

ВЫКАШИВАЮТСЯ И ВЗВЕШИВАЮТСЯ

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ МАКРОФИТОВ БЕЛОГО МОРЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

О.А. Пронина – СевПИНРО

А.И. Дегтев – СевНИИРХ

Д-р техн. наук В.И. Кудрявцев – ВНИРО

А.В. Воробьев – СевПИНРО

Морские водоросли – не только ценный промысловый объект, они играют существенную роль в пищевых взаимоотношениях организмов, а также являются экологическим компонентом при очистке водной среды от загрязняющих веществ.

До 80-х годов оценку запасов водорослей проводили в основном водолазным методом, который трудоемок и затратен (по времени и средствам), а также требует определенной подготовки аквалангистов. Поэтому с середины 80-х годов начали активно изучать возможности применения гидроакустических приборов, в результате чего на северных морях был разработан комплексный метод, включающий начальную акустическую съемку зарослей сублиторальных видов с последующим отбором биологического материала с помощью аквалангистов. В качестве приборов были рекомендованы рыбопоисковые эхолоты с регистрацией на бумаге «Шкипер-607», «Шкипер-417» и др., отвечающие определенным техническим требованиям. Однако с их помощью обеспечивалась лишь качественная оценка водорослей.

В начале 90-х годов получило развитие научное направление, связанное с использованием программных комплексов для оценки рыбных ресурсов. Закономерно встал вопрос о возможности применения аналогичных комплексов для оценки промысловых и массовых видов морских водорослей. Наиболее отвечающим всем требованиям был признан разработанный в СевНИИРХе комплекс АСКОР-2, далее – система, комплекс (Дегтев А.И., Ивантер Д.Э. Автоматизированная система количественной оценки рыбных запасов гидроакустическим методом АСКОР-2. «РХ», 2002, № 4). Базовой идеей при создании системы было объединение серийно выпускаемых рыбопоисковых эхолотов, навигационных приемников GPS и электронно-вычислительных устройств и специализированного программного обеспечения в единый комплекс, реализующий гидроакустический метод количественной оценки водных биомасс (далее – метод). Преимуществами системы являются невысокая стоимость (серийные неспециализированные компоненты общего назначения и доработка уже существующей для рыбных объектов методики), работа в многофункциональной ОС Microsoft Windows (одновременно с записью акустических данных возможны подключение навигационных приборов для точной привязки местоположения зарослей и работа других приложений), вывод



Ламинариевые водоросли Белого моря

информации в формате, необходимом для передачи в офисные приложения.

В 2002 – 2003 гг. СевПИНРО и СевНИИРХ провели опытно-экспериментальные работы по адаптации комплекса для количественной оценки ламинариевых водорослей Белого моря; комплекс был подключен к рыбопоисковым эхолотам Furuno LS6000 (50 кГц) и Furuno LS6000 (200 кГц). Эксперименты выполнялись на базе СевПИНРО на Соловецком архипелаге, объектом исследований являлись ламинария сахаристая (*Laminaria saccharina* (L.) Lamour) и ламинария пальчаторассеченная (*Laminaria digitata* (Huds.) Lamour) – на фото.

Решались задачи определения особенностей гидроакустической регистрации водорослей, возможности селекции эхосигнала от водорослей и донного эхосигнала, различий отражательной способности водорослей на разных рабочих частотах эхолота (50 и 200 кГц); получения значения цены деления перехода от значений акустических характеристик обратного рассеяния к значениям биомассы водорослей; разработки камеральной программы обработки полученных в процессе съемок данных и методики проведения эхосъемок макрофитов.

Модель проводимых исследований, основывающаяся на базовом положении гидроакустического метода оценки водных биомасс о линейной зависимости между энергией эхосигнала и плотностью рассеивателей (Юданов К.И., Калихман И.Л., Теслер В.Д. Руководство по проведению гидроакустических съемок. М: ВНИРО, 1984; MacLennan D.N., Simmonds E.J. Fisheries Acoustics. London, Chapman & Hall, 1991), определялась как:

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

где: $\bar{\rho}$ – средняя биомасса водорослей ($\text{кг}/\text{м}^2$) в интервале усреднения;

Последовательно чередуя измерение силы поверхностного обратного рассеяния и выкашивание, добиваются полного прекращения регистрации эхосигнала от водорослей по эхограмме.

SA – средняя сила поверхностного обратного рассеяния (дБ) в интервале усреднения;

C – цена деления перехода от значений акустических характеристик обратного рассеяния к значениям биомассы водорослей ($\text{кг}/\text{м}^2$).

Средняя сила поверхностного обратного рассеяния в интервале усреднения определялась как:

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

где: \bar{M} – среднее накопление интегратора в интервале усреднения;

C_{EA} – электроакустическая постоянная системы;

Ψ – интегральный фактор направленности антенны.

Электроакустическая постоянная системы определяется калибровкой системы по эталонной цели как:

$$10 \lg(C_{EA}) = 20 \lg(r) + 10 \lg(M_{max}) - TS_{sphere};$$

где: r – дистанция до сферы;

M_{max} – максимальное накопление интегратора за одну посылку;

TS_{sphere} – сила цели эталонной сферы.

В системе АСКОР-2 предусмотрена программная коррекция потерь на распространение и затухание ультразвука в воде по закону $20 \lg(R) + 2\alpha R$ и $40 \lg(R) + 2\alpha R$ 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 рис. 1. 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 измерение 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 значениям 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.

Общий характер гидроакустической регистрации водорослей может быть проиллюстрирован эхограммой (рис. 2), 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).

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 эха от dna. В программе камеральной обработки, при наличии донного рельефа особо сложных конфигураций, предусмотрена возможность «ручной» корректировки положения dna 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 (рис. 3). Следует отметить, что в экспериментах по определению цены деления для частоты 50 кГц изучаемые биомассы растений находились в пределах 1–7 $\text{кг}/\text{м}^2$, скопления с более высокими биомассами не изучались, и поэтому необходима

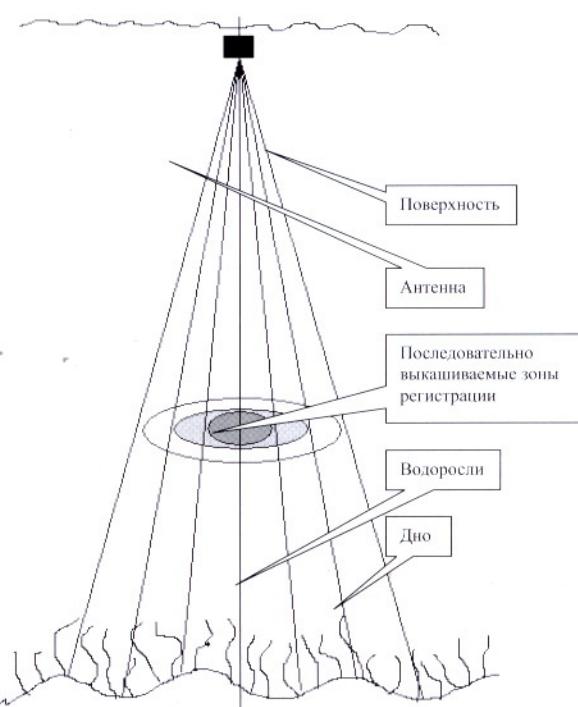


Рис. 1. Схема эксперимента

Пробные съемки по количественной оценке макрофитов гидроакустическим методом на экспериментальном полигоне дали результаты, достаточно близкие к оценкам биомассы водорослей, полученным традиционной водолазной выборкой.

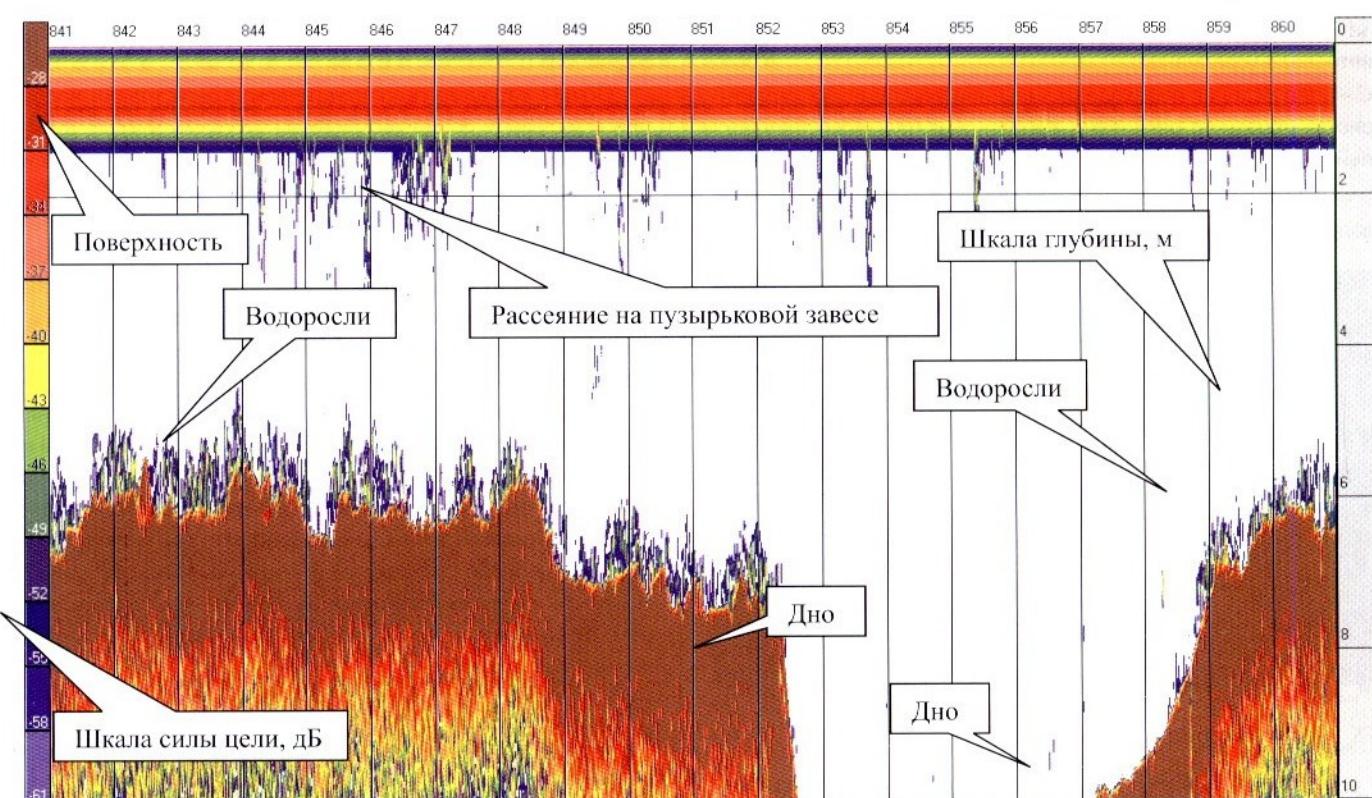


Рис. 2. Фрагмент гидроакустической регистрации макрофитов на частоте 50 кГц

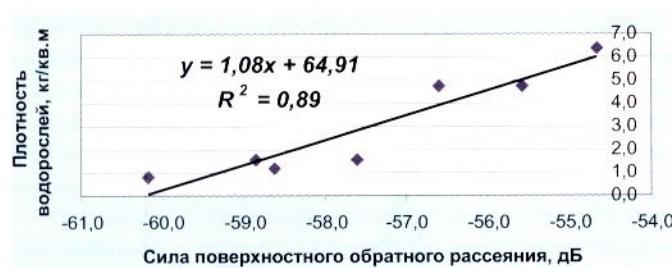


Рис. 3. Зависимость плотности водорослей от силы поверхностного обратного рассеяния для рабочей частоты 50 кГц

большая осторожность в экстраполяции полученной зависимости за пределы значений данных, использованных при построении регрессии. Необходимо проведение аналогичных экспериментов на более высоких концентрациях водорослей.

В процессе проведения работ была отмечена значительная разница отражательной способности макрофитов на 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° соответственно).

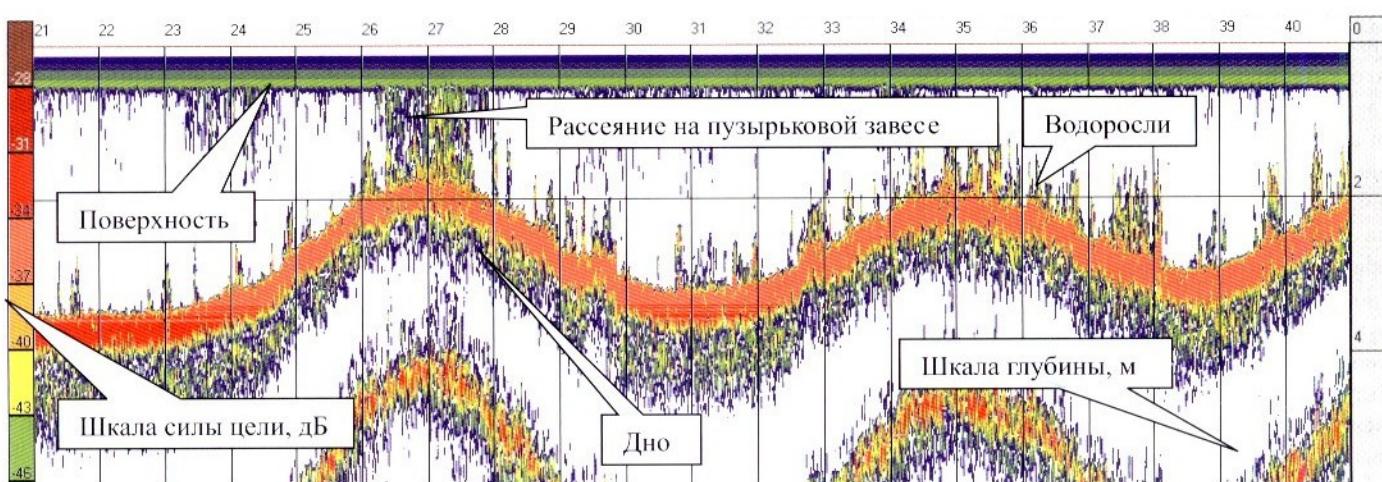


Рис. 4. Фрагмент гидроакустической регистрации макрофитов на частоте 200 кГц

Разрабатываемая методика позволит ускорить процесс сбора и обработки получаемых в экспедициях материалов, уменьшить применение водолазного труда, а также оперативно разрешать спорные вопросы, связанные с оценкой запаса и распределением водорослей.

но, на частотах 50 и 200 кГц – на уровне –3 дБ). Характер гидроакустической регистрации макрофитов на рабочей частоте эхолота 200 кГц проиллюстрирован рис. 4. Эхограмма получена при тех же режимах работы аппаратуры, что и на рис. 2. При применении частоты 200 кГц и узкой направленности антенны имеют место более низкий уровень помех, меньшее влияние боковых лепестков антенны, меньшая мертвая зона, более надежная селекция дна и достаточно широкая зона регистрации водорослей.

В результате проведенных опытно-экспериментальных работ: 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 программы сбора информации на съемках в море, камеральной обработки данных эхосъемок и калибровки системы по эталонной цели. Программой камеральной обработки предусмотрена возможность вывода результатов в формате файлов MapInfo для дальнейшего картирования зарослей с соответствующей навигационной привязкой;

установлено, что пробные съемки по количественной оценке макрофитов гидроакустическим методом на экспериментальном полигоне дали результаты, достаточно близкие к оценкам биомассы водорослей, полученным 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 мертвых зон, более надежного и простого определения положения дна и в то же время достаточно широкой зоны регистрации, что особенно важно при работе на малых глубинах.

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 водорослями. Разрабатываемая методика позволит ускорить процесс сбора и обработки получаемых в экспедициях материалов, уменьшить применение водолазного труда, а также оперативно разрешать спорные вопросы, связанные с оценкой запаса и распределением водорослей.

В дальнейшем следует продолжить эксперименты по прямому измерению соотношения акустических характеристик обратного рассеяния и улова водорослей для разных по плотности распределения категорий зарослей и зарослей с различным составом. Эти работы аналогичны исследованиям соотношения длина – сила цели или силы цели 1 кг рыбных объектов в промысловой гидроакустике. Наряду с вышеизложенной схемой измерения указанных соотношений целесообразно применение схемы выкашивания находящихся под катером водорослевых участков круглой формы разных диаметров в различных местах зоны произрастания; их ло-

цирования, подъема водорослей с данных участков и их 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. Доработка системы для одновременной или квазидновременной (через посылку) двухчастотной гидроакустической регистрации водорослей значительно увеличит информативность, достоверность и удобство использования разрабатываемой методики. При этом в разрабатываемой методике желательно использовать современные средства подводного видеонаблюдения.

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

Pronina O.A., Diogtev A.I., Kudriavtsev V.I., Vorobyov A.V.

Results of quantitative assessment of the White Sea macrophytes stocks by hydroacoustical methods

During 2002-2003, experimental works were carried out on adapting a SevNIIRH computer acoustic system for the quantitative assessment of algae of laminaria type in the White Sea (SevPINRO). The system was connected to the commercial fish-finding echo-sounders Furuno LS6000 – 50 kHz and Furuno LS6000 – 200 kHz. The performed experimental works demonstrated favourable prospects of using hydroacoustical methods in the quantitative assessment of macrophytes – echo surveys allow to determine the margins of algae thickets, their size and the density of covering the bottom with algae. The methodology is being developed that will allow to speed up significantly the process of collecting and processing materials received in expeditions and to reduce essentially the use of diving operations.

