

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МЕТОДА ПРОГНОЗА ШКВАЛОВ  
С ДЕТАЛИЗАЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ТРЕХ ГРАДАЦИЯХ  
(от 20 до 24, от 25 до 32, 33 м/с и более)  
НА ОСНОВЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ  
С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 12 И 24 Ч**

Испытания метода прогноза шквалов проводились в ФГБУ «Гидрометцентр России» в теплый период года (с 16 мая по 15 сентября) 2009–2010 гг. Прогнозы рассчитывались в исходные сроки 00 и 12 ч ВСВ для 17 областей, входящих в Центральный федеральный округ (ЦФО) России, с заблаговременностью 12 и 24 ч. Расчет прогнозов осуществлялся в рамках единого программного комплекса прогноза опасных конвективных явлений на ЭВМ ИТАНИУМ, включающего расчет полей метеорологических элементов оперативной региональной моделью Гидрометцентра России с шагом по горизонтали 75 км, параметров конвекции – одномерной стационарной моделью конвекции и шквалов – физико-статистическим подходом на основе модельных данных. Прогноз шквалов рассчитывался с ежечасной дискретностью. На основе ежечасных прогнозов формировался прогноз шквалов градаций (от 20 до 24, от 25 до 32 (градация опасных явлений – ОЯ), 33 м/с и более (градация «ураган»)) на полусутки. Прогнозы с заблаговременностью 12 и 24 ч рассчитывались, записывались в базу данных (БД) Гидрометцентра России, автоматизированно визуализировались в виде карт и передавались потребителю два раза в сутки. Прогнозы шквалов записывались в БД в условных цифрах, при визуализации использовались принятые для обозначения значки. Условные цифры: 0 – отсутствие в прогнозе явления, 1 – шквал со скоростью ветра 20–24 м/с, 2 – шквал со скоростью ветра 25–32 м/с, 3 – шквал ураганной скорости ветра (33 м/с и более).

Оценка прогнозов шквалов по областям аналогична оценке прогнозов осадков по принципу, изложенному в статье А.А. Алексеевой и др. настоящего сборника [2]. При оценке прогнозов шквалов использовались данные измерений о ветре на метеорологических станциях. Напомним, что направление и скорость ветра на станциях измеряются с помощью

анемометра на высоте 10 м с автоматическим осреднением данных за 10 мин, предшествующих сроку наблюдения – это и есть «средний» ветер. Кроме того, анемометр регистрирует и порывы ветра, как в срок наблюдения, так и между сроками. Станция обязана передавать сведения о сильных порывах ветра ( $\geq 18$  м/с) в дополнительной группе кода КН-01.

Таким образом включались, как правило, данные о порывах ветра между сроками, которые сообщаются метеорологическими станциями в виде дополнительной информации о погоде (выбирались случаи со скоростью ветра 18 м/с и более). Для оценки брались данные за 4 срока подряд. Например, при прогнозе на дневное время привлекались данные о порывах ветра за сроки 09, 12, 15 и 18 ч ВСВ, при прогнозе на ночь – за сроки 21, 00, 03 и 06 ч ВСВ. Кроме того, привлекались значения скорости ветра из донесений с мест о наблюдавшихся опасных явлениях погоды. В этом случае скорость ветра определялась по произведенным разрушениям и повреждениям (шкала Бофорта), приблизительно определялись и координаты осуществления явления. Данные о ветре из донесений в выборке за один летний сезон составили 10 % всех случаев, это, как правило, данные о шквалах градации ОЯ и «ураган». По этой причине результаты испытаний прогнозов шквалов в градации ОЯ, тем более в градации «ураган», оказались статистически не обеспечены. Прогноз считался оправдавшимся, если хотя бы в одном узле области прогнозировалось явление соответствующей градации, и оно действительно наблюдалось в этой области хотя бы на одной станции или отмечалось в донесении из этой области. Но если хотя бы в одном узле области прогнозировалось явление соответствующей градации, но оно не наблюдалось ни на одной станции и не отмечалось в донесении, то прогноз по данной области считался не оправдавшимся. Оценка прогнозов проводилась по одинаковой методике: в 2009 году вручную (из-за отсутствия прогнозов в БД), а в 2010 году – с использованием автоматизированной технологии.

### **Основы метода прогноза шквалов**

Метод был разработан по принципу «идеального прогноза». Прогноз шквалов в трех градациях является результатом комплексирования двух методов: прогноза скорости ветра при шквалах и альтернативного прогноза шквалов в градации ОЯ. Шквалы с ураганной скоростью ветра прогнозируются при условии одновременного прогнозирования шквала в градации опасных явлений альтернативным способом и скорости максимальных порывов ветра не менее 33 м/с. Если же альтернативным способом шквал в градации ОЯ не

прогнозируется, то «ураган» прогнозируется, если прогнозируемая скорость порывов ветра составляет 40 м/с и более. Шквалы в градации ОЯ прогнозируются при условии их прогноза альтернативным способом и при этом прогнозируемая скорость ветра составляет 25–32 м/с. Если же альтернативный способ не прогнозирует шквалы в градации ОЯ, то они прогнозируются, если прогнозируемая максимальная скорость ветра 35–40 м/с. Шквал в градации от 20 до 24 м/с прогнозируется, если рассчитанная скорость ветра 20–24 м/с.

Прогноз максимальной скорости ветра  $V$ , м/с, при сильных шквалах рассчитывается с помощью уравнения регрессии

$$V = a \cdot W_m^{\frac{1}{n}} \cdot [(|\bar{v}| + b) \cdot (\Delta P + c)]^{\frac{1}{m}} + d \cdot (|\bar{v}| + g)^{\frac{1}{k}} + f \cdot |\bar{v}| - C, \quad (1)$$

где  $W_m$  – максимальная конвективная скорость, м/с;  $|\bar{v}|$  – модуль средней векторной скорости ветра в слое 700-500 гПа, м/с;  $\Delta P$  – лапласиан приземного давления, приведенного к уровню моря (гПа/300 км<sup>2</sup>);  $b, c, g$  – отклонения параметров от их оптимальных для шквала значений;  $a, d, f, C$  – эмпирические коэффициенты.

С целью уменьшения относительной ошибки прогноза максимальной скорости ветра при шквалах используется линейная комбинация нелинейных предикторов. Прогноз шквалов в градации ОЯ дополнительно осуществляется по дискриминантной функции

$$L = f(W_m, \Delta P). \quad (2)$$

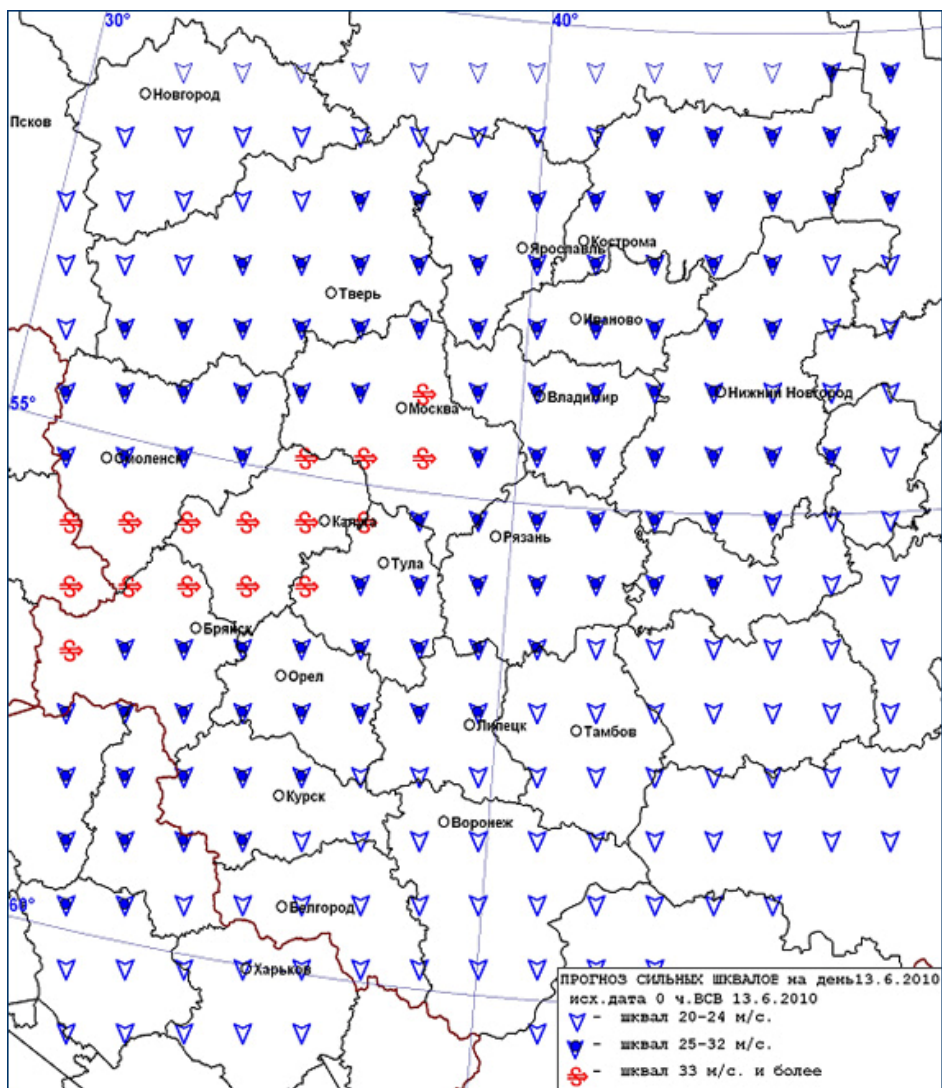
Дискриминантная функция для прогноза шквалов в градации ОЯ является функцией от максимальной конвективной скорости и лапласиана давления, приведенного к уровню моря.

На рис. 1 в качестве примера приведен прогноз сильных шквалов на день 13.06.2010 г., рассчитанный по исходному сроку 00 ч ВСВ.

Фактически днем 13.06.2010 г. шквалы наблюдались в Ивановской (30 м/с с ущербом), Рязанской (26 м/с), Московской, Владимирской (24 м/с), Орловской, Тульской (20 м/с), Смоленской, Курской (18 м/с), Липецкой, Костромской (16 м/с), Калужской области (15 м/с).

На рис. 2 в качестве примера приведен прогноз сильных шквалов на день 28.08.2010 г., рассчитанный по исходному сроку 00 ч ВСВ.

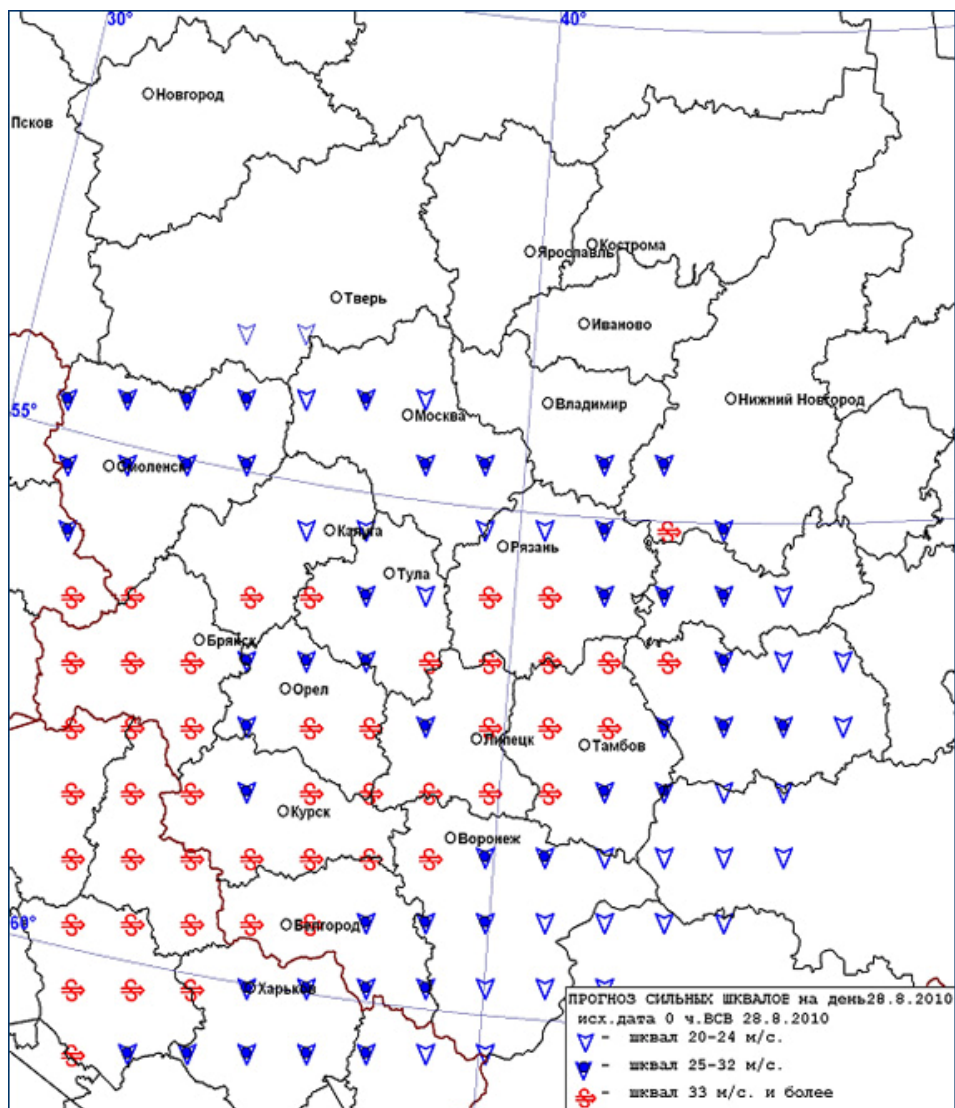
Фактически 28.08.2010 г. наблюдались шквалы в Белгородской (22 м/с) с сильной грозой, Воронежской (20 м/с), Московской (18 м/с) с сильной грозой и градом, Курской (22 м/с) с ущербом, Липецкой (17 м/с), Тамбовской, Орловской области (16 м/с).



**Рис. 1. Результаты прогноза сильных шквалов на день 13.06.2010 г. с заблаговременностью 12 ч. Исходный срок 00 ч ВСВ.**

Для расчета показателей успешности прогнозов шквалов используется таблица сопряженности (табл. 1 в [2] настоящего сборника). Там же представлен расчет всех показателей успешности прогнозов.

Показатели успешности прогнозов шквалов рассматриваемым методом в градациях 20-24, 25-32,  $\geq 33$  м/с за летний период 2009-2010 гг. с учетом допуска по градации представлены в таблице.



**Рис. 2. Результаты прогноза сильных шквалов на день 28.08.2010 г. с заблаговременностью 12 ч. Исходный срок 00 ч ВСВ.**

Анализ результатов испытаний показал, что метод прогноза сильных шквалов прогнозирует отсутствие сильного ветра с оправдываемостью 91–98 %, предупрежденность случаев наличия сильного ветра составляет 55–75 %, а значения критерия качества Пирси-Обухова, равные 0,30–0,45, подтверждают практическую значимость данных прогнозов. Основным недостатком метода является значительное количество «ложных тревог».

Наличие части «ложных тревог» можно объяснить недостаточно плотной сетью наблюдений за шквалами (есть несоответствие между точечной фиксацией шквалов на станциях наблюдений, а также косвенной их фиксацией по ущербу – согласно шкале Бофорта, и их площадным прогнозом). Также оказалось, что довольно заметная часть станций ЕТР (около 15 %) за последние три года (2009–2011 гг.) никогда за все 8 сроков наблюдений в сутки не отметила ни одного порыва ветра ( $\geq 18$  м/с), что в природе очень

маловероятно. Эти странности будут выясняться. Другие возможные причины «ложных тревог» сильных шквалов совпадают с причинами «ложных тревог» сильных осадков, изложенных в статье А.А. Алексеевой и др. настоящего сборника [2]. Кроме того, выяснилось, что разработанное уравнение регрессии систематически завышает расчетную скорость ветра при шквале примерно на 6 м/с.

Таблица

Показатели успешности прогнозов шквалов  $\geq 18$ ,  $\geq 22$  м/с  
в градах 20-24 м/с (1), 25-32 м/с (2), и  $\geq 33$  м/с (3) за теплый период 2009-2010 гг.

Градации шквалов, м/с		Исходный срок прогноза (ВСВ)	Заблаговременность прогноза, ч (время суток)	$U_r$	$P_r$	$P_{or}$	$PC_r$	$LT_r$	$T$
Без разделения	$\geq 18$ (1,2,3)	00 ч	12 (день)	10	75	63	25	90	0,38
	$\geq 22$ (2,3)	00 ч	12 (день)	6	49	92	51	94	0,41
Строго по градам	20-24 (1)	00 ч	12 (день)	3	55	66	46	97	0,21
	25-32 (2)	00 ч	12 (день)	2	42	92	58	98	0,34
	$\geq 33$ (3)	00 ч	12 (день)	0	0	100	100	100	0,00
Без разделения	$\geq 18$ (1,2,3)	12 ч	12 (ночь)	5	64	71	36	95	0,35
	$\geq 22$ (2,3)	12 ч	12 (ночь)	3	10	50	90	97	0,08
Строго по градам	20-24 (1)	12 ч	12 (ночь)	2	61	73	39	98	0,34
	25-32(2)	12 ч	12 (ночь)	0	0	95	100	100	0,00
	$\geq 33$ (3)	12 ч	12 (ночь)	0	0	100	100	0	0,00
Без разделения	$\geq 18$ (1,2,3)	00 ч	24 (ночь)	5	67	71	33	95	0,38
	$\geq 22$ (2,3)	00 ч	24 (ночь)	4	44	93	56	96	0,38
Строго по градам	20-24 (1)	00 ч	24 (ночь)	1	34	75	66	99	0,09
	25-32 (2)	00 ч	24 (ночь)	2	38	93	62	98	0,31
	$\geq 33$ (3)	00 ч	24 (ночь)	0	0	100	100	100	0,00
Без разделения	$\geq 18$ (1,2,3)	12 ч	24 (день)	9	70	63	30	91	0,33
	$\geq 22$ (2,3)	12 ч	24 (день)	5	45	91	55	95	0,37
Строго по градам	20-24 (1)	12 ч	24 (день)	3	57	67	43	97	0,24
	25-32 (2)	12 ч	24 (день)	2	37	91	63	98	0,28
	$\geq 33$ (3)	12 ч	24 (день)	0	0	100	100	100	0,00

Необходимо отметить стабильность показателей успешности прогнозов при увеличении их заблаговременности с 12 до 24 ч.

Таким образом, усовершенствование рассматриваемого метода прогноза сводится, в основном, к решению проблемы уменьшения «ложных тревог» при сохранении достигнутых успехов (высоких показателей оправдываемости прогнозов без явлений и предупрежденности явлений). В рамках доработки метода необходимо совершенствование и региональной модели, от выходных данных которой зависит качество прогноза шквалов физико-статистическим подходом.

### **Рекомендации о внедрении**

ЦМКП Росгидромета в своем решении от 2 марта 2011 г. рекомендовала:

– ФГБУ «Гидрометцентр России» внедрить в оперативную технологию автоматизированный метод прогноза шквалов с детализацией интенсивности по градациям (от 20 до 24,  $\geq 25$  м/с) с заблаговременностью 12 и 24 ч и обеспечить передачу указанных прогнозов в летний период в прогностические организации Центрального и Центрально-Черноземного УГМС;

– оперативно-прогностическим организациям Центрального и Центрально-Черноземного УГМС использовать в практической работе данные прогнозы в качестве фоновых с целью последующего их уточнения.

Авторам метода поручено продолжить работу по развитию метода прогноза сильных и очень сильных шквалов, в том числе с использованием информации доплеровских МРЛ.

### **Список литературы**

1. *Алексеева А.А., Лосев В.М., Песков Б.Е., Васильев Е.В., Никифорова А.Е.* Прогноз развития зон активной конвекции с особо опасными явлениями на основе региональной модели Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. – М.: ТРИАДА ЛТД, 2010. – С. 147–159.

2. *Алексеева А.А., Лосев В.М., Багров А.Н.* Результаты испытаний автоматизированного метода прогноза осадков с детализацией интенсивности в трех градациях (от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12 ч и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч // Информационный сборник № 39 (см. наст. сборник).