КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ И МОРЯХ РОССИИ

Зеленько А.А., Реснянский Ю.Д., Струков Б.С.

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, Большой
Предтеченский переулок, 11-13, 123242, г. Москва, 8(499)795-22-27,
e-mail: zelenko@mecom.ru*

The report presents basic information about the World Ocean and Russian seas wind waves forecasting system operating at the Hydrometeorological Centre of Russia. The accuracy of the forecasts is compared with those of similar national and foreign prognostic systems.

Современные подходы к прогнозированию ветровых волн основываются на численных гидродинамических моделях. Наибольшее распространение получили так называемые спектральные модели, основанные на численном решении сеточными методами уравнения баланса волновой энергии или волнового действия в спектральной форме.

В комплексной системе прогнозирования ветрового волнения в океане и российских морях, развиваемой в Гидрометцентре России с 2010 г., используется модель WaveWatch III v 3.14 [1], относящаяся к третьему поколению спектральных моделей. Расчет характеристик ветрового волнения осуществляется путем интегрирования уравнения для спектральной плотности волнового действия $N(f, \theta; \lambda, \varphi, t)$, являющейся функцией частоты $f = \sigma / 2\pi$, направления распространения θ , географических координат (α, ϕ) и времени t .

Получаемая в результате расчетов спектральная плотность волнового действия $N(f_l, \theta_k; \lambda, \varphi, t)$ для дискретных значений частоты $f_l = \sigma_l / 2\pi$ (25 значений с шагом $\Delta\theta = 15^\circ$) и направления θ_k (24 значения от 0,042 Гц до 0,37 Гц) служит исходной для определения производных величин, представляющих практический интерес для потребителей морской информации. Таких как высота значительных волн (англ. significant wave height, SWH), средние по спектру периоды и длины волн, направления распространения ветровых волн и волн зыби, пиковые частоты волн и др.

Расчетная область той части прогностической системы, которая обеспечивает составление прогнозов для акватории Мирового океана, построена по данным цифрового массива ETOPO1. Расчет проводится на регулярной широтно-долготной сетке с шагами $\Delta\lambda = 0,5^\circ$, $\Delta\varphi = 0,5^\circ$ ($\sim 50 \times 50$ км) для основной части области, $\varphi = 87^\circ$ ю.ш. $\div$ 78° с. ш., и на сопряженной с основной сетке с шагами $\Delta\lambda = 0,25^\circ$, $\Delta\varphi = 0,1^\circ$ ($\sim 10 \times 10$ км) для Арктического бассейна, $\varphi = 66^\circ \div 83^\circ$ с.ш.

В качестве источника метеорологических данных, требуемых для интегрирования волновой модели, используется продукция двух глобальных прогностических моделей, ПЛАВ и GFS. Полулагранжева модель ПЛАВ [2] с 2009 г. является основной моделью среднесрочного метеорологического прогноза в Гидрометцентре России. Горизонтальное разрешение метеорологических полей составляет $\sim 0,9^\circ \times 0,7^\circ$; дискретность по времени 3 часа. Выходная продукция прогностической системы Global Forecasting System (GFS), функционирующей в метеорологическом центре NCEP/NOAA (США) [3], поступает в оперативном режиме в Гидрометцентр России по специализированным каналам. Горизонтальное разрешение этих данных составляло $\sim 0,2^\circ \times 0,2^\circ$ (~ 27 км) до 14.01.2015 и $\sim 0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (~ 13 км) с 15.01.2015; дискретность по времени 3 часа. Дублирование источников метеорологического прогноза предусмотрено для повышения надежности функционирования системы прогнозирования волнения. При поступлении оперативных данных из нескольких метеорологических систем приоритет отдается продукции с более высокими характеристиками оправдываемости прогнозов полей ветра по данным регулярного мониторинга их качества.

Ледовый покров (сплоченность морского льда) предполагается неизменным на интервале времени прогноза и задается по оперативным данным NCEP/NOAA.

Прогноз ветрового волнения составляется ежесуточно на 120 часов (5 суток) вперед от начального срока 00 час всемирного скоординированного времени. В качестве начальных условий для интегрирования волновой модели в каждом прогностическом сеансе использовались данные предшествующего прогноза спектров $N(f, \theta; \lambda, \varphi, t)$ на 24 часа.

Оценки точности прогнозов высот значительных волн SWH в Мировом океане, полученные за период с 1.10.2014 по 30.09.2015 с использованием данных спутниковых альтиметрических зондирований и контактных измерений волновых буев в их сопоставлении с аналогичными оценками для других отечественных и зарубежных систем, свидетельствуют о том, что показатели качества системы Гидрометцентра России в целом превосходят таковые для действующих в оперативном режиме

отечественных систем (ААНИИ, ДВНИГМИ) и согласуются с оценками для зарубежных систем (таблица 1, рис. 1).

Таблица 1. Показатели качества прогнозов высоты волн SWH в Мировом океане, составленных с использованием метеорологических данных GFS и оцениваемых относительно альтиметрических и буйковых данных за период 1.10.2014-30.09.2015

Збл (сутки)	Наблюдательная система	Число сравнений (млн)	СО (м)	СКО (м)	Кор
1	Спутниковая альтиметрия	48,580	0,23	0,53	0,94
	Волновые буй	1,007	0,13	0,47	0,90
2	Спутниковая альтиметрия	48,484	0,23	0,56	0,94
	Волновые буй	1,003	0,14	0,49	0,89
3	Спутниковая альтиметрия	48,309	0,23	0,61	0,92
	Волновые буй	1,001	0,14	0,52	0,88
4	Спутниковая альтиметрия	48,173	0,22	0,68	0,90
	Волновые буй	0,997	0,14	0,56	0,85
5	Спутниковая альтиметрия	48,033	0,21	0,78	0,86
	Волновые буй	0,993	0,14	0,61	0,82

Примечания: Збл – заблаговременность прогноза, СО – средняя ошибка (смещение), СКО – среднеквадратичная ошибка, Кор – коэффициент корреляции фактических и прогностических значений.

Рис. 1. Среднеквадратичная ошибка в метрах (а) и коэффициент корреляции фактических и прогностических значений высоты значительных волн (б) в зависимости от заблаговременности прогнозов для системы Гидрометцентра России (линии) и диапазон изменчивости указанных характеристик для прогнозов десяти зарубежных центров [5] (заливка). По данным волновых буйев за январь–март 2015 г.

Аналогичные по составу подсистемы прогнозирования характеристик ветрового волнения с более высоким пространственным разрешением действуют и для отдельных морских бассейнов (Черного, Азовского, Каспийского, Балтийского, Баренцева, Белого морей) [4]. Необходимые для таких детализированных прогнозов условия на жидких границах Баренцева моря задаются по данным расчетов для Мирового океана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tolman H.L. User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 276. 2009. 194 pp. + Appendices [Available at <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>].
2. Толстых М.А. Полулагранжева модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. 2001. No. 4. С. 5–16.
3. Product Description Document: NCEP Model Analyses & Guidance. July 2013. http://products.weather.gov/PDD/NCEP_PDD_MAG.pdf
4. Зеленко А.А., Струков Б.С., Реснянский Ю.Д., Мартынов С.Л. Система прогнозирования ветрового волнения в Мировом океане и морях России // Труды ГОИН. Исследования океанов и морей. 2014. Вып. 215. С. 90–101.
5. Intercomparison of operational wave forecasting systems against buoys: January 2015 to March 2015 JCOMM. May 2015 // <http://www.jcomm.info>.