

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГНОЗА ПОЛЕЙ ВЕТРА ПО ГЛОБАЛЬНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ ГИДРОМЕТЦЕНТРА РОССИИ НА АКВАТОРИИ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

А.А. Лукин, С.А. Мысленков, Л.К. Храмова

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
lukin@mecom.ru, stassas@rambler.ru

Введение

Северная Атлантика – это район интенсивной хозяйственной деятельности человека, поэтому здесь особенно важен надежный прогноз ветра и напрямую зависящий от него прогноз ветрового волнения. В настоящее время выходные данные прогностических барических полей и полей ветра, рассчитанных с помощью атмосферных гидродинамических моделей, являются основой для гидродинамических волновых моделей. Диагноз и прогноз ветрового волнения представляет большой интерес для мореплавания, рыболовства, гидротехнического строительства, добычи нефти и газа на шельфе и других видов морской деятельности. С практической точки зрения наиболее важен прогноз опасных ветровых волн, которые способны нанести большой материальный ущерб и вызвать гибель людей.

Оценка качества большинства глобальных атмосферных гидродинамических моделей, прогнозирующих основные метеорологические величины, производится на основе данных объективного анализа, включающего, в основном, данные метеорологических станций на суше, поскольку количество наблюдений в океанах невелико. Качество воспроизведения моделями метеорологических величин над акваторией океана практически не оценивается.

В данной работе выполнена оценка успешности прогнозов полей ветра, рассчитанных на основе глобальной спектральной модели Гидрометцентра России Т85L31 и её модификации Т169L31 [7, 8] для акватории Северной Атлантики. Оценка успешности прогнозов была получена на основе сравнения фактических данных направления и скорости ветра, получаемых с заякоренных буйев, с прогностическими полями ветра за период с июня 2009 по июнь 2010 г.

Кроме того, оценивалась успешность прогнозов полей ветра для различных секторов штормовых циклонов, вызвавших на акватории океана опасное ветровое волнение (к опасным относятся волны, высота которых в открытом океане составляет 8 м и более [6]).

Получена оценка ошибок прогноза максимальной высоты ветровых волн за счет ошибок прогноза поля ветра.

Характеристики спектральной модели Гидрометцентра России T85L31 и её модификации T169L31

В 2000 году в Гидрометцентре России была введена в оперативную эксплуатацию прогностическая система на базе спектральной модели общей циркуляции атмосферы высокого пространственного разрешения T85L31 (треугольное усечение рядов по 85 сферическим функциям, горизонтальное разрешение $1,4^\circ$, по вертикали толща атмосферы разбита на 31 слой от поверхности Земли до высоты 10 гПа, к их серединам предписаны основные счетные σ -уровни). По вертикали координатная сетка неоднородна (ее разрешение увеличивается при приближении к подстилающей поверхности), пограничный слой атмосферы описывают 7-8 счетных уровней. Область интегрирования – глобус. Для расчета метеорологических полей используется система уравнений гидротермодинамики бароклинной атмосферы [3, 7, 8].

Начиная с декабря 2007 года в режиме опытной, а с 2010 года – оперативной эксплуатации работает новая версия глобальной спектральной модели атмосферы T169L31 (усечение по 169 сферическим функциям, шаг вычислительной сетки в 2 раза меньше, около $0,7^\circ$). Прогнозы выпускаются ежедневно от сроков за 00 и 12 ч и попадают в пользовательские базы данных Гидрометцентра России.

Для оценки успешности прогнозов полей ветра в данной работе использовались прогнозы с заблаговременностью от 6 до 84 ч.

Методика оценки успешности прогноза поля ветра в Северной Атлантике

В первую очередь было произведено накопление фактических и прогностических данных по ветру на акватории Северной Атлантики. В течение года с июня 2009 по июнь 2010 года производился сбор и архивирование фактических данных по скорости и направлению ветра с океанских заякоренных буёв. Сбор данных производился с помощью программы NABL, предназначенной для сбора и архивирования фактических гидрометеорологических данных с метеостанций и буёв.

При выборе заякоренных буёв были учтены следующие требования: максимально охватить фактическими наблюдениями акваторию океана по площади (для выявления влияния на качество прогнозов ветра, удалённости районов океана от береговой линии и

особенностей режимов ветра различных климатических поясов). Также учитывалась равномерность их распределения на данной территории. С учётом этих требований были выбраны 19 буёв (рис.1).

Заявленная точность измерений на буях для скорости ветра $\pm 0,1$ м/с, направления ветра – $\pm 10^\circ$ [10]. Данные скорости ветра имеют осреднение по времени 8 мин, а для направления 10 мин. Выборка фактических данных была произведена для сроков 00, 06, 12, и 18 ч ВСВ каждых суток, так как впоследствии производилось их сравнение с прогностическими полями ветра, рассчитываемыми обеими версиями модели с интервалами в 6 ч. Заякоренные буи уже использовались для оценки качества прогнозов волнения и ветра [9].

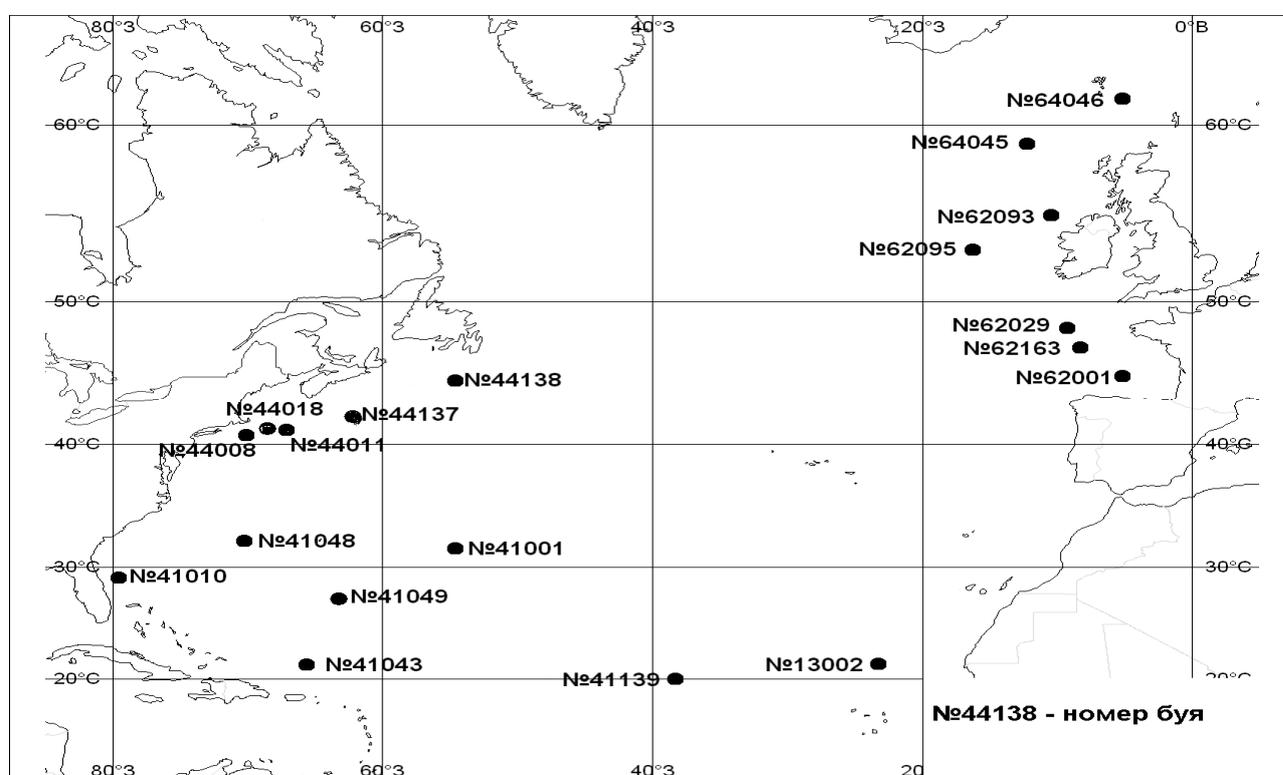


Рис. 1. Схема расположения заякоренных буёв, по данным которых производилась оценка качества прогнозов ветра.

При накоплении фактических данных по ветру производился контроль качества данных, который основывался на сопоставлении архивируемых данных с синоптической ситуацией, складывающейся в районах расположения буев. Данные по ветру, не соответствующие синоптической ситуации, не учитывались при оценке качества прогнозов.

Одновременно со сбором фактических данных производилось архивирование полей меридиональной и зональной составляющих скорости ветра на высоте 10 м по обеим

версиям модели для сроков 00 и 12 ч ВСВ с заблаговременностью от 0 до 84 ч с интервалом в 6 ч.

Для оценки успешности прогнозов полей ветра была написана программа на языке Fortran, с помощью которой выходные данные модели линейно интерполировались с 4-х ближайших узлов сетки в точку расположения каждого из выбранных буёв, и далее, путем сравнения фактических и прогностических данных, производилась оценка успешности прогнозов полей ветра.

Оценка успешности прогнозов полей ветра производилась согласно Методическим указаниям [5] для следующих статистических характеристик:

- средняя абсолютная ошибка прогноза вектора ветра (м/с)

$$\bar{\delta}_V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\bar{V}_I - \bar{V}_O|_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\sqrt{(u_I - u_O)_i^2 + (v_I - v_O)_i^2} \right);$$

- средняя абсолютная ошибка прогноза направления ветра (градусы)

$$\delta_{dd} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |dd_{II} - dd_{\Phi}|_i;$$

- средняя абсолютная ошибка прогноза скорости ветра (м/с)

$$\delta_V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_{II} - V_{\Phi})_i;$$

- средняя систематическая ошибка прогноза скорости ветра (м/с)

$$\hat{\delta}_V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_I - V_O)_i;$$

- средняя квадратическая ошибка прогноза вектора ветра (м/с)

$$\bar{\sigma}_V = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{V}_I - \bar{V}_O)_i^2},$$

где N – общее количество прогнозов; V – вектор скорости ветра; u и v – зональная и меридиональная составляющие скорости ветра; dd – направление ветра, подстрочные индексы «п» и «ф» означают соответственно прогностические и фактические значения.

Результаты оценки качества прогнозов полей ветра на основе двух версий модели

На основе проведенных расчетов была составлена табл. 1, где представлены осредненные значения всех характеристик успешности прогнозов ветра для всех сезонов от 00 и 12 ч ВСВ. Также были составлены таблицы характеристик успешности прогнозов

скорости и направления ветра для центральных месяцев четырех сезонов года. Для этого были выбраны фактические и прогностические данные для июля и октября 2009, января и апреля 2010 года.

Таблица 1

Статистические характеристики успешности прогноза скорости и направления ветра, осредненные по сезонам года

Заблаговременность, ч	Кол-во прогнозов		Средняя абсолютная ошибка прогноза вектора ветра (м/с)		Средняя абсолютная ошибка прогноза направления ветра, (°)		Средняя абсолютная ошибка прогноза скорости ветра (м/с)		Средняя систематическая ошибка прогноза скорости ветра (м/с)		Средняя квадратическая ошибка прогноза вектора ветра	
	T85L31	T169L31	T85L31	T169L31	T85L31	T169L31	T85L31	T169L31	T85L31	T169L31	T85L31	T169L31
6	3508	3493	4,27	4,28	34,6	34,3	2,02	2,03	0,73	0,93	4,77	4,77
12	3508	3493	3,58	3,51	30,7	29,7	1,82	1,72	-0,32	-0,05	4,10	4,04
18	3505	3490	3,54	3,56	30,2	30,3	1,82	1,78	-0,26	-0,01	4,10	4,13
24	3505	3460	3,64	3,61	31,4	30,8	1,87	1,81	-0,22	0,07	4,22	4,21
30	3502	3363	3,74	3,71	31,3	32,9	1,97	1,89	-0,27	0,03	4,34	4,32
36	3502	3425	3,90	3,88	33,0	32,8	1,99	1,93	-0,19	0,16	4,52	4,50
42	3499	3422	4,01	3,95	33,2	32,9	2,07	1,99	-0,12	0,18	4,67	4,63
48	3499	3422	4,19	4,12	34,7	34,1	2,14	2,05	-0,12	0,22	4,84	4,80
54	3496	3419	4,31	4,26	35,7	34,8	2,18	2,15	-0,09	0,24	5,00	4,98
60	3496	3404	4,49	4,44	37,1	36,9	2,28	2,19	-0,07	0,27	5,19	5,19
66	3493	3401	4,67	4,60	38,5	37,4	2,37	2,31	-0,06	0,24	5,39	5,34
72	3493	3386	4,85	4,79	39,9	39,6	2,41	2,34	-0,07	0,23	5,59	5,57
78	3489	3382	5,04	4,97	41,3	40,7	2,46	2,43	-0,05	0,23	5,75	5,71
84	3489	3382	5,24	5,11	43,8	41,8	2,53	2,46	-0,09	0,21	6,00	5,91

Средняя абсолютная ошибка прогноза вектора ветра по двум версиям модели лежит в пределах 3,51–5,24 м/с, причем наименьшие ошибки характерны для прогнозов с заблаговременностью 12–18 часов, которые далее плавно увеличиваются (табл. 1). Прогноз на 6 ч имеет более низкое качество, что можно объяснить процессом приспособления модели к начальным данным. Средние ошибки прогноза направления ветра лежат в пределах 30-40° и повторяют тенденции абсолютной ошибки прогноза вектора ветра. Систематические ошибки прогноза скорости ветра для обеих версий модели невелики, но модель T85L31 несколько занижает, а T169L31 завышает скорость ветра.

На основе [5] были составлены таблицы повторяемости средней абсолютной ошибки прогноза направления ветра для следующих градаций: 0–30°, 31–60°, 61–90°, >90°. В табл. 2

представлены данные о повторяемости средней абсолютной ошибки направления, осредненные для четырех сезонов по всем буям.

Таблица 2

Повторяемость средней абсолютной ошибки прогноза направления ветра, осредненная по всем сезонам года

Срок, ч	Кол-во прогнозов		Повторяемость (%)							
			0-30°		31-60°		61-90°		>90°	
	T85L31	T169L31	T85L31	T169L31	T85L31	T169L31	T85L31	T169L31	T85L31	T169L31
06	3508	3493	60	61	25	25	7	7	7	7
12	3508	3493	70	72	16	15	5	5	8	7
18	3505	3490	71	71	16	16	6	6	8	8
24	3505	3460	70	71	16	16	6	6	9	8
30	3502	3363	69	70	17	16	6	7	8	8
36	3502	3425	67	69	18	16	6	6	9	9
42	3499	3422	66	67	19	18	6	7	9	9
48	3499	3422	64	65	20	18	7	8	10	9
54	3496	3419	63	65	20	18	7	7	10	10
60	3496	3404	61	61	21	20	8	7	11	11
66	3493	3401	59	62	21	20	9	7	11	11
72	3493	3386	57	58	22	21	9	9	12	12
78	3489	3382	55	57	22	22	10	9	13	12
84	3489	3382	52	56	23	21	10	10	14	13

Из таблицы повторяемости ошибки направления видно, что для всех сроков в 50-70 % случаев ошибка прогноза направления ветра не превышает 30°, а более значительные ошибки встречаются заметно реже.

На рис. 2 приведены примеры сравнения фактической скорости ветра и прогностической для модели T169L31. Графики представлены для двух буюв, расположенных в разных частях исследуемого района (рис. 1). Буи выбраны с учетом того, что прогноз ветра для района расположения буя № 41139 имеет наилучшую оправдываемость, а для буя №41001 – наихудшую.

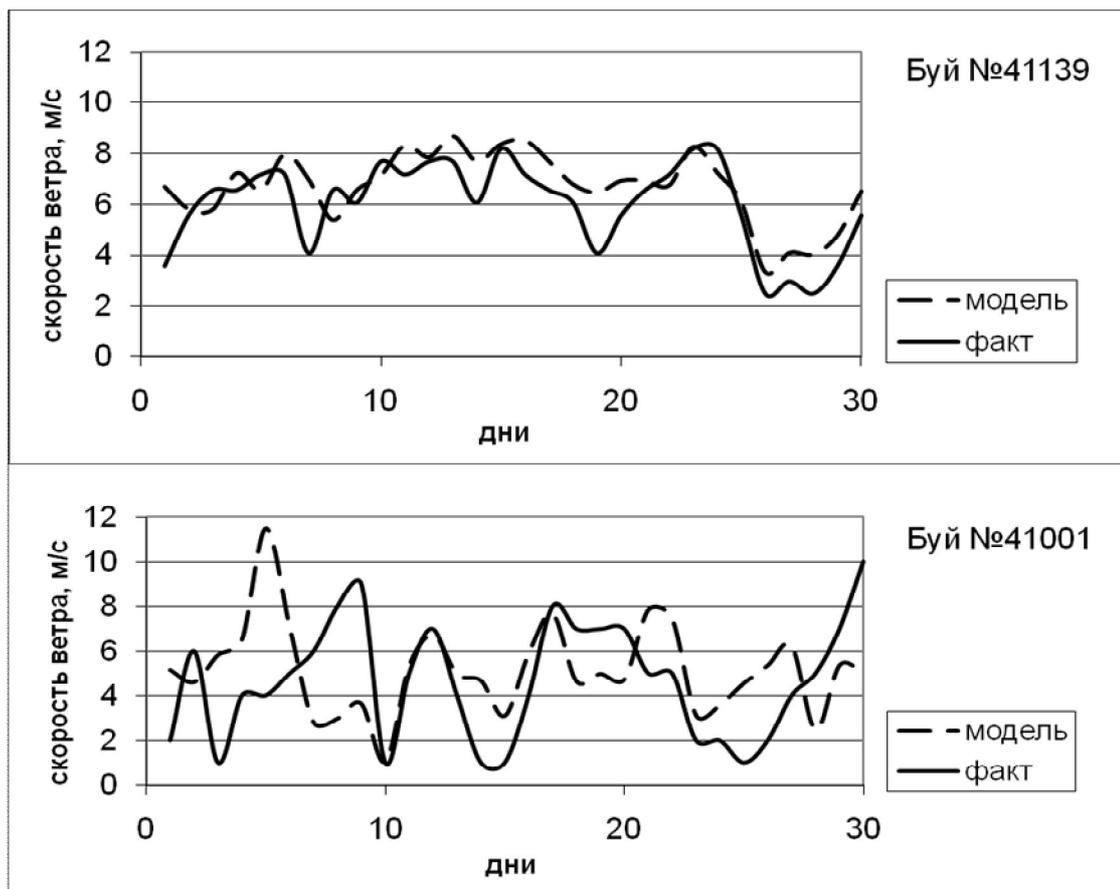


Рис. 2. График сравнения фактических данных скорости ветра с данными прогноза на 18 ч по модели T169L31.

Как видно из графиков (рис. 2), модель достаточно качественно воспроизводит скорость ветра для буйа №41139, расположенного в пассатной зоне, и заметно хуже результат для буйа №41001, расположенного ближе к зоне активной циклонической деятельности. Такой результат может быть связан с различиями в режимах ветра. Для района расположения буйа №41001 характерны довольно резкие изменения во времени направления и скорости ветра, а для района расположения буйа №41139 свойственны ветры, более постоянные по направлению и скорости, что характерно для пассатной зоны.

Для оценки влияния на качество прогноза особенностей режимов ветра в различных зонах океана дальнейший анализ ошибок прогноза приводится для трех зон океана: пассатной, западной и восточной.

Рассматривается зависимость величины абсолютной ошибки скорости ветра от заблаговременности прогноза, района океана и сезона года. На рис. 3 представлена

зависимость абсолютной ошибки скорости ветра от заблаговременности прогноза и района океана для модели T85L31.

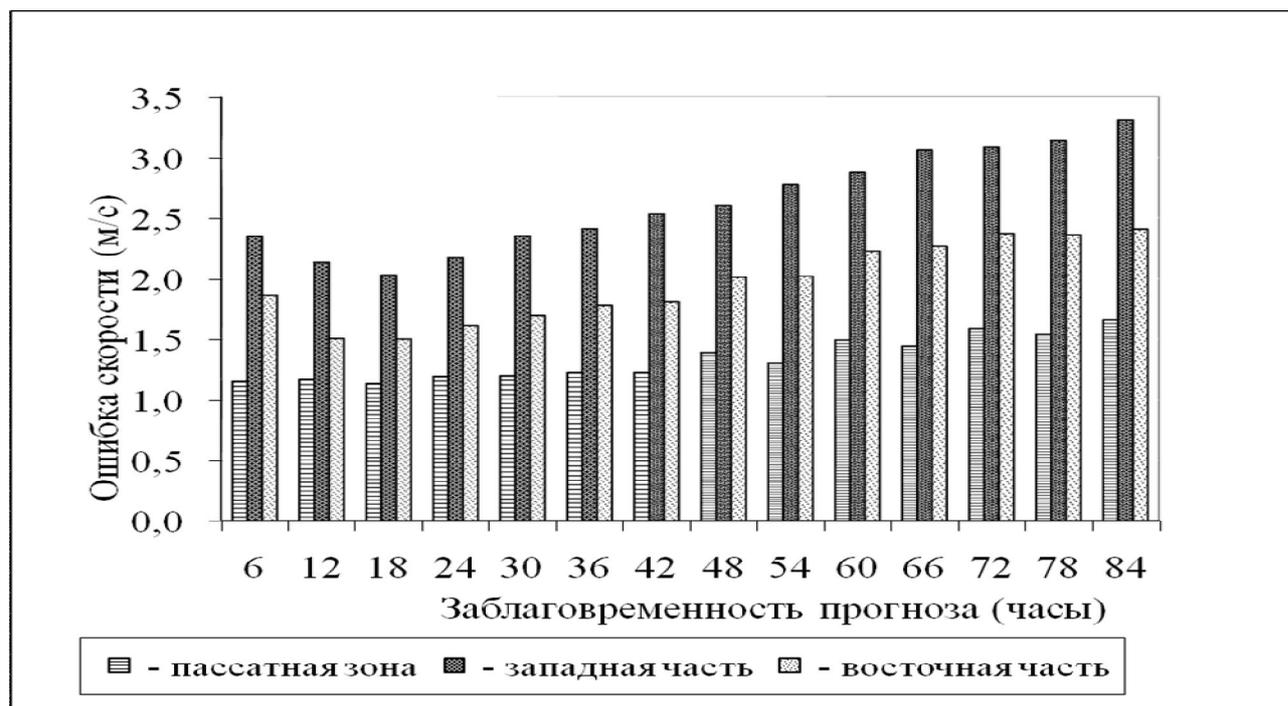


Рис. 3. Гистограмма зависимости абсолютной ошибки прогноза скорости ветра от заблаговременности прогноза и района океана для модели T85L31.

Абсолютная ошибка прогноза скорости ветра имеет максимальное значение (2–3 м/с) в западной части океана, а минимальное (1,0–1,7 м/с) – в пассатной зоне. Значение ошибки в восточной части океана занимает промежуточное положение. Для модели T169L31 ошибка скорости ведет себя аналогично, но абсолютные значения несколько ниже (табл. 1).

Зависимость абсолютной ошибки направления ветра от заблаговременности прогноза и района океана представлена на рис. 4 и в целом соответствует распределению ошибки скорости.

В пассатной зоне абсолютная ошибка направления минимальна и составляет 20–25°, в западной части океана имеет максимальное значение, которое колеблется в пределах от 30° до 50°, в восточной части, как и для скорости, ошибка направления занимает промежуточное положение.

Зависимость абсолютной ошибки прогноза скорости и направления ветра от сезона года представлена на рис. 5.

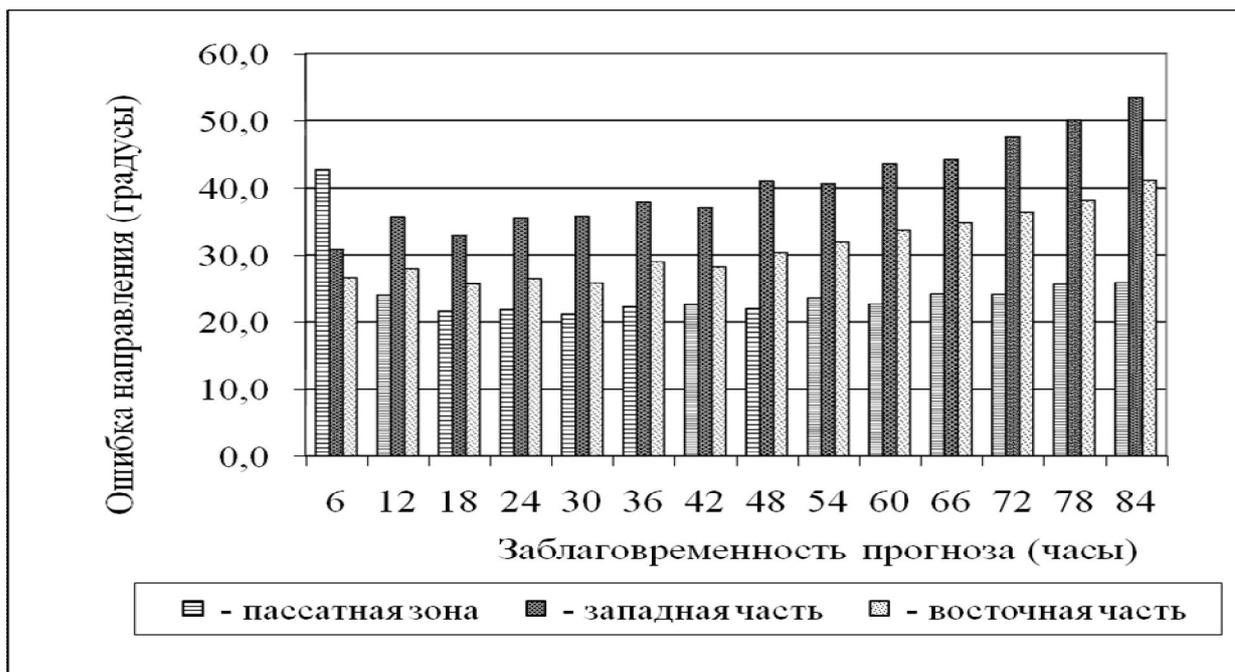


Рис. 4. Гистограмма зависимости ошибки прогноза направления ветра от заблаговременности прогноза и района океана для модели T85L31.

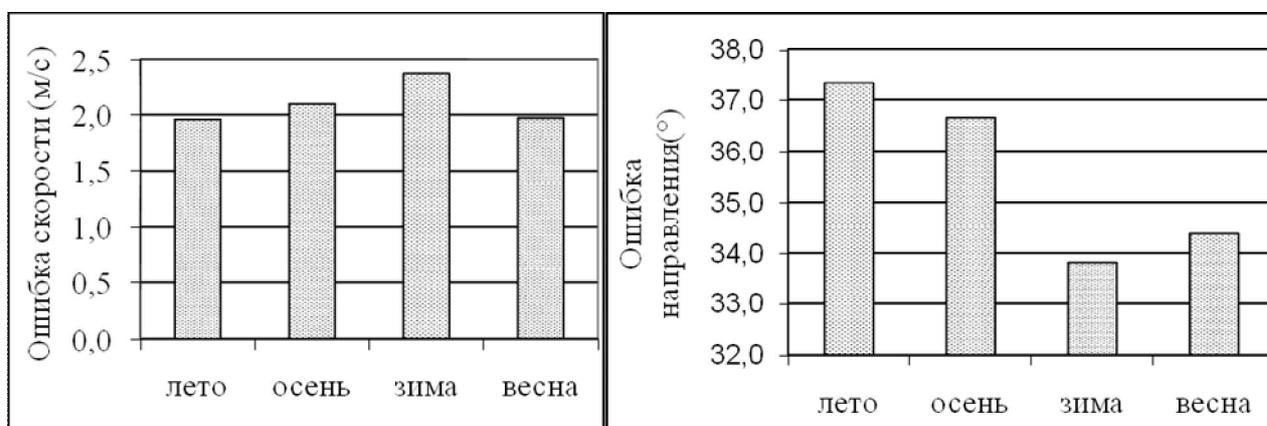


Рис. 5. Гистограмма зависимости абсолютной ошибки прогноза скорости ветра от сезона года для модели T85L31.

На основе анализа данной гистограммы (рис. 5) можно отметить, что зимой наблюдаются максимальные значения ошибки скорости ветра, которые связаны с процессом усиления в эти месяцы циклонической активности. Режим ветра на акватории океана в это время характеризуется нестабильностью, циклоны углубляются очень быстро, вызывая резкие изменения градиентов атмосферного давления, что не всегда хорошо воспроизводится моделями. Это напрямую отражается на качестве прогноза скорости ветра, которая

прогнозируется моделью несколько хуже, чем в летние и весенние месяцы, когда циркуляция атмосферы более стабильна. Осенью в западной части наблюдается наибольшая ошибка прогноза скорости, которая составляет 2,8 м/с, в летние месяцы эта ошибка составляет 2,2 м/с.

Максимальные ошибки прогноза направления ветра наблюдаются в летние месяцы, что по всей видимости связано с ослабленной атмосферной циркуляцией, характерной для этого сезона года. Летом создаются условия, благоприятные для возникновения малоградиентных барических полей, в которых наблюдаются слабые и неустойчивые по направлению ветры. При этих обстоятельствах направление ветра прогнозируется моделью несколько хуже, чем в зимние месяцы, когда градиенты давления больше и ветры имеют более устойчивые направления.

Оценка успешности прогнозов ветра по модели T85L31 для разных секторов штормовых циклонов

Была произведена оценка успешности прогноза ветра для различных секторов штормовых циклонов, которые вызывали на акватории океана опасное ветровое волнение высотой 8 м и более. Рассматривался период с декабря 2008 г. по март 2009 года. Оценка успешности прогноза ветра в штормовых циклонах была произведена для сроков с заблаговременностью 24, 48 и 72 ч.

Для оценки успешности прогнозов ветра были отобраны данные по скорости и направлению ветра в разных секторах штормовых циклонов (передней, тыловой части и в теплом секторе) [4]. Для выборки данных использовались синоптические карты с анализом атмосферных фронтов Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды [11] и карты анализа волнения за срок 00 ч ВСВ, составленные в отделе морских гидрологических прогнозов ГУ «Гидрометцентр России».

На основе анализа этих карт были выявлены штормовые циклоны, вызвавшие возникновение опасного волнения на акватории океана. Всего за исследуемый период наблюдался 31 штормовой циклон. Количество дней со штормовыми циклонами составило 42 % от общего количества дней всего исследуемого периода.

Далее с помощью синоптических карт и анализа атмосферных фронтов для каждого из секторов штормовых циклонов были отобраны фактические данные буйковых наблюдений. При выборе фактических данных предпочтение отдавалось буйам, расположенным в районах с максимальными скоростями ветра и опасным ветровым волнением. На рис. 6 представлен

пример синоптической карты со штормовым циклоном, на основе которой были выбраны характерные точки с буйковыми наблюдениями для различных секторов циклонов.

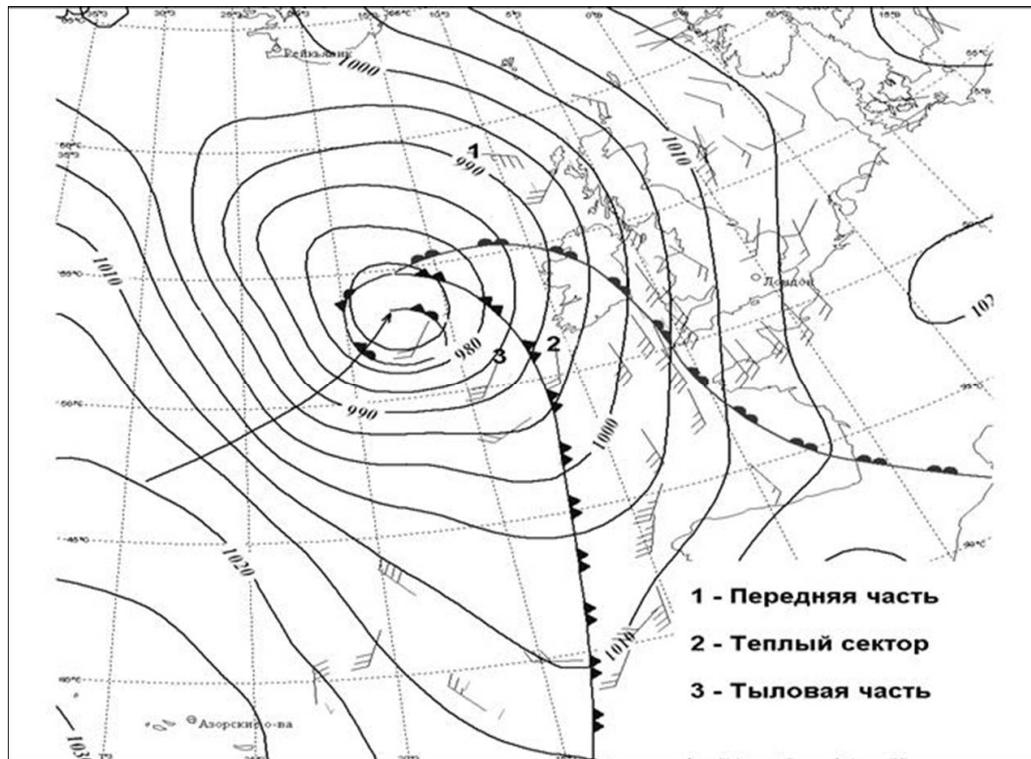


Рис. 6. Пример синоптической карты со штормовым циклоном.

Для оценки успешности прогнозов полей ветра с помощью написанной на языке Fortran программы выходные данные модели линейно интерполировались с четырех ближайших узлов сетки в точку расположения каждого из выбранных буйев. Оценка успешности прогнозов полей ветра проводилась согласно методическим указаниям [5] путем сравнения фактических и прогностических данных.

В табл. 3 представлены результаты оценки успешности прогноза полей ветра по модели T85L31 для разных секторов штормовых циклонов.

Результаты оценки качества прогнозов ветра для различных секторов штормовых циклонов близки к результатам оценки по всем буйам (табл. 1). Так, например, ошибка направления в штормовых циклонах несколько ниже, чем осредненная по всем данным, что можно объяснить устойчивостью направления ветра при больших горизонтальных градиентах давления. Ошибка скорости для штормовых циклонов напротив, несколько больше, чем общая, так как в штормовых циклонах градиенты давления изменяются очень быстро, особенно в случаях «взрывных» циклонов, что влечет за собой резкие изменения

скорости ветра, которые прогнозируются моделью несколько хуже, чем скорость ветра в обычных условиях.

Таблица 3

Ошибки прогноза характеристик ветра для разных секторов штормовых циклонов

Сектор циклона	Заблаговременность, ч	Кол-во прогнозов	Средняя абсолютная ошибка прогноза вектора ветра (м/с)	Средняя абсолютная ошибка прогноза направления (градусы)	Средняя абсолютная ошибка прогноза скорости ветра (м/с)	Средняя систематическая ошибка прогноза скорости ветра (м/с)	Средняя квадратическая ошибка прогноза скорости ветра
Передняя часть	24	40	5,18	21,22	2,11	0,49	5,23
	48	40	6,55	30,47	3,21	0,02	6,69
	72	40	7,77	35,53	3,60	-1,94	9,19
Тыловая часть	24	37	7,65	25,6	2,23	-0,12	8,62
	48	37	8,17	29,38	3,39	-1,31	9,59
	72	38	8,9	38,8	3,77	-3,00	10,57
Теплый сектор	24	44	4,50	21,14	2,13	1,36	5,28
	48	43	5,52	25,45	3,10	1,72	6,70
	72	44	6,61	29,62	3,61	2,28	9,31

В табл. 4 представлена повторяемость ошибки направления для штормовых циклонов.

Таблица 4

Повторяемость ошибки прогноза направления ветра для различных секторов штормовых циклонов

Сектор циклона	Срок	Кол-во прогнозов	Повторяемость (%)			
			0-30°	31-60°	61-90°	>90°
Передняя часть	24	40	72,5	17,5	2,5	7,5
	48	40	55	25	10	10
	72	40	52,5	15	12,5	20
Тыловая часть	24	37	70,27	16,22	5,41	8,11
	48	38	62,16	16,22	10,81	10,81
	72	37	57,89	15,79	10,53	15,79
Теплый сектор	24	44	63,64	31,82	2,27	2,27
	48	43	58,14	25,58	6,98	9,30
	72	44	59,09	22,73	4,55	13,64

Подробный анализ обеспеченности прогноза ветра для различных секторов штормовых циклонов показал, что наименьшие значения ошибок направления отмечались в срок 24 ч и возрастали при увеличении заблаговременности. Повторяемость ошибки направления ветра в пределах $0-30^\circ$ по всем буям не ниже 52 %.

Абсолютные ошибки скорости ветра при прогнозе ветрового волнения, рассчитанного с помощью номограммы [1], для срока с заблаговременностью 24 ч приводят к ошибкам расчета максимальной высоты ветровых волн для всех секторов штормовых циклонов в среднем на 0,5 м.

Выводы

Анализ прогнозов полей ветра для акватории Северной Атлантики показал, что в целом качество прогнозов по модели T169L31 несколько лучше, чем по ее предыдущей версии T85L31. Обе модели дают наименьшие ошибки для сроков с заблаговременностью 12–18 ч. Качество прогноза на 6 ч оказывается существенно ниже качества прогнозов на последующие сроки.

Для модели T169L31 ошибка вектора скорости имеет минимальное значение для заблаговременности 12 ч (3,51 м/с) и достигает 5,11 м/с для заблаговременности 84 ч. Ошибка вектора скорости ветра для модели T85L31 имеет минимальное значение для прогнозов с заблаговременностью 18 ч и составляет 3,54 м/с. С увеличением заблаговременности ошибка возрастает и достигает 5,24 м/с для заблаговременности 84 ч.

Ошибки прогноза направления ветра по обеим моделям в 52 % всех случаев не выходят за пределы $0-30^\circ$, при этом модель T85L31 дает наилучший результат для заблаговременности 18 ч (71 %), а модель T169L31 – для заблаговременности 12 ч (72 %).

Минимальные значения ошибки скорости ветра наблюдаются в пассатной зоне Северной Атлантики (буй №41139) и составляют около 1,5 м/с, а наибольшее значение отмечено в западной части океана (буй №41001) и составляет около 6 м/с. Минимальная ошибка направления наблюдается в пассатной зоне (буй № 41139) и составляет 10° по обеим версиям модели, а наибольшая ошибка (80°) – в западной части (буй №41001). Обе версии дают схожие ошибки, что, возможно, связано с малым количеством данных наблюдений в открытой части Северной Атлантики, что сказывается на качестве анализа исходных полей для атмосферной модели.

В осенние и зимние месяцы средние абсолютные ошибки прогноза скорости ветра достигают максимальных значений; обе модели дают заниженные значения скорости ветра в

условиях сильно развитой в эти месяцы циклонической деятельности. Особенно это проявляется в зимние месяцы, при этом модель Т85L31 в наибольшей степени занижает скорость ветра. При оценке средней абсолютной ошибки прогноза направления ветра выявлено ее увеличение в летний период, при этом у модели Т85L31 эти ошибки больше, чем у ее версии Т169L31.

Выявлено влияние ошибок прогноза скорости ветра на качество прогноза высоты ветрового волнения. Оценка производилась на основе сопоставления вычисленной высоты ветровых волн с помощью номограммы [1] при средней ошибке скорости ветра. Получено, что средняя абсолютная ошибка в прогнозе скорости ветра на 2 м/с приводит к средней ошибке прогноза максимальной высоты ветровых волн на 0,5 м, что удовлетворительно для прогноза опасного волнения. Результаты, представленные в статье, позволяют морским прогнозистам вносить корректирующие поправки в прогнозы ветра и волнения при разных синоптических ситуациях.

Список использованных источников

1. *Абузяров З.К.* Морское волнение и его прогнозирование. – Л.: Гидрометиздат, 1981 – 166 с.
2. *Булдовский Г.С., Розинкина И.А., Фролов А.В.* Об успешности прогнозов метеорологических полей на основе глобальной спектральной модели атмосферы высокого пространственного разрешения Т85L31 на 1–10 суток // Информационный сборник № 29. – 2002. – С. 3–16.
3. *Булдовский Г.С., Розинкина И.А., Акимов И.В.* Об успешности гидродинамических прогнозов осадков в зимний период года, выпускаемых на базе глобальной спектральной модели Гидрометцентра России Т85L31 // Информационный сборник № 30. – 2002. – С. 3–14.
4. *Воробьев В.И.* Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
5. РД 52.27.284–91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов.
6. РД 52.88.699-2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений
7. *Розинкина И.А., Алферов Ю.В., Астахова Е.Д., Пономарева Т.Я., Цветков В.И.* Глобальная оперативная спектральная модель Гидрометцентра России: основные характеристики и особенности использования в технологиях кратко- и среднесрочного прогноза / В сб.: 80 лет Гидрометцентру России. – М.: ТРИАДА ЛТД, 2010. – С.160–192.

8. Розинкина И.А., Астахова Е.Д., Фролов А.В., Цветков В.И., Пономарева Т.Я., Рузанова И.В. Особенности реализации новой версии спектральной модели Гидрометцентра России Т85L31 и технологии выпуска кратко- и среднесрочных гидродинамических прогнозов // Труды Гидрометцентра России. – 2002. – Вып. 338. – С. 22–38.

9. Bidlot J.-R., Holt M.W. Verification of operational global and regional wave forecasting systems against measurements from moored buoys // JCOMM Technical Report. – 2006. – WMO/TD No.1333, P. 11.

10. www.ndbc.noaa.gov

11. <http://www.ecmwf.int>

Поступила в редакцию 15.04.2011