

# СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОЧАГОВ ОПАСНОГО ВОЛНЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

*Т.В. Красюк*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации;  
krasjuk@mail.ru*

## **Введение**

Прогнозирование опасного волнения (с высотой волн 8 м и более) в Северной Атлантике с достаточно большой заблаговременностью (15–30 суток) имеет важное значение не только для безопасности судоходства, но и для всех видов морской деятельности человека. Если сам факт возникновения опасного волнения (ОВ) в заданные сроки предсказан с некоторой вероятностью, то далее возникает задача определения места первичной локализации очага волнения.

Характеристики ОВ и циклонической активности изучались и продолжают изучаться многими авторами. В [2, 4, 8–10] были выявлены некоторые связи между характеристиками атмосферы и опасным волнением в океане. В настоящей работе решается задача ретроспективного статистического анализа возникновения очагов ОВ в Северной Атлантике. Предложенная методика вероятностного прогноза зоны возникновения ОВ опирается на данные реанализа ERA-Interim [11] за 1999–2013 гг. для холодного периода (ноябрь–февраль).

В [3, 4] показано, что траектории зон ОВ в Северной Атлантике зависят от сочетания фаз североатлантического колебания (САК) и восточно-атлантического колебания (ВАК). Сильное

влияние на траектории зон ОВ оказывает атмосферная циркуляция при развитии положительной фазы ВАК, когда циклоническая активность сосредоточена в восточной части Северной Атлантики. Кроме того, число глубоких циклонов, формирующих зоны опасного волнения в зимний период, увеличивается в случае преобладания положительной фазы ВАК и уменьшается при развитии отрицательных фаз САК и ВАК [1, 3, 4]. В связи с этим было сделано предположение о возможном влиянии значений САК и ВАК не только на частоту возникновения ОВ, но и на дислокацию зон их возникновения. Данная гипотеза была проверена методом статистического анализа для тех зимних месяцев, когда абсолютное значение ВАК или САК превосходило единицу.

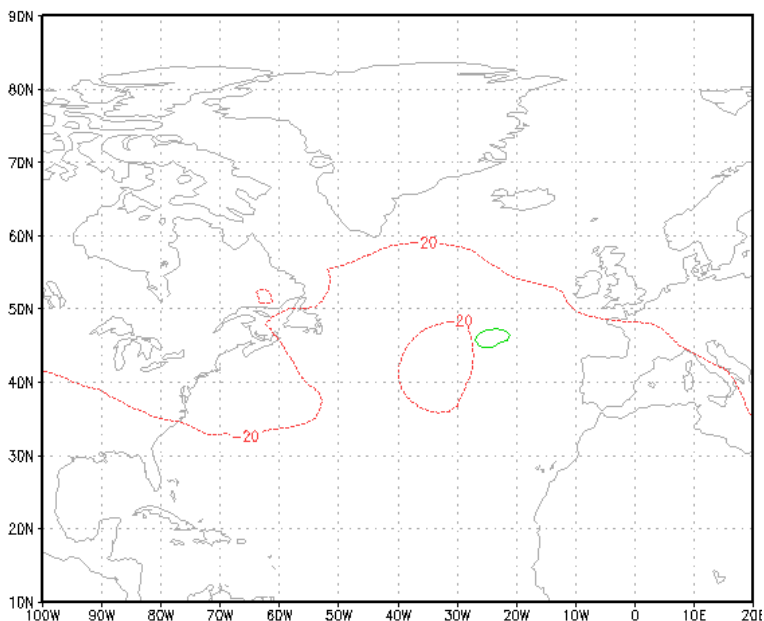
### **Статистический анализ очагов опасного волнения в Северной Атлантике**

Целью статистического анализа, проведенного на основе реанализа ERA-Interim, было определение зоны наиболее вероятного возникновения ОВ в Северной Атлантике. Исследовались поля значимой высоты волн и поля температуры воздуха на поверхности 500 гПа в Северной Атлантике в холодный период (ноябрь–февраль) с ноября 1999 г. по февраль 2013 года.

Рассматривались случаи возникновения ОВ в регионе 20–80° с. ш., 90° з. д. – 10° в. д. и фиксировалась зона, где высота волн впервые для конкретного случая достигала значения 8 м (рис. 1). Дальнейшее перемещение зоны ОВ не рассматривалось. В соответствии с результатами [6], одновременно фиксировалась область пересечения восточной границы материка Северной Америки изотермой -20 °С на поверхности 500 гПа (рис. 1). Восточная граница была разбита на три зоны: 1) зона А – севернее 50° с. ш.; 2) зона В – от 40 до 50° с. ш.; 3) зона С – южнее 40° с. ш.

Всего за указанный период было зафиксировано 953 случая возникновения очагов ОВ (таблица).

Анализ таблицы показывает, что от ноября к февралю происходит смещение зоны опасного волнения с севера на юг, а также расширение ее на восток.



**Рис. 1. Положение изотермы  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  на поверхности 500 гПа (красная линия) и очага ОВ (зеленая линия) на 12 ч 05.12.2010 г. Изотерма пересекает материковую линию в зоне С (по первому при движении с запада на восток пересечению); высота волн внутри зеленой линии может превышать 8 м.**

Указанный выше регион исследования (Северная Атлантика) был разбит на участки  $5^{\circ}\times 5^{\circ}$  традиционной широтно-долготной сетки. Производился подсчет случаев, когда очаг ОВ полностью или частично находился в каждом участке. Если очаг захватывал несколько участков, то он принимался в расчет в каждом из них. Для каждого такого участка были подсчитаны случаи возникновения ОВ за весь период отдельно для каждой декады и отдельно для каждой зоны места пересечения изотермой  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  материковой линии.

В результате была рассчитана вероятность возникновения очага ОВ в каждом участке для каждого периода времени и каждой зоны пересечения, а также определены зоны наиболее вероятного

возникновения очага во всем регионе исследования. Исключение составляет зона А, для которой в декабре–феврале событий было слишком мало для проведения статистического анализа по выбранным интервалам времени (декадам и месяцам). Поэтому для зоны А вероятность возникновения ОВ определялась для всего холодного периода без деления на временные интервалы.

*Таблица*

**Число очагов ОВ в Северной Атлантике в холодный период (с ноября 1999 г. по февраль 2013 г.) для трех зон пересечения материковой линии изотермой  $-20^{\circ}\text{C}$**

<b>Месяц</b>	<b>Период</b>	<b>Зона А</b>	<b>Зона В</b>	<b>Зона С</b>	<b>Всего</b>
Ноябрь	1 декада	14	53	16	83
	2 декада	30	25	3	58
	3 декада	11	59	20	90
	<b>Всего за месяц</b>	55	137	39	231
Декабрь	1 декада	11	50	17	78
	2 декада	4	45	19	68
	3 декада	1	44	53	98
	<b>Всего за месяц</b>	16	139	89	244
Январь	1 декада	0	37	54	91
	2 декада	2	25	60	87
	3 декада	0	28	76	104
	<b>Всего за месяц</b>	2	90	190	282
Февраль	1 декада	0	26	36	62
	2 декада	0	22	42	64
	3 декада	4	20	46	70
	<b>Всего за месяц</b>	4	68	124	196
<b>Всего за период</b>		77	434	442	953

Рассмотрим несколько примеров. В первой ситуации изотерма  $-20^{\circ}\text{C}$  пересекает материковую линию севернее  $50^{\circ}$  с. ш. в зоне А. На рис. 2 темным фоном выделены участки наиболее вероятного

возникновения ОВ. Числа обозначают вероятность в % того, что ОВ (если оно возникнет) возникнет именно на данном участке.

	90w	80w	70w	60w	50w	40w	30w	20w	10w	0	10E			
80N								1,30						
								1,30	3,90	3,90	1,30			
70N							1,30	3,90	2,60	2,60	5,19	1,30	1,30	1,30
							2,60	3,90	2,60	3,90	3,90		1,30	
60N					2,60	5,19	6,49	5,19	5,19	6,49	5,19	3,90	1,30	
					1,30	2,60								
50N							1,30							
				1,30							1,30			
40N			1,30											
30N														
20N														

**Рис. 2. Вероятность возникновения ОВ в Северной Атлантике для зоны А в ноябре–феврале (см. текст). Области наиболее вероятного возникновения ОВ выделены темным фоном; светлым фоном выделены области, где возникновение ОВ также имеет высокую (по сравнению с другими участками) вероятность.**

Казалось бы, вероятность 5–7 % небольшая, однако малое значение вероятности связано с нормировкой по всему региону. Вероятность того, что ОВ вообще возникнет в рассматриваемом регионе принята за 100 %. Отсутствие чисел означает, что на данных участках ОВ не возникало.

Рассмотрим более типичную ситуацию. На рис. 3 представлено распределение вероятности возникновения ОВ во второй декаде февраля, если изотерма  $-20^{\circ}\text{C}$  пересекает материковую линию в зоне С, т. е. южнее  $40^{\circ}$  с. ш.

### **Вероятностный прогноз очагов опасного волнения**

Был выполнен анализ формирования очагов ОВ в холодный период 1999–2013 гг. для месяцев, когда среднемесячные значения индексов ВАК и/или САК превышали по абсолютной величине единицу [5].

	90w	80w	70w	60w	50w	40w	30w	20w	10w	0	10E	
80N												
70N										2,38	2,38	
				2,38	2,38	4,76	2,38	2,38	7,14	2,38	2,38	4,76
60N				2,38	4,76	2,38	9,52	7,14	11,9	2,38		
				4,76	2,38	4,76	4,76					
50N					4,76	4,76	4,76	2,38				
				2,38	4,76	2,38	4,76	2,38	2,38			
40N			2,38	2,38	4,76	7,14	2,38		4,76			
			2,38	2,38	4,76							
30N												
20N												

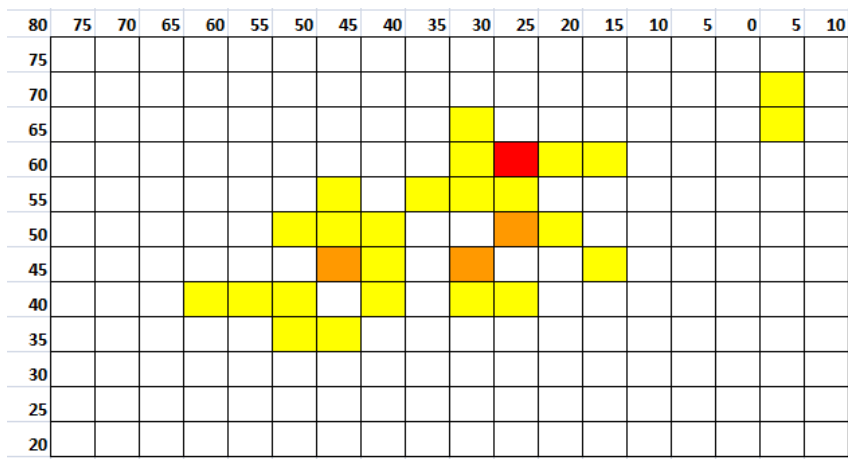
**Рис. 3. Вероятность возникновения ОВ в Северной Атлантике для зоны С во второй декаде февраля.**

Пример распределения очагов ОВ в январе 2002 г. приведен на рис. 4.

80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	5	10
75																		
70																		1
65										1								1
60										1	111	1	1					
55						1			1	1	1							
50						1	1	1			111	1						
45							11	1		11	1		1					
40				1	11	1		1		11	11							
35						1	1											
30																		
25																		
20																		

**Рис. 4. Распределение очагов ОВ в январе 2002 г. Цифра 1 означает, что в течение месяца образовался 1 очаг ОВ, 11 – 2 очага, 111 – 3 очага.**

На рис. 5 представлен предлагаемый формат результата вероятностного прогноза возникновения ОВ в январе для случаев, если  $|BAK| > 1$  или  $|CAK| > 1$ .



**Рис. 5. Вероятностный прогноз возникновения ОВ в Северной Атлантике в январе для случаев, если  $|BAK| > 1$  или  $|CAK| > 1$ .** Красным цветом обозначены районы, где возникновение ОВ наиболее вероятно, оранжевым – весьма вероятно, желтым – возможно, белым – маловероятно.

Для вероятностного прогноза ОВ предлагается комплексный критерий  $K$ :  $K = KCB \cdot (1 + N)$ , где  $KCB$  – климатическая среднемесячная (за 1999–2013 гг.) вероятность возникновения ОВ (рис. 3);  $N$  – число случаев возникновения ОВ в данном квадрате в конкретном месяце, для которого значения  $BAK$  и  $CAK$  близки к прогностическим. Предполагается, что в вероятностном прогнозе ОВ будут использоваться значения  $CAK$  и  $BAK$  из долгосрочного прогноза по модели ПЛАВ [7]. Смысл критерия  $K$  состоит в том, что чем больше очагов ОВ возникло в данном районе в месяце, который по значениям индексов  $CAK$  и  $BAK$  близок к прогностическим  $CAK$  и  $BAK$ , тем больше вероятность возникновения ОВ в данном районе в прогностическом месяце.

Для случаев, когда условие  $|BAK| > 1$  или  $|CAK| > 1$  не выполняется, в качестве прогностического будет использоваться средне-многолетнее распределение вероятности возникновения ОВ, аналогично представленному на рис. 3.

### Заключение

Произведен расчет климатических (за 1999–2013 гг.) средне-месячных вероятностей возникновения очагов опасного волнения в Северной Атлантике в квадратах  $5^\circ \times 5^\circ$  для каждого из месяцев холодного периода (ноябрь–февраль). Анализ этих расчетов показал, что от ноября к февралю происходит смещение зоны опасного волнения с севера на юг, а также расширение ее на восток.

Представлена статистика возникновения опасного волнения для каждого месяца рассматриваемого периода, в которых средне-месячные значения индексов ВАК и/или САК превышали по абсолютной величине 1. Предложен комплексный критерий для вероятностного прогноза возникновения опасного волнения.

### Список использованных источников

1. *Абузаров З.К., Нестеров Е.С.* О связи ветра и волнения в Северной Атлантике с колебаниями атмосферной циркуляции // *Метеорология и гидрология.* – 2014. – № 7. – С. 63–71.
2. *Вязилова Н.А.* Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология.* – 2012 – № 7. – С. 5–14.
3. *Красюк Т.В., Нестеров Е.С.* О характеристиках глубоких циклонов и экстремального волнения в Северной Атлантике по данным реанализа ERA-Interim // *Метеорология и гидрология.* – 2015. – № 3. – С. 65–74.
4. *Лукин А.А., Нестеров Е.С.* Опасное ветровое волнение в Северной Атлантике при разных режимах атмосферной циркуляции // *Метеорология и гидрология.* – 2011. – № 12. – С. 36–44.
5. *Нестеров Е.С.* О влиянии североатлантического и восточноатлантического колебаний на формирование опасного волнения в Северной Атлантике (см. настоящий сборник).
6. *Нестеров Е.С., Лукин А.А., Мысленков С.А., Красюк Т.В.* Технология оперативного прогноза опасного волнения в Северной Атлантике



с заблаговременностью до 10–15 суток // Труды Гидрометцентра России. – 2015. – Вып. 354. – С. 36–48.

7. Толстых М.А., Богословский Н.Н., Шляева А.В., Мизяк В.Г. Оперативная технология расчета глобальных прогнозов с помощью полулагранжевой модели атмосферы ПЛАВ // Труды Гидрометцентра России. – 2011. – Вып. 346. – С. 170–180.

8. Dodet G., Bertin X., aTaborda R. Wave climate variability in the northeast Atlantic Ocean over the last six decades // Ocean modeling. – 2010. – Vol. 31. – P. 120–131.

9. Izaguirre C., Menendez M., Camus P. et al. Exploring the interannual variability of extreme wave climate in the northeast Atlantic Ocean // Ocean modeling. – 2012. – Vol. 59–60. – P. 31–40.

10. Rudeva I., Gulev S. Composite analysis of North Atlantic extratropical cyclones in NCEP-NCAR reanalysis data // Mon. Wea. Rev. – 2011. – Vol. 139, No. 5. – P. 1419–1446.

11. <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>

*Поступила в редакцию 21.09.2016 г.*