

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Букатый В.М., Дмитриев В.И. Гидроакустические лаги. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 176 с.
2. Бородин В.И., Смирнов Г.Е., Толстякова Н.А., Яковлев Г.В. Гидроакустические навигационные средства. – Л.: Судостроение, 1983. – 264 с.
3. Маленькая энциклопедия. Ультразвук. Глав. ред. И.П.Голямина. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400с.
4. Богородский В.В., Яковлев Г.В., Коретин Е.А., Должиков А.К. Гидроакустическая техника исследования и освоения океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 263 с.
5. Гусев Н.М., Яковлев Г.В. Гидроакустические доплеровские лаги // Судостроение за рубежом. 1976. №5. С.53–66.
6. Новиков Б.К., Руденко О.В., Тимошенко В.И. Нелинейная гидроакустика. – Л.: Судостроение, 1981. – 264 с.
7. Т.Дж. Мюрр. Нелинейная акустика и ее роль в геофизике морских осадков //Акустика морских осадков/ Под ред. Ю. Ю. Житковского. – М.: Мир, 1977. – С.227 – 273.
8. Волощенко В. Ю., Максимов В. Н. Нелинейные гидроакустические системы // Сб. тез. докл. 1-го Всесоюз. совещ.-семина. молод. ученых. Глубоководные системы и комплексы. – Черкассы, 1986. – С. 73 – 77.
9. Волощенко В.Ю., Максимов В.Н., Волощенко А.П., Куповых В.Г. Пат.75062 РФ. 2008. МКИ G01S 15/00. Доплеровская локационная система. Оpubл.20.07.2008 г. Бюл.№20.
10. Волощенко В.Ю., Чернов Н.Н., Волощенко А.П., Куповых Г.В. Пат.79187 РФ. 2008. МКИ G01S 15/00. Многоуровневая импульсная доплеровская навигационная система. Оpubл.20.12.2008 г. Бюл.№35.

**Волощенко Вадим Юрьевич**

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге

E-mail: [Vigcorp@mail.ru](mailto:Vigcorp@mail.ru)

347935, Россия, г.Таганрог, ул.Чехова, д.154 А, кв.10, тел.: 8(8634)37-17-95

**Voloshchenko Vadim Yurievich**

Taganrog Institute of Technology - Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University"

E-mail: [Vigcorp@mail.ru](mailto:Vigcorp@mail.ru)

Flat 10, corp. A, № 154, Chekhov Street, Taganrog, 347935, Russia

Ph: 8(8634) 37-17-95

УДК 639.2.081.7; 528.26 (268.45)

**Е. Н. Гаврилов**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ЗАПАСА  
ЛАМИНАРИЕВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ**

*В докладе представлены методические особенности мониторинга по оценке запаса ламинариевых водорослей с использованием технических средств гидро-*

*акустики и подводного телевидения. Рассмотрены факторы, влияющие на точность оценки биомассы водорослей и возможности видовой их идентификации. Приводятся этапы планирования маршрута гидроакустической съемки в прибрежных губах Баренцева моря, проведения градуировки научного эхолота EY500, а также обработки результатов.*

*Ламинариевые водоросли; гидроакустическая съемка; оценка запасов; научный эхолот; калибровка; градуировка; акустический индекс.*

**E. N. Gavrilov**

### **METHODS OF MONITORING OF LAMINARIA ALGAE WITH THE USE OF SOME TECHNICAL FACILITIES**

*In the paper some methods of monitoring to estimate the stock of laminaria algae with the use of some hydroacoustic and underwater television technical facilities are presented. The factors influencing the accuracy in the estimation of algal biomass and possibility of their specific identification are considered. The stages of planning the route of the hydroacoustic survey in the coastal zone of the Barents Sea, carrying out graduation of EY500 scientific echosounder as well as of processing the data are given.*

*Laminaria algae; hydroacoustic survey; stock estimation; scientific echosounder; calibration; graduation; an acoustic index.*

Морские водоросли относятся не только к ценным объектам промысла, но и играют важную экологическую роль в прибрежной экосистеме. Они очищают водную среду от загрязняющих веществ, служат местом размножения и питания для прибрежной фауны. Из всех видов морских водорослей ламинариевые являются доминирующими в прибрежной зоне Баренцева моря и наиболее важными с коммерческой точки зрения. Проведение мониторинга за состоянием ламинариевых водорослей позволяет изучить динамику естественных зарослей, прогнозировать их запас в условиях промысла и определить объем возможной заготовки [1]. При проведении таких работ первостепенное значение приобретает использование современных технических средств, прежде всего гидроакустики и подводного телевидения.

Гидроакустический метод (метод эхо-интегрирования) успешно используется для оценки запаса ламинариевых водорослей, поскольку эти растения четко регистрируются эхолотами, а главное, как было показано в работах [2,3], интенсивность отраженного сигнала растениями зависит от их плотности.

Мониторинг запасов ламинариевых водорослей в прибрежных районах Баренцева моря проводится научным эхолотом EY500 на частоте 70 кГц, установленным на катере с выносной антенной. Навигационная информация для привязки к местности поступает на эхолот от приёмника GPS. Для идентификации растений используется подводный телеуправляемый аппарат «Гном».

Специфика проведения гидроакустической съёмки ламинариевых водорослей, в отличие от съёмки промысловых рыб, имеет некоторые особенности, которые необходимо учитывать. Эти особенности, прежде всего, заключаются в необходимости проведения кроме калибровки эхолота дополнительной процедуры, такой, как его градуировка, разработка маршрута и выбор оптимального времени её проведения, возможности идентификации водорослей техническими средствами и анализом полученных результатов.

Если процедура калибровки научного эхолота [4] выполняется с целью сравнения и корректировки его измеряемых параметров по эталону (образцовый шар), то градуировка – для установления зависимости коэффициента обратного поверхностного рассеяния  $s_a$  от плотности морских водорослей, преимущественно одного вида.

Градуировка эхолота может осуществляться двумя способами. Первый способ заключается в искусственном создании различной плотности водорослей, закреплении их на леске и заведении под выносную антенну эхолота, второй способ проводится на естественных скоплениях водорослей разной плотности, которые можно найти на исследуемых акваториях. Последний из способов градуировки эхолота подробно описан в работе [5] и заключается в следующем. Катер, оснащенный эхолотом с выносной антенной, устанавливается над зарослями водорослей, закрепляется с помощью якорей, затем проводят измерения величины  $s_a$ . Затем аквалангист выкашивает часть водорослей, и снова проводятся измерения. Видовая идентификация растений и наличие пузырьков воздуха на их листьях проверяется аквалангистом, но чаще подводной видеокамерой. Каждая выкошенная порция водорослей тщательно взвешивается. Выкашивание водорослей продолжалось до полного прекращения их регистрации эхолотом, а затем катер перемещался на другой участок. После измерений на основе регрессионного анализа устанавливается зависимость между величинами  $s_a$  и плотностью водорослей. На рис.1 показана такая зависимость между указанными величинами для частоты 70 кГц.

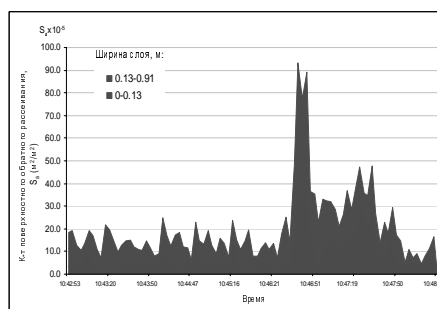
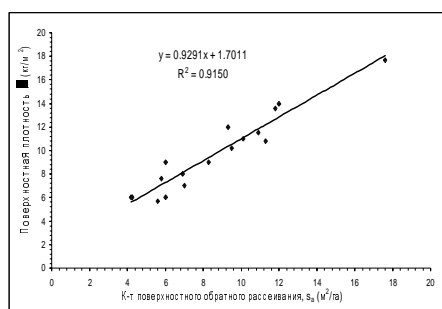


Рис.1. Зависимость между коэффициентом обратного поверхностного рассеяния и поверхностной плотностью водорослей на частоте 70 кГц

Рис.2. Разброс значений коэффициента  $s_a$  в одной географической точке, но разных вертикальных слоях во время прилива

При этом приходится учитывать, что водорослевые поля в прибрежных акваториях представляют собой расположение морских растений, листья которых неоднократно накладываются, создавая непрерывное многослойное покрытие. Различные листья наклонены относительно направления падающей волны случайным образом и под действием подводных течений, наложения их меняется. Они могут прижиматься к грунту или приподниматься от него, и изменение плотности растений имеет стохастический характер.

Анализ эхограмм и результаты видеосъемки показывают, что перемешивание листьев под действием подводных течений приводит к существенным изменениям их плотности. В результате получается значительный разброс измеряемых

значений  $s_a$  (рис.2), а большая дисперсия этих значений является причиной ошибок в картировании распределения и в оценках запасов водорослей. Так, например, среднее значение коэффициента обратного поверхностного рассеяния в одной точке водорослевого поля во время прилива составило  $\langle s_a \rangle = 13,1 \text{ м}^2/\text{га}$ , дисперсия 38,4. На полной воде в этой же точке слой имел сравнительно ровную верхнюю границу, параметры составили  $\langle s_a \rangle = 8,7 \text{ м}^2/\text{га}$ , дисперсия 12,3. Во время отлива, когда направление течения поменялось, характер регистрации водорослей соответственно тоже изменился, слой прижался к грунту, а его высота уменьшилась с 1,0 до 0,6 м. Среднее значение  $s_a$  для этого временного периода составило  $\langle s_a \rangle = 9,9 \text{ м}^2/\text{га}$ , дисперсия 29,2.

Поэтому, учитывая вышесказанное, такие процедуры, как калибровка и градуировка эхолотов, да и саму съемку необходимо проводить в период окончания прилива. Кроме того, на полной воде предоставляется возможность провести учет водорослей, расположенных на мелководье.

Процесс планирования маршрута гидроакустических съемок при проведении мониторинга, на примере губы Дроздовка, изложен в работе [6]. Он также является важным фактором, определяющим количество галсов и расстояние между ними на основе критериев, связанных с величиной ожидаемой погрешности в оценки запаса водорослей. Такими критериями могут являться степень покрытия  $d_c$  (degrees of coverage) гидроакустическими выборками района съемки и требуемый коэффициент вариации оценки средней плотности морских водорослей. Причем коэффициент вариации ( $cv$ ) является наиболее полезным критерием дисперсии и представляет собой стандартное отклонение, нормированное к среднему значению. Два указанных критерия согласно работе [7] связаны следующим уравнением:

$$d_c = (0,5/cv)^2 = D/\sqrt{A}, \quad (1)$$

где  $D$  – маршрутный путь;  $A$  – площадь района.

При оценке запаса ламинариевых водорослей важным вопросом является и возможность их видовой идентификации. С применением только технических средств гидроакустики эта задача не может быть полностью решена. Поэтому технические средства подводного телевидения также необходимы для изучения подводных ландшафтов, хотя эффективность их использования порой бывает ограничена низкой прозрачностью морской воды. Практика показала, что в прибрежье Баренцева моря можно успешно использовать такое устройство, как малогабаритный подводный телеуправляемый аппарат «Гном».

В настоящее время проблема видовой идентификации гидробионтов в промысловой гидроакустике частично решается путем применения многочастотных излучателей. Однако даже при использовании одночастотного эхолота иногда становится возможным определить среди ламинариевых водорослей сопутствующие растения такие, как, например, хорда нитевидная (*Chorda filum*). Растения этого вида встречаются в небольших количествах довольно часто, имеют крупное слоевище длиной 0,5-2,0 м и толщиной 1-4 мм, суженное у вершины. Внутри слоевища имеются полости, благодаря которым отражательные свойства растений (сила обратного объемного рассеяния,  $S_v$ ) на частоте 70 кГц превышает  $S_v$  ламинариевых водорослей на 6-10 дБ. На эхограмме эти растения (рис.3) регистрируются в виде продолговатых «столбиков» красного цвета и их легко отличить от ламинариевых водорослей.

Еще одна особенность, которую следует учитывать уже при расчете биомассы водорослей, – это получение несмещенной оценки запаса по результатам гидроакустических съемок. Статистический анализ полученных акустических выбо-

рок, которыми являются значения коэффициента  $s_a$ , показал, что, они имеют логарифмически нормальный закон распределения (рис.4). Известно [8], что логарифмически нормальное распределение преобразуется в нормальное путем использования натурального логарифма. В нашем случае после преобразования  $z_i = \ln(s_{ai})$  новые данные хорошо аппроксимировались нормальным распределением. Поэтому оценка биомассы водорослей проводилась с учетом предложенного преобразования данных с определением доверительных интервалов, в которые эта оценка укладывается с заданной степенью надёжности. При расчетах между параметрами нормального и логарифмически нормального распределения использовались следующие соотношения:

$$\langle s_a \rangle = \exp(\langle z \rangle + 0,5\sigma_z^2), \quad (2)$$

$$\sigma_s = \langle s_a \rangle [\exp(\sigma_z^2 - 1)]^{1/2}, \quad (3)$$

где  $\langle s_a \rangle$ ,  $\sigma_s$  – среднее значение и стандартное отклонение случайной величины  $s_a$  с логарифмически нормальным законом распределения;  $\langle z \rangle$ ,  $\sigma_z$  – среднее значение и стандартное отклонение случайной величины  $z$  с нормальным законом распределения.

В заключение следует отметить, что, учитывая высокие скорости подводных течений, имеющих место в прибрежных губах Баренцева моря, калибровку, градуировку эхолота и гидроакустическую съемку для оценки запасов водорослей следует проводить в периоды полной воды.

При видовой идентификации растений необходимо использовать средства подводного телевидения. Однако в некоторых случаях существенные различия в форме и отражательных свойствах сопутствующих растений позволяют их идентифицировать с помощью одночастотных эхолотов и не учитывать при оценке запасов ламинариевых водорослей.

Для повышения точности оценок запасов ламинариевых водорослей требуется применение статистического анализа и процедур обработки полученных данных.

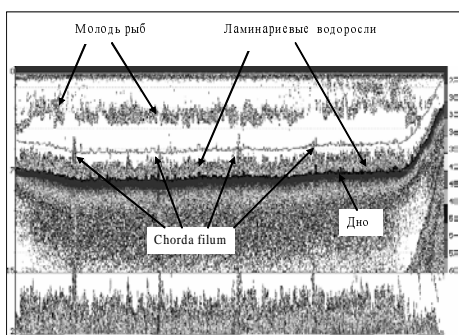


Рис. 3. Эхограмма с записью ламинариевых водорослей эхолотом EY500 на частоте 70 кГц в губе Дроздовка. Диапазон 0–15м, длительность импульса – 0,2мс., ширина расширенного масштаба придонного слоя – 2м. Растения – хорда (*Chorda filum*) – представлены в виде «столбиков» красного цвета

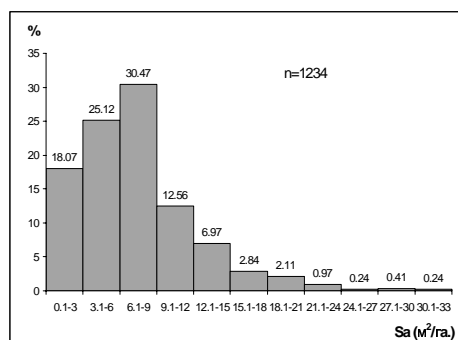


Рис.4. Гистограмма распределения значений коэффициента  $s_a$  ламинариевых водорослей по результатам гидроакустической съемки в губе Дроздовка

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сорокин А.Л., Пельтихина Т.С.* Ламинариевые водоросли Баренцева моря. – Мурманск: ПИНРО, 1991. – 186 с.
2. *Гаврилов Е.Н., Пестриков В.В.* Экспериментальные исследования по определению отражательной способности морских макрофитов //Современные методы исследования запасов морских макрофитов: Сб. научных тр. – Мурманск: ПИНРО, 1992.– С.28–32.
3. *Shenderov E.L.* Some physical models for estimating scattering of underwater sound by algae. 1998. J. Acoust. Soc. Am. 104. P. 791– 800.
4. *Гаврилов Е.Н., Игнашкин В.А., Ратушный С.В.* Методическое пособие по использованию научного эхолота ЕК500. – Мурманск, ПИНРО, 2003. –134 с.
5. *Пронина О.А., Дегтев А.И., Кудрявцев В.И., Воробьев А.В.* Количественная оценка запасов макрофитов Белого моря гидроакустическим методом // Рыбное хозяйство. 2004. № 3. С. 36-39.
6. *Гаврилов Е.Н.* Оценка запасов морских водорослей в прибрежной зоне Баренцева моря гидроакустическим методом // Труды 9 Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб., 2008. – С.422–428.
7. *Simmonds E., Williamson N., Gerlotto F. and Aglen A.* Survey design and analysis procedures: a comprehensive review of good practice. – ICES C.M. 1991/B 54. – 132 p.
8. *Johannsson K.F., Mitson R.B.* Fisheries acoustics. A practical manual for aquatic biomass estimation//FAO Fisheries Technical Paper. Rome, 1983. – 249 p.

**Гаврилов Евгений Николаевич**

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО)

E-mail: [gavrilov@pinro.ru](mailto:gavrilov@pinro.ru)

183763, Россия, г. Мурманск, ул. Клиповича, 6, тел.: (8152) 47-35-82

Зав. лабораторией промысловой гидроакустики и подводных исследований

**Gavrilov Evgeny Nikolaevich**

Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO),

E-mail: [gavrilov@pinro.ru](mailto:gavrilov@pinro.ru)

6, Klipovicha, Murmansk, 183763, Russia, Ph: (8152) 47-35-82

Head of Laboratory of Fisheries Acoustics and Underwater Technologies

УДК 534. 222. 2

**В. Ю. Волощенко, В. В. Кобзев**

**ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА  
ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ ГИДРОАЭРОДРОМА**

*Предложено для обеспечения безопасного взлета и приводнения в гидроавиации производить мониторинг приповерхностного слоя взлетно-посадочной полосы гидроаэродрома с помощью параметрических гидроакустических средств подводного наблюдения.*