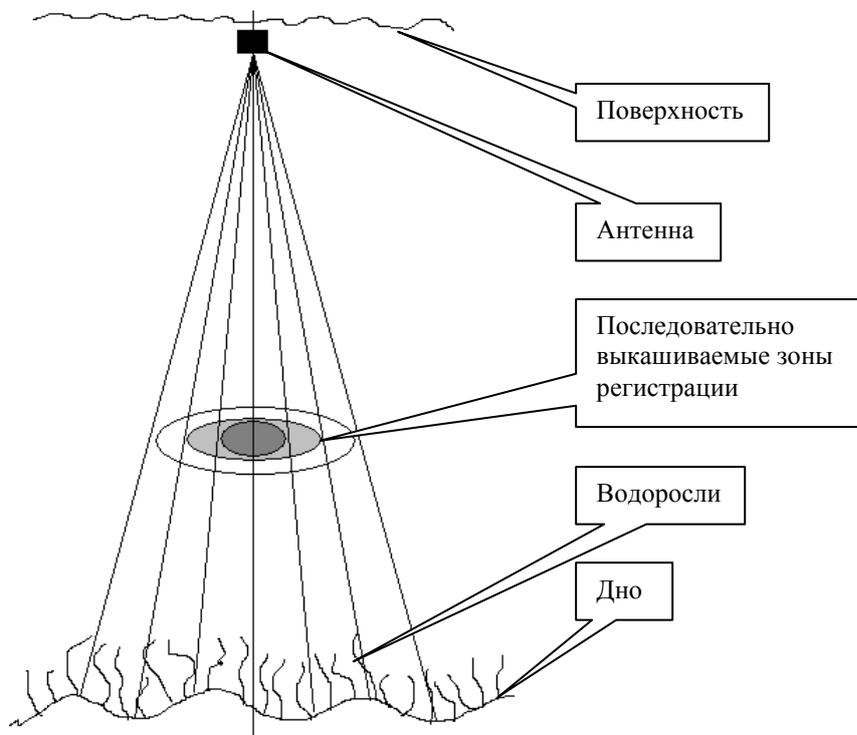
$M_{\max}$  - максимальное накопление интегратора за одну посылку;

$TS_{\text{сферы}}$  - сила цели эталонной сферы.

В системе АСКОР-2 предусмотрена программная коррекция потерь на распространение и затухание ультразвука в воде по закону  $20Lg(R) + 2\alpha R$  и  $40Lg(R) + 2\alpha R$  в соответствии с требованиями метода.

При анализе адекватности базового положения гидроакустического метода оценки водных биомасс о линейной зависимости между энергией эхосигнала и плотностью рассеивателей применительно к водорослям, а также получения значений цены деления перехода от значений акустических характеристик обратного рассеяния к значениям биомассы водорослей, использовалась схема эксперимента, представленная на рисунке 2. Катер с гидроакустическим комплексом устанавливается неподвижно над скоплением водорослей и измеряется сила поверхностного обратного рассеяния. Выкашиваются и взвешиваются водоросли, находящиеся в круге, ограниченном окружностью радиусом 1 м от точки на дне, расположенной вертикально под антенной. Вновь измеряется сила поверхностного обратного рассеяния от оставшихся водорослей. Вновь выкашиваются и взвешиваются водоросли в круге радиусом 2 м от центральной точки. Так, последовательно чередуя измерения силы поверхностного обратного рассеяния и выкашивание, добиваются полного прекращения регистрации эхосигнала от водорослей по эхограмме. По границе зоны предельного обнаружения определяются порог регистрации по силе поверхностного обратного рассеяния (SA) и предельный угол обнаружения. По серии значений SA, соответствующих значений биомассы водорослей и занимаемым зарослями площадям была оценена адекватность модели линейной зависимости между SA и биомассой водорослей, и определена цена деления перехода от значений силы поверхностного обратного рассеяния (SA) к биомассе. Эксперименты по описанной схеме проводились с использованием эхолотов с рабочей частотой 50 и 200 кГц.

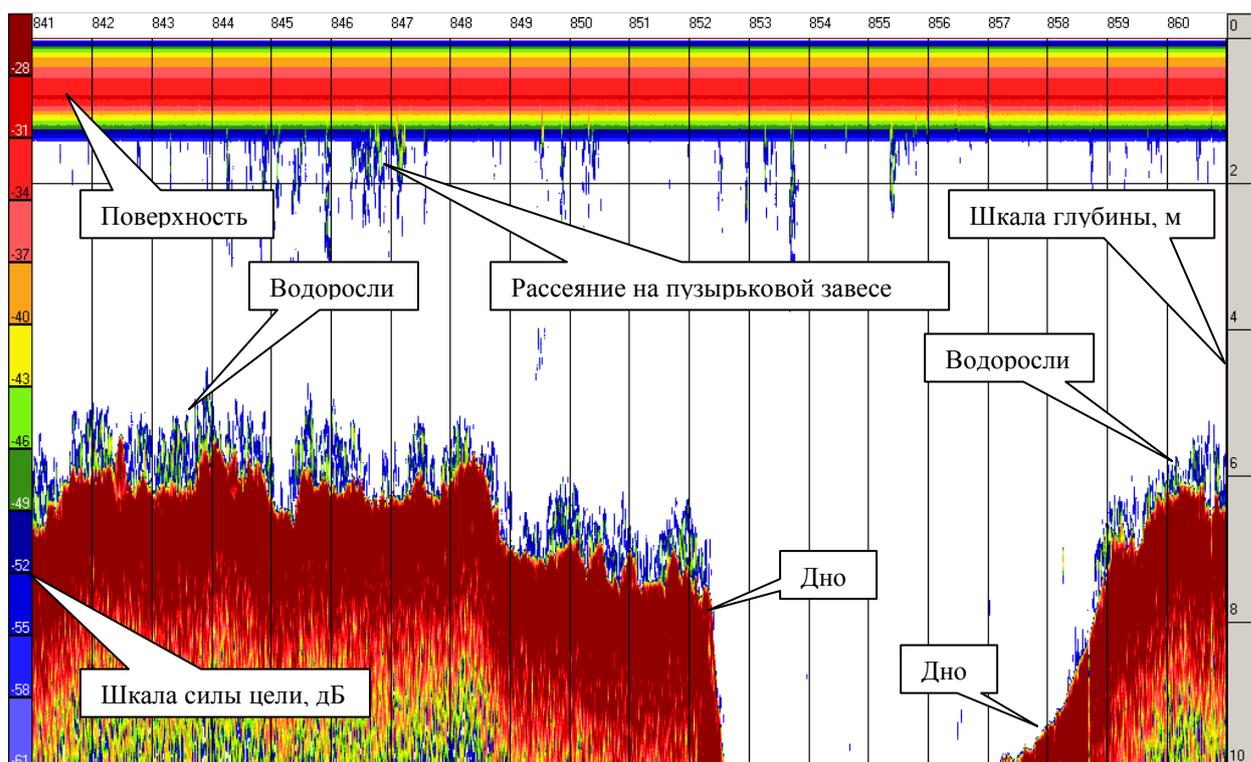
Рис. 2 Схема эксперимента



### Обсуждение полученных данных

Общий характер гидроакустической регистрации водорослей может быть проиллюстрирован эхограммой на рисунке 3, водоросли идентифицировались водолазным осмотром. Режимы работы эхолота при этом были следующие: диапазон глубин 0 – 10 м, частота следования посылок 4 Гц, длительность посылки 0.2 мс. Программное ВАРУ было установлено  $20Lg(R)$ .

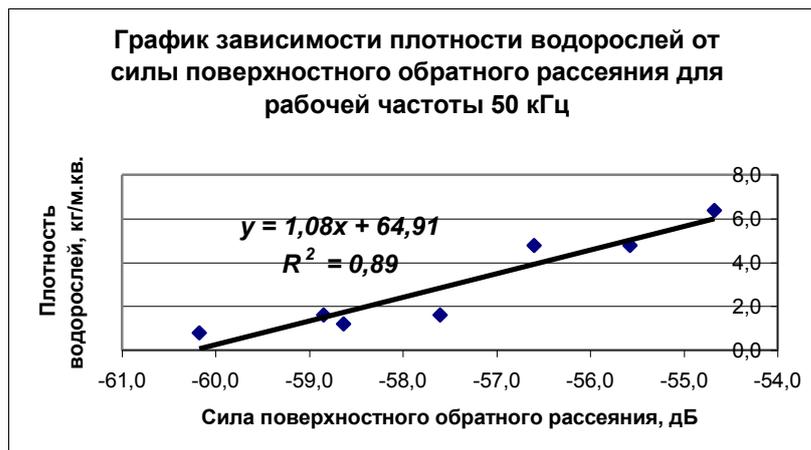
Рис. 3. Фрагмент гидроакустической регистрации макрофитов на частоте 50 кГц



Анализ полученных гидроакустических регистраций позволяет сделать вывод о достаточной различимости донного и полезного (от скоплений водорослей) эхосигналов известными алгоритмами поиска дна. Более того, при работе на малых глубинах, сильный донный сигнал практически всегда вводит в насыщение аналоговый усилитель эхолота и аналого-цифровой преобразователь устройства ввода данных в компьютер, что служит дополнительным, устойчивым критерием выделения эхо от дна. В программе камеральной обработки, при наличии особо сложных конфигураций донного рельефа, предусмотрена возможность «ручной» корректировки положения дна пользователем, основывающейся на человеческих способностях по распознаванию образов.

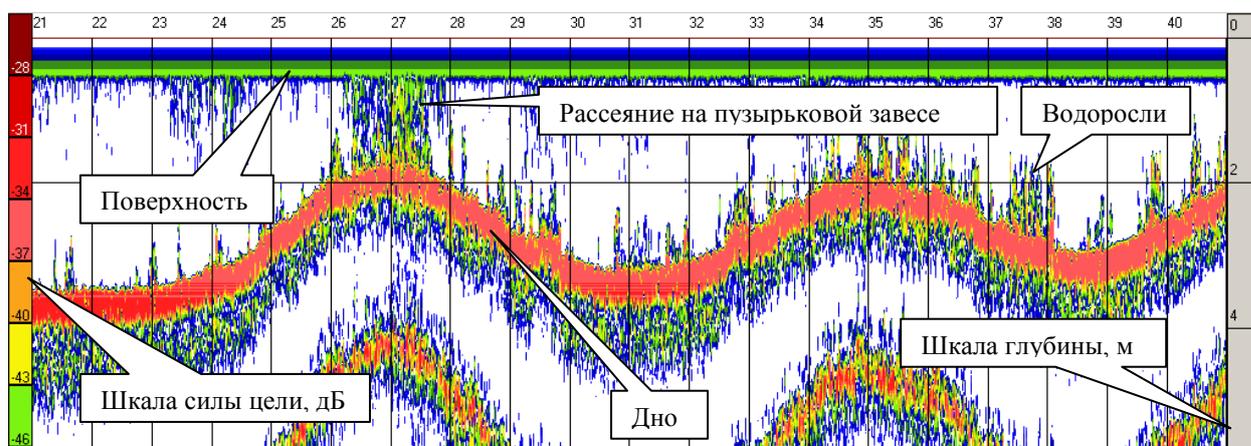
Для рабочей частоты эхолота 50 кГц была получена регрессионная зависимость линейного вида биомассы от силы поверхностного обратного рассеяния в соответствии с формулой 1 (рисунок 4). Следует отметить, что в экспериментах по определению цены деления для частоты 50 кГц изучаемые биомассы растений находились в пределах 1 - 7 кг/м<sup>2</sup>, скопления с более высокими биомассами пока не изучались, и поэтому необходима большая осторожность в экстраполяции полученной зависимости за пределы значений данных, использованных при построении регрессии. Необходимо проведение аналогичных экспериментов на более высоких концентрациях водорослей.

Рис. 4



В процессе проведения работ была отмечена значительная разница отражательной способности макрофитов на разных рабочих частотах 50 и 200 кГц. В связи с высокой отражательной способностью макрофитов на частоте 200 кГц зоны регистрации водорослей на частотах 50 и 200 кГц оказались практически одинаковыми, несмотря на значительную разницу в ширине диаграммы направленности применяемых антенн (46 и 14 градусов соответственно, на частотах 50 и 200 кГц - на уровне -3 дБ). Характер гидроакустической регистрации макрофитов на рабочей частоте эхолота 200 кГц может быть проиллюстрирован рисунком 5. Эхограмма получена при тех же режимах работы аппаратуры, как и на рис.2. При применении частоты 200кГц и узкой характеристики направленности антенны имеет место существенно более низкий уровень помех, меньшее влияние боковых лепестков антенны, меньшая мертвая зона, более надежная селекция дна и в то же время достаточно широкая зона регистрации водорослей.

Рис.5. Фрагмент гидроакустической регистрации макрофитов на частоте 200 кГц



Результаты проведенных опытно-экспериментальных работ могут быть сформулированы следующим образом:

- показана применимость линейной модели зависимости между акустическими характеристиками обратного рассеяния и биомассы сублиторальных водорослей по уловам;
- разработаны алгоритмы программной селекции эхосигнала от водорослей и донного эхосигнала;
- разработано специализированное для макрофитов программное обеспечение системы АСКОР-2, включающее в себя программы сбора информации на съемках в море, программу камеральной обработки данных эхосъемок и программу калибровки системы по эталонной цели. Программой камеральной обработки предусмотрена возможность вывода результатов в формате файлов MapInfo для дальнейшего картирования зарослей с соответствующей навигационной привязкой;
- пробные съемки по количественной оценке макрофитов гидроакустическим методом на экспериментальном полигоне дали результаты достаточно близкие к оценкам биомассы водорослей, полученных традиционной водолазной выборкой;
- показана предпочтительность применения эхолотов высокой частоты с узкой направленностью антенны для количественной оценки макрофитов вследствие значительно меньших помех, меньшего влияния боковых лепестков антенны, меньшей мертвой зоны, более надежного и простого определения положения дна и, в то же время, достаточно широкой зоны регистрации, что особенно важно при работе на малых глубинах.

### **Заключение**

Проведенные опытно-экспериментальные работы показали перспективность использования гидроакустического метода оценки водных биомасс в количественной оценке макрофитов - эхосъемка позволяет определять границы зарослей, их размеры, плотность покрытия дна (проективное покрытие) водорослями. Разрабатываемая методика позволит существенно ускорить процесс сбора и обработки получаемых в экспедициях материалов, позволит уменьшить применение водолазного труда, а также оперативно разрешать спорные вопросы, связанные с оценкой запаса и распределения водорослей.

К перспективным вопросам разработки методики количественной оценки запасов макрофитов с использованием гидроакустического метода можно отнести следующее:

- необходимо продолжить эксперименты по прямому измерению соотношения акустических характеристик обратного рассеяния и улова водорослей, для разных по плотности распределения категорий зарослей и зарослей с разнообразным

составом. Эти работы аналогичны исследованиям соотношения длина – сила цели или силы цели килограмма рыбных объектов в промысловой гидроакустике. Наряду с вышеизложенной схемой измерения указанных соотношений целесообразно применение также схемы обкашивания находящихся под катером водорослевых участков круглой формы разных диаметров в различных местах зоны произрастания; их лоцирования, последующего подъема водорослей с данных участков и взвешивания, что будет способствовать повышению достоверности получаемых данных;

- необходимо проведение теоретических и практических работ по выбору метода интерполяции локализованных значений плотности зарослей при построении планшетов распределений и расчета по ним площадей, занимаемых зарослями, и абсолютных значений биомассы водорослей;
- желательна доработка системы для одновременной или квазиодновременной (через посылку) двухчастотной гидроакустической регистрации водорослей, что должно значительно увеличить информативность, достоверность и удобство использования разрабатываемой методики;
- желательно использование в разрабатываемой методике современных средств подводного видео наблюдения.

В 2003 г комплекс начал использоваться для работ по оценке запасов ламинариевых водорослей в Белом море и, в целом, комплекс готов к работе по регистрации и накоплению данных о биомассе водорослей и расчету запасов. Экспериментальные работы в этом направлении будут продолжены.

### **Литература**

1. Дегтев А.И., Ивантер Д.Э. Автоматизированная система количественной оценки рыбных запасов гидроакустическим методом АСКОР-2. Рыбное хозяйство. 2002 год, № 4
2. Юданов К.И., Калихман И.Л., Теслер В.Д. Руководство по проведению гидроакустических съемок. – М. ВНИРО, 1984
3. MacLennan D. N., Simmonds E. J. Fisheries Acoustics. London, Chapman & Hall, 1991