О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЕ РАССЕЯНИЯ ЗВУКА В ЯПОНСКОМ И ОХОТСКОМ МОРЯХ

Буланов В.А., Стороженко А.В.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения РАН
Владивосток, 690041, ул. Балтийская, д.43, тел. +7 423 2374913;
Факс: +7 423 2312573, E-mail: bulanov@poi.dvo.ru*

Results of acoustic researches in Far Eastern seas are compared with the results obtained in the seas of the Eastern Arctic. Analysis of sound scattering in the Sea of Japan and in Eastern Arctic has revealed a significantly larger scattering of sound in the Eastern Arctic, perhaps due to the higher concentration of plankton in the upper layers of the Arctic seas. It is found out, that the daily migration of plankton in the Chukchi sea differs from the migration in the Sea of Japan. It is showed that acoustic estimation of biomass coincides with the results of biological measurements in situ.

Акустическое зондирование на основе обратного рассеяния звука позволяет изучать мелкомасштабную структуру морской среды и ее изменчивость, связанную с турбулентными образованиями, проявлением внутренних волн, наличием пузырьков, твердых взвесей, а также планктона и других биологических объектов. Наиболее изменчивым слоем водной толщи океана является верхний слой, и для этого слоя характерно сосредоточение биоресурсов и наличие интенсивных динамических процессов, существенно влияющих на распределение практически всех биологических объектов [1]. Данные о рассеянии звука имеются для сравнительно низких и средних частот звука, которые в основном использовались в рыбопоисковой технологии [1, 2]. Информация о величине и природе высокочастотного рассеяния более скудна [2, 3]. Большую роль, в рассеянии высокочастотного звука играют планктонные сообщества и в первую очередь, с позиции иерархии сечения рассеяния звука, одиночным объектом выступает особь зоопланктона. Фитопланктон рассеивает звук существенно слабее, однако наличие его в больших количествах порой создает конкуренцию зоопланктону в рассеянии звука на высоких частотах. Наличие флуктуаций гидрофизических параметров среды за счет турбулентности и других механизмов также приводит к усилению рассеяния звука на высоких частотах [1, 3]. Частоты звука, на которых мы исследовали рассеяние в верхнем слое

океана, составляли, как правило, диапазон от 100 кГц до 250 кГц, хотя в шельфовых районах иногда использовали частоты до 650 кГц.

Коэффициент объемного нерезонансного рассеяния звука m_v скоплением рыбы или планктона определяется выражением, учитывающим функцию распределения по размерам и сечение рассеяния σ одиночным организмом (его обычно задают в м^2 , и тогда размерность коэффициента m_v определяется как м^{-1}). С конца 1980-х годов появился ряд моделей [1, 2], которые позволяют учесть дифракционные эффекты при рассеянии на достаточно больших и сложных по форме объектах, например, на слабо изогнутых цилиндрах конечной длины. В этом случае удается оценить коэффициент рассеяния не только рыбами и планктоном малого размера (меньше длины волны звука), но и большими рыбами и зоопланктоном, наиболее сильно рассеивающим звук. Выяснилось, что на высоких частотах звука основное рассеяние звука имеет биологическое происхождение и значительная часть его связана с распределением планктона в морской воде [1, 2]. Планктон обычно располагается в областях с максимальными градиентами плотности. Это обстоятельство для рассеяния звука имеет большое значение, т.к. позволяет по аномальному рассеянию звука на планктоне и других микронеоднородностях, локализованных вблизи термоклина, получать информацию о различных крупномасштабных нестационарных гидрофизических процессах в море – внутренних волнах, течениях и крупномасштабной турбулентности.

На рис. 1 представлено распределение коэффициента рассеяния звука на частоте 100 кГц вдоль трассы длиной около 900 км в водах Охотского моря, где видны суточные вариации m_v , достигающие 20 дБ, наложенные на тренд m_v вдоль длинных трасс в северной и южной частях, достигающий в среднем 5–6 дБ. Контрастом представленному на рис. 1 поведению рассеяния звука выступают неклассические картины миграции звукорассеивающих слоев в Чукотском море, что иллюстрируется данными на рис. 2, представленными для коэффициентов рассеяния звука $m_v(t, z)$, их средних значений по глубине $m_v(t) = (1/h) \int_0^h m_v(z, t) dz$, а также гидрологических данных – зависимостей от глубины температуры T и солёности S .

Величина коэффициента рассеяния m_v позволила оценить массовую концентрацию включений m_g [3]. Общее выражение, позволяющее по экспериментальным данным для m_v получать данные по распределению биомассы m_g в рамках двух распределений – степенного (P) и гауссовского (G), можно написать в виде $m_g^{(P,G)}(r, f) = D^{(P,G)}(f)m_v(r, f)$, где коэффициент $D^{(P,G)}(f)$ зависит от частоты и имеет сложный вид [3].

Рис 1. Распределение рассеяния звука вдоль трасс в Охотском море.

Рис. 2. Неклассические суточные вариации рассеяния звука в арктических морях: слева – Чукотское море (1) 12.08.2013, справа – Берингов пролив (2) 10.08.2013.

Рис. 3. Сравнение оценок концентрации биомассы в Японском море по данным рассеяния звука 1 и по результатам облова 2, и в Арктике (3 – 66°29'N, 170°24'W, 4 – 68°54'N, 178°11'W).

Сравнительные данные рассеяния звука в Японском море и восточной Арктике (Чукотское море) показаны на рис. 3. На врезке представлена картина полусуточных вариаций звукорассеивающих слоев на станции в Чукотском море. Серым цветом выделено темное время суток на станции. Исследования выявили существенно большее рассеяние звука в восточной Арктике, что связано с большей концентрацией планктона.

Работа выполнена при поддержке проектов №17-02-00561 РФФИ и №18-I-004 программы ДВО РАН «Дальний Восток».

ЛИТЕРАТУРА

1. Lavery A.C., Wiebe P.H., Stanton T.K., et al. Determining dominant scatterers of sound in mixed zooplankton populations // J. Acoust. Soc. Am. 2007. Vol. 122. P. 3304–3326.
2. Jech J.M., Horne J.K., Chu D., et al. Comparisons among ten models of acoustic backscattering used in aquatic ecosystem research // J. Acoust. Soc. Am. 2015. Vol. 138. No. 6. P. 3742–3764.
3. Акуличев В.А., Буланов В.А., Стороженко А.В. Акустические исследования зоопланктона в Японском море и восточной Арктике // Доклады Академии наук. 2016. Т. 470. № 2. С. 219–222.