А.Н. Серебряный^{1,2}, С.-Т. Liu³, А.А. Аредов²

ГЕНЕРАЦИЯ ПОДВОДНОГО ШУМА ВНУТРЕННЕЙ ВОЛНОЙ 2-ОЙ МОДЫ В ЮЖНО-КИТАЙСКОМ МОРЕ

¹Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН
Россия, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, 36,
Тел.: 8(499)124-59-96; E-mail: serebryany@hotmail.com

²АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»
Россия, 117036, г. Москва, ул. Шверника, д. 4, Тел.: 8(499)723-63-00;

³Institute of Oceanography, National Taiwan University,
Taipei, Taiwan, E-mail: ctliu@ntu.edu.tw

Представлены наблюдения большой уединенной внутренней волны 2-ой моды, зарегистрированной в Южно-Китайском море, и результаты измерения, сгенерированного ею подводного шума.

Ключевые слова: подводный шум, Южно-Китайское море, сулой, уединенная внутренняя волна, внутренняя волна 2-ой моды, ADCP

Введение

Важная роль, которую занимают внутренние волны в акустике океана, давно признана, но ее, как правило, связывают с влиянием внутренних волн на распространение звука в океане. В то же время внутренние волны могут быть источниками подводных акустических шумов. Это происходит тогда, когда внутренние волны имеют большие амплитуды и, взаимодействуя с морской поверхностью, генерируют сулой – области обрушивающихся поверхностных волн, излучающих акустические шумы в воду и в атмосферу. При исследованиях, проводимых в проливе Лусон на северо-востоке Южно-Китайского моря (ЮКМ), в мае 2006 г., была встречена уединенная внутренняя волна высотой 50 м. Она породила сулой, излучаемый подводный шум, который нам удалось зарегистрировать. Подобные наблюдения до сих пор редки. Результаты этих наблюдений представлены в докладе.

Методика эксперимента и используемые средства. Южно-Китайское море известно присутствием внутренних волн больших амплитуд, проявления которых в виде сликовых и сулойных полос хорошо различимы на водной поверхности [1]. В проливе Лусон НИС “Ocean Researcher 1” проводил детальную гидрологическую съемку с 20 по 27 мая

2006 г. По договоренности с капитаном при ожидаемой встрече с цугом внутренних волн судно должно было лечь в дрейф для проведения эксперимента по регистрации подводного шума, генерируемого внутренней волной. Такой случай произошел 23 мая. При встрече с внутренней волной, зарегистрированной на экране судового радиолокатора, судно сначала прошло над ней, а затем развернулось и, уйдя на расстояние в 1 милю, легло в дрейф, ожидая подхода волны. В дрейфе была развернута применяемая система измерений, показанная на рис. 1. Главной деталью измерительной системы была капсула нейтральной плавучести на глубине 70 м с помещенным в нее ненаправленным гидрофоном. Через изолированный провод гидрофон соединялся с регистрирующей аппаратурой на борту судна. Судно было оснащено необходимыми приборами для регистрации параметров внутренних волн: ADCP “WorkHorse 150 kHz”, CTD-зонд, эхолот ЕК 500, радиолокатор с сохранением изображений морской поверхности каждые 5 мин. Измерения в дрейфе продолжались в течение 25 мин. За это время внутренняя волна приблизилась к судну и прошла под ним, при этом все вышеперечисленные приборы вели регистрацию.

Рис. 1. Измерительная система для регистрации подводного шума с дрейфующего судна (1). Капсула нейтральной плавучести с гидрофоном (5), изолированный провод (2), буй (3), груз (4).

Внутренняя волна 2-ой моды и ее характеристики. Волна двигалась в северо-западном направлении со стороны подводного хребта Хен-Чун, перегораживающего пролив Лусон с севера на юг. Глубина моря в месте встречи с волной составляла 2910 м. Прохождение внутренней волны было при штилевой погоде. Волна сопровождалась уединенной полосой сулоя на поверхности моря, состоящей из коротких обрушивающихся поверхностных волн, хорошо видимых на экране радиолокатора (рис. 2).

Рис. 2. Вид поверхности моря в момент прохождения внутренней волны (слева) и его радиолокационное изображение (справа).

Ширина полосы суоя в поперечнике составляла порядка 900 м. Профиль волны в верхнем 500-метровом слое моря был прослежен на записи эхолота по смещениям звукорассеивающих слоев (рис. 3). При проходе волны верхняя часть водной толщи (выше горизонта 200 м) смещалась вверх, а нижняя – вниз, что указывало на ее принадлежность ко 2-ой моде. Амплитуда волны была 50 м. По данным ADCP орбитальные течения в это время достигали 0.52 м/с. Горизонтальное течение во внутренней волне дважды меняло свою направленность на противоположную в зависимости от глубины (рис. 3), что полностью соответствует теоретическим представлениям о внутренних волнах 2-ой моды.

Рис. 3. Вертикальный профиль широтной компоненты течения до глубины 300 м, измеренный ADCP (слева), и запись эхолота на частоте 38 кГц при прохождении внутренней волны под судном (справа).

Подводный шум. Измерения при прохождении внутренней волны, проведенные гидрофоном на глубине 70 м, выявили усиление подводного шума. На рис. 4 представлена запись изменения уровня шума (после 1/3 октавной фильтрации на частоте 1 кГц) за все время прохождения

уединенной внутренней волны. Хорошо видно, что уровень шума сначала резко повышается на 5–8 дБ, а затем постепенно в течение 10 мин. спадает до фонового. Усиление подводного шума происходит при прохождении полосы суоя, положение которой совпадает с фазой гребня внутренней волны 2-ой моды. Аналогичный эффект уже регистрировался ранее у внутренних волн больших амплитуд в Индийском океане [2, 3], но в отличие от данного случая, там источником шума были внутренние волны 1-ой моды.

Рис. 4. Изменение уровня подводного шума на частоте 1 кГц во время прохода уединенной внутренней волны.

Заключение

Сгенерированные в проливе Лусон внутренние волны больших амплитуд распространяются на запад, пересекают ЮКМ и выходят на шельф. При встрече с шельфом происходит эффект смены полярности амплитуд внутренних волн [4], нередко с распадом на цуги солитонов. Уединенные волны 2-ой моды, как показано в [5], также подвержены эффекту смены полярности. Во всех случаях внутренние волны в ЮКМ сопровождаются подводным шумом, имеющим характеристики близкие к рассмотренным в докладе. Регулярность появления подводных шумов этой природы в ЮКМ можно прогнозировать с полусуточной периодичностью.

Экспериментальное оборудование для измерения подводных шумов было подготовлено Н.Н. Охрименко. Работа была поддержана ONR, а также грантами РФФИ №19-05-00715 и № 20-55-S52005.

Литература

1. Серебряный А.Н. Сlick- и сулоеобразующие явления в море: внутренние волны // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 275–286.
2. Серебряный А.Н., Фурдуев А.В., Аредов А.А., Охрименко Н.Н. Шум внутренней волны большой амплитуды в океане // Доклады АН. 2005. Т. 402. № 4. С. 543–547.
3. Serebryany A., Aredov A., Okhrimenko N. Ambient noise induced by large-amplitude internal waves in the ocean // Hydroacoustics. Annual Journal. Vol. 12. Gdansk, 2009. P. 209–216.
4. Серебряный А.Н., Пао Кс. Прохождение нелинейной внутренней волны через точку переворота на шельфе // Доклады АН. 2008. Т. 420. № 4. С. 543–547.
5. Белогорцев А.С., Рыбак С.А., Серебряный А.Н. Нелинейные внутренние волны второй моды над наклонным дном // Акустический журнал. 2013. Т. 59. № 1. С. 70–76.

A.N. Serebryany^{1,2}, C-T. Liu³, A.A. Aredov²

UNDERWATER NOISE GENERATION BY 2nd MODE INTERNAL WAVE IN THE SOUTH CHINA SEA

¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences*

Nakhimovskiy pr-ct, 36, Moscow, Russia, 117997,

Tel.: 8(499)124-59-96, E-mail: serebryany@hotmail.com

²*Andreyev Acoustic Institute*

Shvernika str., 4, Moscow, Russia, 117036,

Tel.: 8(499)723-63-00, E-mail: serebryany@akin.ru

³*Institute of Oceanography, National Taiwan University*

Taipei, Taiwan, E-mail: ctliu@ntu.edu.tw

Observations of large-amplitude solitary internal wave of mode 2 recorded in the South China Sea, and the results of measurements of underwater noise generated by it are presented.

Keywords: underwater noise, South China Sea, choppy waves, solitary internal wave, mode 2 internal wave, ADCP

Acknowledgment: Experimental equipment for measuring underwater noise was prepared by N.N. Okhrimenko. This work was supported by ONR, as well as by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 19-05-00715 and No. 20-55-S52005).

References

1. Serebryany A.N. Slick- I suloeobrazuyushchie yavleniya v more: vnutrennie volny (Slick- and suloy generating processes in the sea. Internal waves). Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 275–286.

2. Serebryany A.N., Furduev A.V., Aredov A.A., and Okhrimenko N.N. Shum vnutrennei volny bol'shoi amplitudy v okeane (Ambient noise generated by large-amplitude internal waves in the ocean). Doklady AN, 2005, Vol. 402, No. 4, pp. 543–547.
3. Serebryany A., Aredov A., and Okhrimenko N. Ambient noise induced by large-amplitude internal waves in the ocean. Hydroacoustics, Annual Journal, Vol. 12, Gdansk, 2009, pp. 209–216.
4. Serebryany A.N. and Pao Ks. Prokhozhdenie nelineinoy vnutrennei volny cherez tochku perevorota na shel'fe (Transition of a nonlinear internal wave through an overturning point on a shelf). Doklady AN, 2008, Vol. 420, No. 4, pp. 543–547.
5. Belogortsev A.S., Rybak S.A., and Serebryany A.N. Nelineinyye vnutrennie volny vtoroi mody nad naklonnym dnom (Second-mode nonlinear internal waves over a sloping bottom). Akusticheskii zhurnal, 2013, Vol. 59, No. 1, pp. 70–76.