

ЗВУКООТРАЖАЮЩИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ

Кузнецов М.Ю., Сыроваткин Е.В., Поляничко В.И.

*Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток
vladimir.polianichko@tinro.vniro.ru*

Использование гидроакустической эхолокационной аппаратуры, имеющей высокое разрешение по глубине и позволяющей регистрировать скопления рыб в процессе движения судна непрерывно, дает дополнительные возможности пространственной дифференциации и выявления тонкой структуры горизонтального и вертикального распределения гидробионтов при проведении съемок биоресурсов.

Основой гидроакустической технологии является измерение силы обратного поверхностного рассеяния от скопления гидробионтов и расчёт их численности по известной отражательной способности отдельных особей. Эхоинтегрирующие комплексы по измеренной мощности отраженного от рыб сигнала вычисляют коэффициент обратного объемного рассеяния в пределах выбранного слоя, а затем рассчитывают коэффициент обратного поверхностного рассеяния как интеграл по диапазону глубин и получают на выходе коэффициент поверхностного рассеяния на квадратную морскую милю s_A ($\text{м}^2\text{миля}^{-2}$). Коэффициент s_A используется в расчетах акустической оценки плотности скопления [1].

Отражательные свойства водных биологических объектов количественно оцениваются акустическим сечением обратного рассеяния (σ) и силой цели (TS). В эхолокации, применяемой при биоресурсных исследованиях, акустическое сечение – это условная площадь, дающая такое же отражение во все стороны, что и реальный объект в обратном направлении [2]. Сила цели представляет собой логарифмическую форму выражения обратного рассеяния и обычно представляется как функция длины рыбы. А поскольку численность гидробионтов по эхоинтеграционной технологии обратно пропорциональна их сечению рассеяния, отклонение TS от

истинной всего на 1 дБ ведёт к смещению акустической оценки обилия почти на 30 %.

Сила цели зависит от размера гидробионтов, частоты зондирования и физиологического состояния регистрируемых скоплений. Интенсивность обратного рассеяния существенно возрастает, когда рабочая частота эхолота близка к резонансной частоте плавательного пузыря рыб [3]. Изменения показателей упитанности и стадии развития половых органов вызывают значительные вариации акустической силы цели рыб [4, 5]. Наибольший потенциальный источник изменчивости отражательной способности – аспект облучения (угол наклона) гидробионта относительно луча антенны эхолота [6]. Причиной наклона рыб по сравнению с горизонтальным положением являются особенности поведения гидробионта, например, суточные вертикальные миграции и избегательная реакция на шумовое поле приближающегося судна.

Для решения практических задач оценки запасов гидробионтов σ и TS обычно измеряют экспериментально. Наилучшие результаты дают измерения силы цели рыб в их естественной среде обитания (метод *in situ*), поскольку при регистрации учитывается поведенческий эффект, зависимость от глубины и любые возможные сезонные изменения TS , связанные с физиологией объекта. Однако этот подход накладывает определённые ограничения на условия проведения эксперимента, в частности, необходима достаточно низкая плотность распределения скопления. Имеется также проблема выделения одиночных целей и получения репрезентативной выборки размерного состава гидробионтов.

Для сбора акустических данных использовался цифровой научный эхолот EK-60 Simrad, имеющий две антенны с расщеплённым лучом 38 и 120 кГц на киле судна. Оценка численности рыб производится на частоте 38 кГц. В эхолоте были установлены: длительность импульса – 1,024 мс, интервал между посылками – 1 с.

Перед измерениями выполнялась калибровка эхолота методом сравнения с использованием стандартной (эталонной) цели. Для взятия биологических проб и определения размерно-видового состава скоплений выполнялись контрольные траления. Детектирование эхотреков и измерения TS производилось в слое, вертикальной протяжённостью равной вертикальному раскрытию трала, а горизонтальной – продолжительности траления по лагу. Критери-

ями отбора акустических изображений для измерений TS были минимальная весовая доля объекта в уловах не менее 95%.

Другим важным моментом является наличие на отобранных эхограммах одиночных целей, разрешаемых индивидуально. Идеальная рыбная концентрация для исследования сил целей представляется как однородное разреженное скопление, состоящее из рыб одного вида с одномодальным размерным распределением. Процесс фильтрации одиночных целей на эхограммах реализован в программном комплексе «SALTSE» [7]. В его основе лежит алгоритм пошагового выделения одиночных целей по технологии расщепленного луча [8]. В результате программной обработки эхограмм получали пары значений средней силы целей (TS) в дорсальном аспекте и средней длины (L) рыб в выделенном слое, которые подвергались корреляционному и регрессионному анализу для нахождения зависимости между ними [9].

Были проведены исследования отражательных свойств минтая в Охотском море, японской скумбрии и тихоокеанских лососей в северо-западной части Тихого океана, когда там традиционно выполняются судовые тралово-акустические съемки биоресурсов. С помощью методики *in situ* экспериментально получены регрессионные зависимости дорсальной отражательной способности (силы цели) исследуемых рыб от длины их тела на частоте 38 кГц (рис. 1). Из сравнения, сила цели минтая превышает силу цели ло-

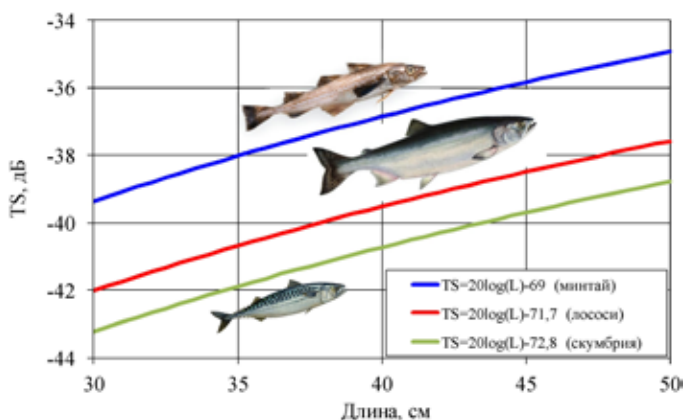


Рис. 1. Зависимости силы цели (TS) рыб от длины (дорсальный аспект, частота 38 кГц)

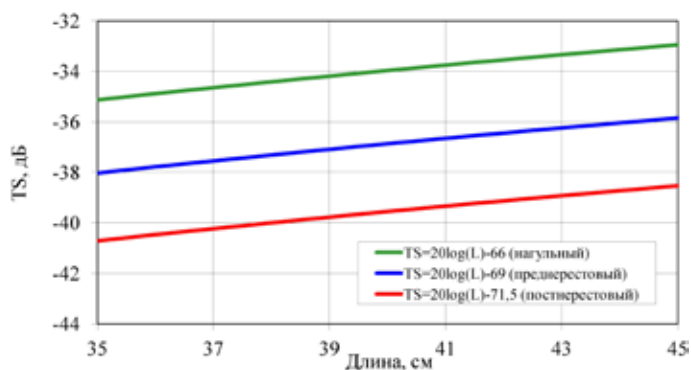


Рис. 2. Регрессионные зависимости минтая на частоте 38 кГц при различном физиологическом состоянии

сосей на 2,7 дБ. Линия регрессии скумбрии смещена вниз еще на 1,1 дБ относительно лососей и на 3,8 дБ по сравнению с минтаем.

Минтай – один из основных объектов ресурсных исследований и промысла в Дальневосточных морях, во время съемок находится в нагульном, преднерестовом и посленерестовом физиологическом состоянии, т.е. с различными стадиями зрелости половых продуктов и степенью наполнения плавательного пузыря, влияющими на отражательные способности особей. Измерения показали, что сила цели у преднерестового и нерестового минтая на 3 дБ ниже, чем у нагульного (рис. 2). Отражательная способность (сила цели) отнерестившегося минтая слабее еще на 2,5 дБ.

Измерения звукоотражающих характеристик рыб *in situ* наиболее приемлемы, поскольку учитывают их естественное поведение и распределение. Уточнение зависимости силы цели массовых промысловых видов рыб от зоологической длины дает возможность повысить точность и достоверность оценок их численности гидроакустическим эхоинтеграционным методом.

Литература

1. MacLennan D.N., Fernandes P.G., Dalen J. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics // ICES Journal of Marine Science. 2002. V. 59. P. 365-369.
2. Юданов К.И. Гидроакустическая разведка рыбы. СПб.: Судостроение, 1992. 186 с.

3. Андреева И.Б. Рассеяние звука в океанических звукорассеивающих слоях // В кн. «Акустика океана» (под. ред. Л.М. Бреховских). М.: Наука, 1974. С. 491-558.
4. Ona E. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish // J. Marine Biological Association of the United Kingdom. 1990. V. 70. P. 107-127.
5. Simmonds E.J., MacLennan D.N. Fisheries acoustics: theory and practice. Oxford, UK: Blackwell Science published, 2005. 437 p.
6. Mukai T., Iida K. Depth dependence of target strength of live kokanee salmon in accordance with Boyle's law // ICES Journal Of Marine Science. 1996. V. 53. P. 245-248.
7. Кузнецов М.Ю., Убарчук И.А., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В. Программный комплекс для визуализации, многовидовой обработки и хранения данных гидроакустических ресурсных съёмов // Труды ВНИРО. 2021. Т. 183. С. 174-190.
8. Methodology for Target Strength Measurements // ICES Cooperative Research Report № 235 (edited by E. Ona). 1999. 59 p.
9. Ricker W.E. Linear regressions in fishery research // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 1973. V. 30. P. 409-434.