© Бадулин С.И., Григорьева В.Г., Aouf L., Dalphinet A., 2019, Океанологические исследования, 2019, Том 47, № 1, С. 15–17

УДК 534 DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(1).3

ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ВОЛН НА ВОДЕ

Бадулин С.И.[1], Григорьева В.Г.[1], Aouf L.[2], Dalphinet A.[2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: badulin.si@ocean.ru; vika@sail.msk.ru*
[2]*Département Marine et Océanographie / R&D, Météo-France, 31057, Toulouse, France e-mails: lotfi.aouf@meteo.fr; alice.dalphinet@meteo.fr*
Статья поступила в редакцию 25.12.2018, одобрена к печати 30.01.2019

Увеличение пространственно-временного разрешения численных моделей на сегодняшний день рассматривается как основное направление совершенствования прогноза волнения в Мировом океане. Однако наряду с заметным улучшением оценки высот волн (в том числе, экстремальных), появляются серьезные проблемы соответствия достигаемого разрешения численных моделей качеству ассимилируемых этими моделями данных, а также границам применимости теории, лежащей в основе системы прогноза. Современная статистическая теория морского волнения накладывает определенные требования на соотношения характерных масштабов взаимодействия волн с ветром (накачка и диссипация) и взаимодействий между волнами (нелинейного переноса). Некорректность моделей, связанная с нарушением границ применимости физической теории, крайне сложно выявить путем верификации по данным in situ или дистанционных измерений.

В настоящей работе результаты высокоразрешающего моделирования морского волнения верифицировались по соотношениям теории волновой (слабой) турбулентности. Для анализа использованы три модели ветрового волнения с различными пространственно-временными сетками: CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) с разрешением 0.1° по пространству и 3 часа по времени; MFWAM (Meteo-France WAve Model) – 0.025° и 1 час, а также WaveWatch III с ветровой накачкой, взятой из высокоразрешающей атмосферной модели WRF – 0.01° и 1 час соответственно. В качестве экспериментального полигона была выбрана акватория атлантического сектора юго-запада Европы (7°з.д.–5°в.д. и 53°–63°с.ш.) за период 1.01.2018–28.02.2018. Этот сравнительно небольшой сектор отличается сочетанием практически всех возможных ветро-волновых условий: развитием локального ветрового волнения в проливе Ла-Манш, существованием нескольких систем зыби, приходящей из Атлантического океана, и комбинациями их взаимодействия.

В целом, модели достаточно хорошо согласуются друг с другом по основным характеристикам ветрового волнения, однако значимо расходятся в оценке из-

менчивости волнения на масштабах 20–50 км, которые отвечают релаксационным процессам волнового поля за счет нелинейных резонансных взаимодействий. Эти процессы играют определяющую роль в динамике волнения (по сравнению с ветровой накачкой и диссипацией) и достаточно точно описываются аналитическими соотношениями теории волновой турбулентности (Badulin et al., 2007, 2015). С помощью последних период и крутизна волнения могут быть восстановлены по пространственному градиенту высоты волны (Badulin, 2014). Подобная процедура применима как для модельных, так и для спутниковых данных (Badulin et al., 2018), что позволяет провести сравнение результатов моделирования и измерений в рамках единого физического подхода.

Анализ полученных результатов показывает вероятную избыточность разрешения WaveWatch III (0.01°) при моделировании волнения, что проявляется, в частности, в образовании мелкомасштабных структур в зонах сильной изменчивости (например, вблизи берегов), где модели низкого разрешения показывают формирование ориентированных по ветру устойчивых струй в поле крутизны волнения. Расхождения моделей более низкого разрешения между собой, в основном, могут быть объяснены различными методами разделения поля волнения на системы локально генерируемого ветрового волнения и зыби.

Исследования выполнены в рамках темы госзадания № 0149-2019-0002 Института океанологии П.П. Ширшова РАН.

Ключевые слова: ветровое волнение, зыбь, модели прогноза волнения, волновая турбулентность, кинетическое уравнение, автомодельные решения

Литература

Badulin S.I., Pushkarev A.N., Resio D., Zakharov V.E. Self-similarity of wind-driven seas // Nonl. Proc. Geophys. 2005. Vol. 12. P. 891–946.

Badulin S I., Babanin A.V., Resio D., Zakharov V. Weakly turbulent laws of wind-wave growth // J. Fluid Mech. 2007. Vol. 591. P. 339–378.

Badulin S.I. A physical model of sea wave period from altimeter data // J. Geophys. Res. Oceans. 2014. Vol. 119. P. 856–869.

Badulin S., Grigorieva V., Gavrikov A., Geogjaev V., Krinitskiy M., Markina M. Wave steepness from satellite altimetry for wave dynamics and climate studies // Russian J. Earth Sciences. 2018. Vol. 18. P. ES5005. DOI:10.2205/2018ES000638.

HIGH RESOLUTION WAVE FORECASTING MODELS AND WAVE TURBULENCE THEORY

Badulin S.I.[1], Grigorieva V.G.[1], Aouf L.[2], Dalphinet A.[2]

[1]*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,*
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: badulin.si@ocean.ru; vika@sail.msk.ru
[2]*Département Marine et Océanographie / R&D, Météo-France, 31057, Toulouse, France*
e-mail: lotfi.aouf@meteo.fr; alice.dalphinet@meteo.fr
Submitted 25.12.2018, accepted 30.01.2019

Results of high resolution sea wave modeling are treated within the theory of wave (weak) turbulence. Spatial resolution 1 km is shown likely to be excessive and lead to appearance of artificial structures in fields of wave periods and steepness.

The research was supported by the state assignment of IO RAS, theme 0149-2019-0002.

Keywords: wind waves, swell, wave forecasting models, wave turbulence, kinetic eqution, self-similar solutions

References

Badulin S. I., Pushkarev A.N., Resio D., and Zakharov V.E. Self-similarity of wind-driven seas. *Nonl. Proc. Geophys.,* 2005, Vol. 12, pp. 891–946.

Badulin S.I., Babanin A.V., Resio D., and Zakharov V. Weakly turbulent laws of wind-wave growth. *J. Fluid Mech*., 2007, Vol. 591, pp. 339–378.

Badulin S.I. A physical model of sea wave period from altimeter data. *J. Geophys. Res. Oceans*, 2014, Vol. 119, pp. 856–869.

Badulin S., Grigorieva V., Gavrikov A., Geogjaev V., Krinitskiy M., and Markina M. Wave steepness from satellite altimetry for wave dynamics and climate studies. *Russian J. Earth Sciences*, 2018, Vol. 18, pp. ES5005, doi:10.2205/2018ES000638.