

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ДИНАМИКИ ВОЛНООБРАЗНЫХ БОРОВ В НЕОДНОРОДНОМ СЛОИСТОМ ОКЕАНЕ

Рувинская Е.А., Куркина О.Е., Куркин А.А., Гиниятуллин А.Р.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Россия

e.rouvinskaya@gmail.com

Ключевые слова: приливная волна, солибор, солитон, уравнение Гарднера

Одним из видов интенсивных нелинейных внутренних волн, изучение которых представляет прикладной интерес, являются волнообразные боры. Они довольно часто наблюдаются в устьях и эстуариях рек в связи с приливным циклом. Большие волнообразные боры встречаются в шельфовой зоне океанов во время цунами (например, в 1983 году в Японском море [Tsuji et al, 1991] и в 2004 в Индийском океане у берегов Таиланда [Constantin and Johnson, 2008]). На поверхности стратифицированного океана боры, представляющие собой вертикальные смещения пикноклина, лежащего на глубине 50-200 м, часто проявляются в виде сликов различной интенсивности. Иногда внутренние боры называют солиборами, поскольку в процессе их эволюции на укрупненном фронте генерируется последовательность солитонов. Хотя первоначально термин «солибор» был связан с дегенерацией внутренних приливных волн на океанском шельфе, подобные явления характерны и для озер [Hutter, 2012]. С точки зрения практических приложений изучение солиборов, заключающих в себе огромную энергию, важно, поскольку такие волны являются одним из основных источников транспорта наносов, ресуспендирования, способствуют турбулентному перемешиванию в толще воды [Henyey & Hoering, 1997; Jonhson et al., 2000; Nosegood et al., 2004], а также существенно влияют на распространение звука в толще воды и на формирование придонного звукового канала [Rybak & Serebryaniy, 2010].

В настоящей работе исследуется процесс трансформации длинной синусоидальной внутренней волны, являющейся аналогом внутренней приливной волны, при выходе на мелководье. Этот процесс сопровождается образованием внутреннего солибора и может быть хорошо описан в рамках уравнения Гарднера (расширенной версии уравнения Кортевега-де Вриза, содержащей как квадратичную, так и кубическую нелинейность). Мы исследуем различные возможные сценарии эволюции солибора, зависящие от условий среды и характеризующиеся различными сочетаниями знаков кубической и квадратичной нелинейности. Так, если кубическая нелинейность имеет отрицательный знак, а квадратичная - положительный, то, если амплитуда синусоидальной волны достаточно велика, образуется два ундулярных бора на обоих склонах гребня. Ундулярный бор в этом случае состоит из одного солитона предельной амплитуды с плоской вершиной и группы солитоноподобных волн неопределенных амплитуд, «пробегающих» по широкому солитону. Если кубическая нелинейность имеет положительный знак и амплитуда приливной волны достаточно велика, то образуется две точки «обрушения» - на гребне и у подошвы волны, из которых генерируются группы солитоноподобных импульсов положительной и отрицательной полярности. Показано, что нелинейное взаимодействие волн происходит аналогично одному из сценариев двухсолитонного взаимодействия типа «обмен» или «обгон» со сдвигом фаз. При взаимодействии волн малых амплитуд с солитоноподобными волнами больших амплитуд скорости первых в среднем становятся отрицательными. Также в работе выполнен

статистический анализ ансамбля солитонов, образованного при эволюции волнообразного бора для различных возможных условий окружающей среды (более подробно см. в нашей работе [Kurkina et al., 2016]), а именно: получена статистика высот генерируемых солитонов, проведено сравнение с известными статистическими законами распределения параметров волн. Также выполнен спектральный анализ такой волновой структуры, проанализирована эволюция спектра Фурье во времени.

Представленные результаты получены при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-5208.2016.5).

Список литературы

- 1) Tsuji, Y. Tsunami ascending in rivers as an undular bore/ Tsuji, Y., Yanuma, T., Murata, I., and Fujiwara, C.// *Natural Hazards*. – 1991. – vol. 4. – pp. 257-266.
- 2) Constantin, A. Propagation of very long water waves, with vorticity, over variable depth, with applications to tsunamis/ Constantin, A., Johnson, R.S. // *Fluid Dynamics Research*. – 2008. – vol. 40. – pp. 175-211.
- 3) Henyey, F.S. Energetics of borelike internal waves/ Henyey, F.S. and Hoering, A. // *Journal of Geophysical Research*. – 1997. – pp.102-117.
- 4) Hosegood, P. Solibore-induced sediment resuspension in the Faeroe-Shetland Channel/ Hosegood P., Bonnin, J., van Haren, H. // *Geophysical Research Letters*. – 2004. – vol. 31. – LO9301. – doi: 10.1029/2004GL019544.
- 5) Hutter, K. Nonlinear internal waves in lakes/ K. Hutter (ed) . – Berlin: Springer, 2012.
- 6) Johnson Donald, R. Internal tidal bores and bottom nepheloid layers/ Johnson Donald, R., Alan Weidemann, W.Scott Pegau// *Continental Shelf Research*. – 2001. – vol. 21. – pp. 13-14.
- 7) Rybak, S.A. On Generation of Sound by an Internal Bore/ Rybak, S.A., Serebryanyi, A.N// *Akusticheskii Zhurnal*. – 2010. – vol. 56. – no. 6. – pp. 773-775.
- 8) Kurkina, O. Nonlinear disintegration of sine wave: Gardner framework/ O. Kurkina, E. Rouvinskaya, T. Talipova, A. Kurkin and E. Pelinovsky// *Physica D: Nonlinear Phenomena*. – 2016. – vol. 333. – pp. 222-234.