

СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ АКВАТОРИЙ АЗОВСКОГО, ЧЕРНОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ

Введение

С 2010 года в ФГБУ «Гидрометцентр России» осуществляется поэтапное введение в эксплуатацию компонентов системы, предназначенной для оперативного прогнозирования ветрового волнения в Мировом океане и в морях России: Черном, Азовском, Каспийском, Балтийском, Баренцевом, Белом. Система, разработанная в ходе осуществления подпрограммы ЕСИМО ФЦП «Мировой океан», обеспечивает прогнозирование характеристик ветрового волнения (высоты значительных волн; англ. significant wave height, SWH), среднего направления распространения, средней длины, среднего периода, высоты и направления распространения ветровых волн, высоты и направления распространения волн зыби) на сроки до 5 суток.

Прогнозы составляются на основе расчетов по спектральной модели ветрового волнения с использованием метеорологической прогностической информации. На первом этапе внедрения системы прогнозирования характеристик ветрового волнения проведены испытания для акваторий Азовского, Черного и Каспийского морей.

1. Прогностическая модель

Расчетным ядром прогностической системы служит открытый программный код спектральной модели ветрового волнения WaveWatch III v 3.14 [16], которая относится к моделям третьего поколения, основанным на решении сеточными методами уравнения баланса спектрального волнового действия в приближении фазового осреднения. В модели учитываются основные процессы развития волн под действием ветра, перераспределение энергии по спектру вследствие нелинейных взаимодействий, процессы ослабления волн из-за донного трения, обрушения, рассеяния энергии на донных неоднородностях. Допускается учет влияния течений, приливов, островов подсеточного масштаба и ледового покрова. Предусматривается возможность построения вложенных сеток с меняющимся разрешением

в различных областях и с автоматическим связыванием расчетного процесса на границах областей. Реализуется распараллеливание вычислений средствами OpenMP и средствами MPI.

Программный код волновой модели позволяет по входным данным (скорости приводного ветра, скорости поверхностного течения, уровня воды и разности температур вода–воздух, сплоченности морского льда) рассчитывать изменения со временем спектральной плотности распределения дисперсии отклонений поверхности моря. По известной спектральной плотности определяются производные величины, представляющие практический интерес для потребителей морской информации, такие как высота значительных волн (SWH), средняя длина волн, средний период, направление распространения волн и т.д.

Из множества предлагаемых в пакете WaveWatch III вариантов описания различных механизмов развития и эволюции волн выбран вариант параметризации ветрового воздействия и диссипации WAM4 с набором параметров BAJ [16]. Расчеты проводятся на регулярной двумерной сетке по пространству, регулярной сетке по направлениям волн и логарифмической сетке по частотам волн. Дискретные значения частот определяются рядом из 25 членов геометрической прогрессии со знаменателем 1.1 и начальным значением 0,042 Гц. Направления распространения от 0 до 360° дискретизируются с шагом 15° (24 направления). Для прогностических расчетов используется конфигурация модели с вложенными сетками, позволяющая детализировать прогноз для отдельных частей морских бассейнов (мелководных акваторий, заливов, проливов и т.д.).

Помимо расчетного ядра, система включает в себя средства конфигурирования расчетных областей, подготовки входной информации и представления прогностической продукции на Web сайте и в системе распределенных баз данных (СРБД) ЕСИМО.

2. Расчетные области

Расчетные области, аппроксимирующие конфигурацию берегов и батиметрию реальных морских бассейнов, в прогностической модели определяются на регулярных широтно-долготных сетках. Необходимые для проведения расчетов батиметрия и соответствующая ей маска суша–море для каждого из бассейнов построены с использованием навигационных карт, а также данных ресурсов GEBCO [17], ETOPO и GSHSS, с разрешением, соответствующим масштабу карты 1:250000 [18].

Основные характеристики расчетных конфигураций системы прогнозирования ветрового волнения представлены в табл. 1. Курсивом в таблице выделены опции, которые не использовались при испытаниях системы.

Таблица 1

Морские бассейны и расчетные сетки в системе прогнозирования ветрового волнения

Основной бассейн	Вложенные регионы	Сетка	Заблаговременность / дискретность, ч	Прогноз ветра
Черное море	Черное море	6,0'×6,0' (~10 км)	120/3	<i>ПЛАВ</i> , GFS
	Азовское море	1,2'×1,2' (~2 км)	120/3, 48/3	<i>ПЛАВ</i> , GFS, <i>COSMO</i>
	Керченский пролив	0,3'×0,3' (~0,5 км)	24/1	<i>COSMO</i>
Каспийское море	Каспийское море	3,6'×3,6' (~6 км)	120/3	<i>ПЛАВ</i> , GFS
	Северный Каспий	1,2'×1,2' (~2 км)	120/3	<i>ПЛАВ</i> , GFS

3. Источники входной метеорологической информации

В качестве входной информации для прогнозирования характеристик волнения используются прогностические поля скорости ветра, температуры воды и воздуха, а также сведения о ледовом покрове (сплоченности морского льда). В океанографических приложениях такого рода информация часто называется атмосферным форсингом.

Прогнозы метеорологических полей берутся из нескольких оперативных источников, в их числе продукция двух глобальных прогностических моделей, ПЛАВ и GFS, а также система мезомасштабного прогнозирования COSMO-RU. Полулагранжева модель ПЛАВ, разработанная в Гидрометцентре России совместно с ИВМ РАН [4], решениями ЦМКП Росгидромета от 27.01.2006 г. и от 29.11.2007 г. рекомендована к внедрению в Гидрометцентре России для прогноза полей метеорологических величин в свободной атмосфере и давления на уровне моря [5, 6]. Выходная продукция системы GFS (Global Forecasting System), функционирующей в метеорологическом центре NCEP/NOAA (США), поступает в оперативном режиме в Гидрометцентр России по специализированным каналам. Система мезомасштабного прогнозирования COSMO-RU [1, 3] обеспечивает получение метеорологической информации с более высоким, чем в глобальных моделях, пространственным разрешением.

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. Основные спецификации метеорологических прогностических систем, обеспечивающих поступление оперативных данных атмосферного форсинга для прогнозирования характеристик ветрового волнения, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные характеристики систем прогноза метеорологических полей, продукция которых используется для задания атмосферного форсинга в прогностических расчетах параметров ветрового волнения

Прогностическая система <i>Выпускающий центр</i>	Регион	Разрешение	Стартовые сроки прогноза, ч ВСВ	Заблаговременность прогнозов, ч	Дискретность, ч
ПЛАН <i>Гидрометцентр России</i>	Глобус	~ 0,9°	00, 12	0–120	3
GFS <i>NCEP/NOAA</i>	Глобус	~ 0,2°	00, 06, 12, 18	0–192	3
COSMO-RU07 <i>Гидрометцентр России</i>	ЕТР	~ 7 км	00, 12	0–78	3
COSMO-RU07 <i>Гидрометцентр России</i>	ЕТР	~ 7 км	12, 18	0–24	1

Сведения о сплоченности ледового покрова берутся из Интернет-источников (MMAB/NCEP; Bremen University).

4. Начальные условия и порядок составления прогнозов

Начальные условия для каждого из прогнозов, представляющие собой спектральную плотность распределения дисперсии отклонений поверхности моря в момент старта прогноза, задаются по данным предыдущего суточного прогноза. Разработана также процедура разгона модели из состояния покоя по данным последовательных анализов полей ветра, предшествующих старту прогноза.

Ежедневное составление прогнозов реализуется запуском двух вычислительных задач на ЭВМ Altix 4700 с распараллеливанием вычислений в режиме MPI на 110 процессорах. Расчет ведется на сроки до 120 ч с периодичностью выдачи прогностических результатов 3 ч для представления пользователям и 15 мин для определения показателей оправдываемости.

Для Черного и Азовского морей прогнозы рассчитываются в рамках единой задачи, построенной по технологии multi-grid с разными пространственными шагами сеток (см. табл. 1). Запуск расчетной задачи осуществляется в 4:40 ч ВСВ от стартового срока 00 ч ВСВ. Время счета составляет около 19 мин.

Для Каспийского моря прогноз рассчитывается для всей акватории моря с детализацией расчетов на измельченной сетке в Северном Каспии в рамках единой задачи (табл. 1). Запуск задачи осуществляется в 0:20 ч ВСВ от стартового срока 18 ч ВСВ. Время счета составляет около 29 мин.

Представляемые оценки качества прогнозов рассчитывались за период с 15 апреля по 30 ноября 2011 г., в течение которого составлено 230 прогнозов для каждого из трех морей.

5. Данные измерений и показатели качества прогнозов

Оправдываемость прогнозов определялась путем поточечного сопоставления прогностических значений SWH с данными спутниковых измерений из базы данных RADS (Radar Altimeter Database System), поддерживаемой в Дельфтском институте исследований Земли из космоса (Delft Institute for Earth-Oriented Space research – DEOS) [12]. База пополняется данными измерений со спутников серии «Earth Resources»: Jason-1, Jason-2, Envisat-1, ERS-2. Сетка треков трех из этих спутников в Черноморско-Каспийском регионе и средняя плотность измерений SWH на акватории Черного моря показаны на рис. 1.

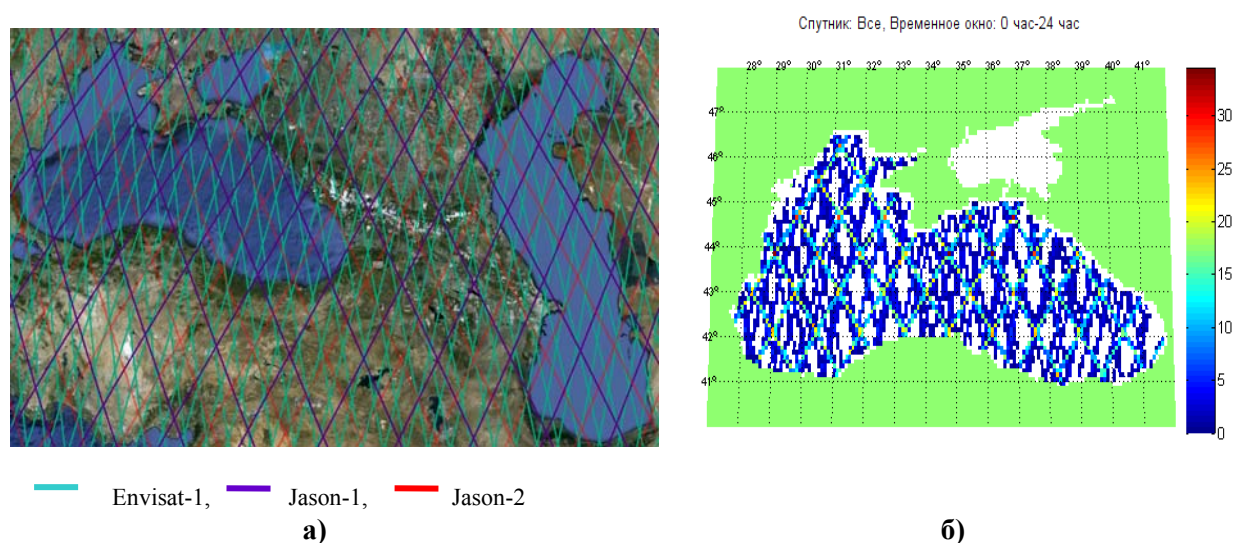


Рис. 1. Положение треков спутников Envisat-1, Jason-1 и Jason-2 в Черноморско–Каспийском регионе (а) и средняя плотность измерений (количество измерений в сутки в ячейках $1^\circ \times 1^\circ$) для Черного моря (б).

Погрешность спутниковых измерений SWH после калибровки, устраняющей смещения, согласно [13], составляет $\max(0,4 \text{ м}, 0,1 \times \text{SWH}_{\text{measured}})$. По данным другого источника [7], средняя ошибка, т.е. смещение, составляет 13–20 см, а относительная

погрешность – 5–8 %. Для дополнительной фильтрации шумов из исходного массива данных отбирались только такие измерения, для которых стандартное отклонение сигнала, регистрируемого свыше 1700 раз в секунду и затем осредненного за интервалы времени в 1 с, не превышало 0,1 м. Из рассмотрения исключались также случаи, для которых модельные или измеренные значения SWH не превышали 0,05 м. В итоге количество наблюдений, использованных для поточечной оценки оправдываемости прогнозов за период испытаний, составило 371 для Азовского моря, 5637 – для Черного моря и 4424 – для Каспийского моря.

Основным показателем качества прогнозов в соответствии с [2] служит общая оправдываемость $P(\%) = (m/n) \cdot 100$, m – число оправдавшихся прогнозов; n – общее число прогнозов. При поточечном сравнении оправдавшимися считались прогнозы, результаты расчетов которых отличались от измерений не более чем на 30 %. Прогнозы волн с высотой до 1 м считались оправдавшимися при любой действительной высоте волн от 0 до 1 м.

Кроме того, рассчитывались средние отклонения прогностических значений SWH от наблюдаемых (смещения), среднеквадратичные ошибки и коэффициенты корреляции между фактическими (измеренными) и прогностическими значениями.

В ходе оперативных испытаний рассчитанные в узлах регулярной сетки прогностические значения SWH путем билинейной интерполяции приводились в подспутниковые точки измерений, в общем случае имеющие произвольные координаты. Так как спутниковые измерения SWH, в отличие от стандартных гидрометеорологических наблюдений, относятся еще и к произвольным моментам времени, то вышеперечисленные показатели качества рассчитывались в суточном временном окне, соответствующем заблаговременности прогнозов от одних до пяти суток.

6. Результаты испытаний

Примеры диаграмм рассеяния, дающих наглядное представление о степени соответствия прогностических и измеренных значений SWH для прогнозов разной заблаговременности, приведены на рис. 2.

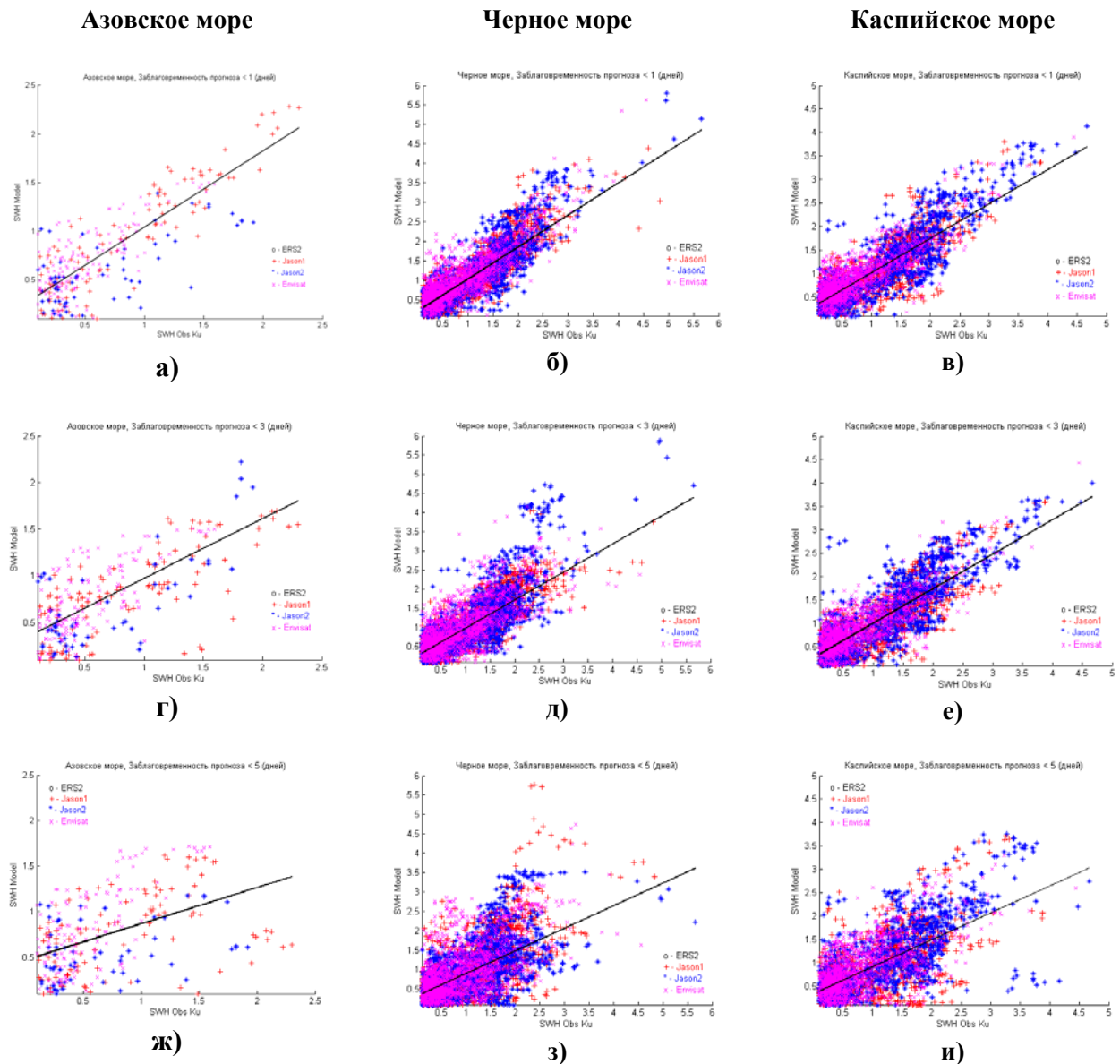


Рис. 2. Диаграммы рассеяния прогностических (по вертикальной оси) и измеренных (по горизонтальной оси) значений SWH за период 15.04 – 30.11 2011 г. на первые (а, б, в), третьи (г, д, е) и пятые (ж, з, и) сутки прогнозов в Азовском, Черном и Каспийском морях. Прямыми линиями показана линейная аппроксимация данных методом наименьших квадратов.

Цифровые показатели качества прогнозов для Азовского, Черного и Каспийского морей приведены в табл. 3. В таблице: ME – средняя ошибка прогнозов (смещение); RMSE – среднеквадратичная ошибка; P – оправдываемость [2]; CW – коэффициент корреляции между прогнозами и наблюдениями; CeWV – коэффициент корреляции между ошибками прогнозов SWH и ошибками прогнозов скорости ветра.

Таблица 3

Показатели качества прогнозов SWH по трём морям за период 15.04–30.11 2011 г.

Сутки прогноза	Количество сравнений с наблюдениями	ME, м	RMSE, м	P, %	CW	CeWV
Азовское море						
1	371	-0,08	0,30	94,6	0,80	0,57
2	371	-0,10	0,30	93,5	0,80	0,57
3	371	-0,14	0,36	90,0	0,70	0,69
4	371	-0,15	0,40	84,9	0,59	0,76
5	371	-0,16	0,45	81,1	0,48	0,82
Черное море						
1	5637	0,01	0,36	87,3	0,87	0,48
2	5637	-0,01	0,40	83,3	0,83	0,57
3	5637	-0,03	0,44	81,3	0,80	0,61
4	5637	-0,04	0,50	76,4	0,74	0,67
5	5637	-0,09	0,56	71,6	0,65	0,71
Каспийское море						
1	4424	-0,05	0,35	87,3	0,85	0,47
2	4424	-0,06	0,36	87,6	0,85	0,52
3	4424	-0,07	0,38	86,1	0,83	0,54
4	4423	-0,07	0,47	78,7	0,75	0,63
5	4424	-0,13	0,49	77,1	0,69	0,62

Как видно из таблицы, абсолютные значения смещений (средних значений ошибок) в течение периода испытаний были сравнительно малы, слегка возрастают с увеличением заблаговременности от 0,01–0,08 до 0,09–0,16 м. В большинстве случаев смещения оставались отрицательными, что свидетельствует о некотором занижении прогностических высот волн в сравнении с измерениями.

Оправдываемость прогнозов SWH, оцениваемая в соответствии с [2], составила 87,3–94,6 % (коэффициент корреляции 0,80–0,85) на первые сутки, 83,3–93,5 % (коэффициент корреляции 0,80–0,85) на вторые сутки, 81,3–90,0 % (коэффициент корреляции 0,70–0,80) на третьи сутки, 76,4–84,9 % (коэффициент корреляции 0,59–0,77) на четвертые сутки и 71,6–81,1 % (коэффициент корреляции 0,48–0,69) на пятые сутки. Среднеквадратичная ошибка прогнозов SWH увеличивалась с ростом заблаговременности от 0,3–0,36 м для первых суток до 0,45–0,56 м для пятых суток.

Снижение качества прогнозов с увеличением заблаговременности в значительной степени определялось увеличением ошибок прогностических данных о скорости ветра,

используемых в качестве входной информации в расчетной модели ветрового волнения. Это подтверждается стабильным увеличением корреляции ошибок прогнозов SWH и ветра с ростом заблаговременности (см. последний столбец табл. 3). Этот результат свидетельствует о том, что можно ожидать повышение оправдываемости прогнозов SWH с повышением качества прогнозов скорости ветра и, кроме того, указывает на перспективность прогностической системы, которая может функционировать в течение ближайших лет без существенных изменений.

7. Сопоставление результатов с другими прогностическими системами

Непосредственное сопоставление испытанной прогностической системы для акваторий Азовского, Черного и Каспийского морей с другими прогностическими системами в их применении к этим же акваториям провести не удастся из-за отсутствия сведений о сертификации и показателях качества таких систем.

В литературных источниках, однако, можно найти сведения о показателях качества прогнозов ветрового волнения для других морских бассейнов. В табл. 4 приведены среднеквадратичные ошибки и коэффициенты корреляции между прогнозами и наблюдениями для некоторых аналогичных зарубежных прогностических систем, основанных на использовании спектральных моделей ветрового волнения.

Как видно из таблицы, показатели качества испытанной прогностической системы в терминах среднеквадратичной ошибки и коэффициента корреляции сопоставимы с таковыми для известных по литературным источникам зарубежных систем.

Таблица 4

Среднеквадратичные ошибки RMSE и коэффициенты корреляции CW между прогностическими и наблюдаемыми значениями SWH для некоторых зарубежных прогностических систем

Ссылка	Регион	Модель	RMSE, м	CW
Silva F. Sansana et al, 2009 [14]	Прибрежные зоны Пиренейского п-ва	Wavewatch III SWAN	0,25–0,58	
Li Jian-Guo et al, 2007 [11]	Северная Атлантика	NAEW	0,646	0,88
Janssen P. et al, 1997 [10]	Мировой океан	WAM	0,2–1,0	0,95–0,2
Da Rocha R. P. et al, 2003 [9]	Прибрежные зоны Бразилии	WaveWatch III	0,66–1,59	0,7–0,86
Chu P. C. et al, 2004 [8]	Южно-Китайское море	WaveWatch III	0,38–0,65	0,55–0,95
Sølvsteen C., Hansen C., 2006 [15]	Прибрежные воды Дании	WaveWatch III	0,35–0,45	

В терминах оправдываемости прогнозов, определяемой согласно [2], оказывается возможным сравнение с методом прогноза ветрового волнения в арктических морях (ФГБУ «АНИИ», авторы – В.В. Алексеев, В.И. Дымов, Т.А. Пасечник, Н.П. Яковлева). Оценки оправдываемости этого метода, рассматривавшиеся на заседании ЦМКП 26.10.2010 г., определялись на основе сравнения со спутниковыми данными Jason-1, Jason-2, Envisat, Cryosat-2 в 10 точках арктических морей за более длительный, по сравнению с испытаниями данной системы, период (01.2008–07.2010 гг.), из которого исключены временные интервалы с наличием льда. Эти оценки приведены в табл. 5 вместе с оценками представляемой системы.

Как видно из таблицы, оправдываемость испытанного метода превосходит оправдываемость метода ФГБУ «АНИИ». Следует, однако, иметь в виду, что сопоставление с методом АНИИ может рассматриваться лишь как ориентировочное, так как приводимые оценки относятся к разным морским бассейнам, получены для различных периодов испытаний и могут различаться техникой отбора спутниковых данных и их сравнения с прогнозами.

Таблица 5

Оправдываемость прогнозов SWH(%) согласно [2] по результатам испытаний метода АНИИ для арктических морей и системы Гидрометцентра России для Азовского, Черного и Каспийского морей

Период прогноза	Метод АНИИ по результатам испытаний за 01.2008–07.2010 г.	Система Гидрометцентра России по результатам испытаний за 04–11.2011 г.
на 24 ч	71	87,3–94,6
на 48 ч	70	83,3–93,5
на 72 ч	68	81,3–90,0

Выводы и рекомендации о внедрении

- В Гидрометцентре России разработана автоматизированная система прогнозирования характеристик ветрового волнения для акваторий Азовского, Черного и Каспийского морей.
- Система обеспечивает прогнозирование характеристик ветрового волнения (SWH, среднего направления распространения, средней длины, среднего периода, высоты и направления распространения ветровых волн, высоты и направления распространения волн зыби) на сроки до 5 суток.

- Проведены испытания прогностической системы в период 15.04 –30.11 2011 г. Оценка качества прогнозов осуществлялась на основе сопоставления с данными спутниковых измерений SWH из базы RADS.

- Оправдываемость прогнозов SWH в указанный период составила для этих трех морей 87,3–94,6 % (коэффициент корреляции 0,80–0,85) на первые сутки, 83,3–93,5 % (коэффициент корреляции 0,80–0,85) на вторые сутки, 81,3–90,0 % (коэффициент корреляции 0,70–0,80) на третьи сутки, 76,4 – 84,9 % (коэффициент корреляции 0,59–0,77) на четвертые сутки и 71,6 – 81,1 % (коэффициент корреляции 0,48–0,69) на пятые сутки.

- Ухудшение качества прогнозов с увеличением заблаговременности в значительной мере определяется снижением точности прогнозов ветра. Это подтверждается стабильным увеличением корреляции ошибок прогнозов SWH и ветра. Таким образом, можно ожидать повышение оправдываемости прогнозов SWH с улучшением прогнозов скорости ветра.

- Показатели качества прогнозов в терминах среднеквадратичной ошибки и коэффициента корреляции сопоставимы с таковыми для известных по литературным источникам зарубежных систем.

- Показатели качества прогнозов в терминах оправдываемости (как она определяется в [2]) превосходят таковые для отечественных систем, аналогичных по способу составления прогнозов.

В соответствии с решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета от 27 марта 2012 г. разработанная оперативная технология прогнозирования характеристик ветрового волнения для акваторий Азовского, Черного и Каспийского морей рекомендована для оперативного использования в ФГБУ «Гидрометцентр России» в качестве основного метода.

Список литературы

1. Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А. Система COSMO-RU негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 8. – С. 5–20.
2. РД 52.27.759–2011. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. – М.: Триада, лтд, 2011. – 201 с.
3. Ривин Г.С., Розинкина И.А., Багров А.Н., Блинов Д.В. Мезомасштабная модель COSMO-RU07 и результаты ее оперативных испытаний // Информационный сборник № 39. – 2011. – С. 15–48.

4. Толстых М.А. Полулагранжева модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 4. – С. 5–16.

5. Толстых М.А., Буддовский Г.С. Усовершенствованный вариант глобальной полулагранжевой модели прогноза полей метеозадающих элементов в версии с постоянным разрешением заблаговременностью до 10 суток (автор – М.А. Толстых; Гидрометцентр РФ, Институт вычислительной математики РАН) и результаты его оперативных испытаний // Информационный сборник № 34. – 2007. – С. 24–48.

6. Толстых М.А., Горлач И.А., Багров А.Н., Веселова Г.К., Малинская Г.В., Шаколько Е.Н. Прогноз осадков по регионам внетропической зоны Северного полушария на срок до 72 часов на основе полулагранжевой модели атмосферы с постоянным разрешением ПЛАВ-2005 (авторы – М.А. Толстых, А.В. Шляева) и результаты его оперативных испытаний по регионам России // Информационный сборник № 36. – 2008. – С. 4–42.

7. Abdalla S., Janssen P.A.E.M., Bidlot J.R. Jason-2 Wind and Wave Products: Random Error Estimation // ECMWF Technical Memorandum. – 2010. – No. 639. – 13 p.

8. Chu P.C., Qi Y., Chen Y., Shi P., Mao Q. South China Sea Wind-Wave Characteristics. Part I: Validation of Wavewatch-III Using TOPEX/Poseidon Data // J. Atm. Ocean. Tech. – 2004. – Vol. 21. – P. 1718–1733.

9. Da Rocha R.P., Sugahara S., Da Silveira R.B. Sea Waves Generated by Extratropical Cyclones in the South Atlantic Ocean: Hindcast and Validation against Altimeter Data // Weather and forecasting. – 2003. – Vol. 19. – P. 398–410.

10. Janssen P., Hansen B., Bidlot J.-R. Verification of the ECMWF Wave Forecasting System against Buoy and Altimeter Data // Weather and forecasting. – 1997. – Vol. 12. – P. 763–784.

11. Li J.-G., Holt M. Validation of a regional wave model with envisat and buoy observations // Proc. ‘Envisat Symposium 2007’, Montreux, Switzerland 23–27 April 2007 (ESA SP-636, July 2007).

12. Naeije M., Scharroo R., Doornbos E., Schrama E. Global Altimetry Sea-level Service: GLASS. NIVR/SRON GO project: GO 52320 DEO, 2008. – 107 p.

13. Picot N., Case K., Desai S., Vincent P. AVISO and PODAAC User Handbook. IGDR and GDR Jason Products // SMM-MU-M5-OP-13184-CN (AVISO), JPL D-21352 (PODAAC), 2003. – 107 p.

14. Silva F. S., Pinto J. P., Almeida S. Operational Wave Forecasting System for the Portuguese Coast // Journal of Coastal Research. – 2009. – SI 56 (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium). – P. 1055–1059.

15. Sølvsteen C., Hansen Carsten. Validation of the operational wave models WAVEWATCH-III and Mike21-OSW against satellite altimetry and coastal buoys, 2006.

16. Tolman H.L. User manual and system documentation of WaveWatch III version 3.14. NOAA /NWS/NCEP / MMAB Technical Note 276, 194 pp + Appendices. – 2009. – (<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>).

17. Ward R. General Bathymetric Charts of the Ocean // Hydro International. – 2010. – Vol. 14, No. 5.

18. Wessel P., Smith W.H.F. A global, self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline database // J. Geophys. Res. – 1996. – Vol. 101(B4). – P. 8741–8743.