

Э.В. Переходцева

ПРОГНОЗ СИЛЬНЫХ ШКВАЛОВ И СМЕРЧЕЙ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2009 ГОДА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Введение

Прогноз шквалов, смерчей и максимальных порывов ветра, осуществляемый в настоящее время в оперативной практике, в значительной степени субъективен и зависит от умения синоптиков достаточно точно оценить синоптическую ситуацию, расположение фронтов, а затем уже применить к прогнозу шквалов методы, изложенные в [11, 12]. Гидродинамические модели прогноза пока еще не дают успешных прогнозов шквалов, смерчей и максимальных порывов приземного ветра со скоростью $V \geq 20$ м/с. Наилучшие результаты объективного и автоматизированного прогноза этих явлений были получены с использованием статистических моделей прогноза [6, 8, 9].

Количество аномальных метеорологических явлений, наблюдаемых в разные годы в регионах России, отличается год от года. Летом 2009 года на Европейской территории России (ЕТР), в частности в Центральном федеральном округе (ЦФО), было отмечено увеличение случаев сильного ветра и шквалов, включая смерч. Это в значительной степени связано с преобладанием в этот период меридиональной атмосферной циркуляции [5], способствующей, в связи с проникновением на ЕТР арктического воздуха, образованию и обострению холодных фронтов. Как следует из [12], 80–87 % шквалов наблюдается на холодных фронтах и фронтах окклюзии, в основном вблизи центров молодых циклонов и вершин волновых возмущений, 10–15 % –

на теплых и вторичных фронтах, в 3–5 % случаев они возникают в термически однородной массе.

Непосредственно возникновение шквалов и смерчей связано с развитием мощной кучево-дождевой облачности и со скоростью нисходящих потоков порядка 30–50 см/с и более. Эта облачность возникает там, где атмосфера у Земли стратифицирована неустойчиво, влажность воздуха в тропосфере достаточно велика и существует конвергенция воздушных потоков.

Таким образом, для возникновения шквалов и смерчей в атмосфере должны сложиться определенные аэросиноптические и термодинамические условия, характеризующиеся значениями целого ряда параметров атмосферы.

Статистическая модель прогноза шквалов и смерчей

Первый объективный физико-статистический метод прогноза шквалов, смерчей и сильного легнего ветра со скоростью $V \geq 20$ м/с, разработанный в 1985 году [1, 8], основан на статистической модели. В данной модели метеорологическая ситуация, способствующая возникновению указанных явлений, представляется как многомерный вектор $X(A) = (x_1(A), x_2(A), \dots, x_n(A))$, где n – число параметров атмосферы (предикторов). Перечень двадцати шести потенциальных предикторов, отражающих особенность метеорологических ситуаций, способствующих возникновению шквалов, смерчей и сильного ветра, представлен в табл. 1 [8, 9, 12].

Для разработки метода распознавания и прогноза таких метеорологических ситуаций была сформирована обучающая выборка фактических значений предикторов. По фактическим данным радиозондирования атмосферы за 12 ч ВСВ для дат и пунктов ЕТР, где в течение дня были отмечены указанные явления, архивировались значения p предикторов, составившие данную обучающую выборку наличия явления A – архив $\{X_1(A)\}$. Обучающая выборка отсутствия явлений A – архив $\{X_2(A)\}$ – была составлена из значений тех же предикторов для дат и пунктов, в которых в летний период не наблюдались шквалы и ветры такой скорости, но атмосфера была термодинамически неустойчива и в большинстве случаев наблюдались грозы и сильные

Таблица 1
Перечень потенциальных предикторов прогноза шквалов и ветра со скоростью $V \geq 20$ м/с

	Обозначение	Параметры атмосферы
1–3	$V_{850}, V_{700}, V_{500}$	Скорость ветра на уровне 850, 700, 500 гПа (м/с)
4	$V_3 + V_{850} + V_{700} + V_{500}$	Суммарная скорость ветра в слое земля–500 гПа (м/с)
5	ΔH ,	Толщина слоя между уровнями конденсации и конвекции (гПа)
6	δh	Толщина слоя между уровнями конденсации и высотой изотермы -10°C (гПа)
7–9	$H_{\text{конв}}, H_{-10^\circ}, H_0$	Высота уровня конденсации, изотермы -10°C , изотермы 0°C (гПа)
10, 11	D_{700}, D_{500}	Дефицит точки росы на уровне 700, 500 гПа ($^\circ\text{C}$)
12	$D_{700} + D_{500}$	Их суммарное значение ($^\circ\text{C}$)
13, 14	$(T' - T)_{700}, (T' - T)_{500}$	Разность температур кривой состояния и кривой стратификации на уровне 700, 500 гПа ($^\circ\text{C}$)
15	$\Sigma(T' - T)_i$	Их суммарное значение ($^\circ\text{C}$)
16	$T_{\text{конв}}$	Температура на уровне конвекции ($^\circ\text{C}$)
17	$(T' - T)_{\text{max}}$	Максимальная разность температур кривой состояния и кривой стратификации ($^\circ\text{C}$)
18	$H_{(T' - T)_{\text{max}}}$	Высота максимальной разности температур кривой состояния и кривой стратификации (км)
19	dT/dn_3	Горизонтальный контраст температуры у поверхности земли ($^\circ\text{C}/500$ км)
20	фронт	Тип фронта в кодировке от 1 до 8
21	ΔP_3	Лапласиан давления у поверхности земли (гПа/(300 км) 2)
22	T_3	Значение максимальной температуры у поверхности земли ($^\circ\text{C}$)
23	Td_3	Значение максимальной температуры точки росы у поверхности земли ($^\circ\text{C}$)
24	dT/dh_{850}	Горизонтальный контраст температуры на уровне 850 гПа ($^\circ\text{C}/500$ км)
25	ΔH_{850}	Лапласиан геопотенциала на уровне 850 гПа (дам/(300 км) 2)
26	ΔT_{850}	Лапласиан температуры на уровне 850 гПа ($^\circ\text{C}/(300 \text{ км})^2$)

ливни. Модель распознавания векторов обучающих выборок $\{X_i(A)\}$ и $\{X_j(A)\}$ и получения дискриминантной функции для представления статистического решающего правила распознавания независимых выборок векторов наличия и отсутствия явления была построена с использованием байесовского подхода [1, 8]. Прогноз указанных явлений осуществлялся в соответствии с концепцией «совершенного прогноза» РР [8].

Этой задаче предшествовала задача выбора наиболее информативного вектора-предсказателя меньшей размерности. Подробно алгоритм и метод выбора такого вектора-предсказателя, состоящего из наиболее информативных и слабо зависимых предикторов, представлены в работе [8]. В качестве критериев информативности каждого предиктора были использованы критерии минимальной энтропии Вапника-Червоненкиса H_{\min} [4] и расстояния Махаланобиса Δ^2 [1, 8]. По обоим критериям группы информативных предикторов в основном совпали.

По оценкам успешности распознавания на независимой фактической выборке шквалов, смерчей и сильного ветра со скоростью $V \geq 20$ м/с был выбран следующий вектор-предсказатель, состоящий из шести наиболее информативных и слабо зависимых предикторов:

$$X = (V_{700}, H_0, T_3, T_d, (T' - T)_{500}, dT/dn_3). \quad (1)$$

Совокупность входящих в (1) предикторов достаточно полно характеризует состояние атмосферы: скорость ветра в средней тропосфере, мощность кучево-дождевой облачности, температуру и влажность поверхности земли. Предиктор $(T' - T)_{500}$ характеризует неустойчивость стратификации в средней тропосфере, а предиктор dT/dn_3 – контраст температуры на приземном фронте.

В дополнение к выбранным исследовались параметры атмосферы, используемые авторами [10, 11] для прогноза шквалов: нулевая температура смоченного термометра на уровне зарождения нисходящего потока в средней тропосфере T_0 и разность $T_3 - T_0$. Успешность распознавания повысилась на 3%, а успешность прогноза понизилась на 14%. В конечном итоге в качестве наиболее информативного был выбран вектор-предсказатель (1).

Для термодинамически неустойчивой атмосферы (при значениях параметра $(T' - T)_{500} > 0$) было составлено следующее **статистическое**

решающее правило распознавания (диагноза) и прогноза шквалов, смерчей и сильного ветра в радиусе 150 км от пункта прогноза (в предположении, что в устойчивой атмосфере (при $(T' - T)_{500} < 0$) эти явления не возникают). Это правило зависит от значения дискриминантной функции $F(X)$, рассчитанной по фактическим (при диагнозе) или прогнозным значениям (при прогнозе) значениям предикторов, входящих в (1) [8]:

$$\begin{cases} \text{если } F(X) \leq 0, \text{ то прогнозируется отсутствие шквалов, смерчей и ветра } (V \geq 20 \text{ м/с}); \\ \text{если } F(X) > 0, \text{ то дается прогноз шквалов, или смерчей, или ветра } (V \geq 20 \text{ м/с}). \end{cases}$$

С использованием того же байесовского подхода в соответствии с концепцией прогноза MOS [8] на обучающих выборках прогнозных значений тех же выбранных шести предикторов (1) была рассчитана новая прогнозная линейная дискриминантная функция $U(X)$ [8, 9]:

$$U(X) = \sum a_i X_i + c, \quad i=1, 2, \dots, 6. \quad (2)$$

По статистическому решающему правилу прогноза с использованием функции $U(X)$ вместо функции $F(X)$ на независимой прогнозической выборке были получены более высокие оценки успешности прогноза [8, 9].

После получения оценок независимых испытаний этого метода прогноза в трех Управлениях по гидрометеорологии на ЕТР данный объективный физико-статистический метод прогноза шквалов и ветра со скоростью $V \geq 20$ м/с был рекомендован для внедрения в оперативную синоптическую практику [9, 13].

Особый интерес представляет оценка прогноза сильного ветра ($V \geq 20$ м/с) для тех пунктов, в которых в 1984–1986 гг. в центральной части ЕТР наблюдались смерчи (табл. 2). Во всех случаях образования смерчей синоптики прогнозировали грозы и усиление ветра до 15–18 м/с. Как видно из табл. 2, значения функции $U(X)$ находятся в области, где $U(X) > 3$. В таком случае автор рекомендует давать в прогнозе возможное возникновение сильных шквалов, смерчей или опасного ветра со скоростью $V \geq 25$ м/с.

Вечером 3 июня 2009 года на северо-западе Московской области в пос. Краснозаводск наблюдался разрушительный смерч. Скорость

Таблица 2

Прогноз смерчей, наблюдавшихся в 1984–1986 гг., в 00 ч ВСВ на текущий день по значениям дискриминантной функции $U(X)$

Пункт	Дата	V_{700}	H_0	$(T^* - T)_{500}$	$\frac{\partial T}{\partial n_3}$	T_{\max}	Td_{\max}	$U(X)$
Иваново	9.06.1984 г.	13	630	9	5	24	15,0	3,6
Пенза	21.08.1986 г.	20	630	6	4	31	16,0	7,9
Рязань	26.08.1986 г.	22	660	7	3	30	15,0	7,3
Москва	31.08.1986 г.	18	615	2	3	31	13,5	7,9

ветра по шкале Ботфорга превышала 25 м/с. На ближайшей к пункту Краснозаводск метеорологической станции в г. Долгопрудный были отмечены в течение этих суток максимальные порывы ветра со скоростью 18–22 м/с.

Объективный физико-статистический метод прогноза шквалов, смерчей и максимального ветра со скоростью $V \geq 20$ м/с на текущий день [9] был применен к прогнозу возникновения этих явлений в течение суток 3 июня 2009 года. По данным метеостанции в г. Долгопрудный было рассчитано значение дискриминантной функции $U(X)$. Максимальная температура в этот день составляла 23 °С, значение температуры точки росы у земли – 16 °С, были отмечены большие конвекты температуры у поверхности земли (7 °С), неустойчивая стратификация ($(T - T)_{500} = 6$ °С), значительная скорость среднего ветра на уровне 700 гПа (17 м/с). Рассчитанное значение функции $U(X)$ оказалось равным 4,13 > 3. Таким образом, на текущий день 3 июня 2009 года в 00 ч ВСВ по [9] в радиусе 150 км от пункта Долгопрудный прогнозировались шквалы и максимальный ветер со скоростью $V \geq 20$ м/с. По рекомендации автора при значениях $U(X) > 3$ дается прогноз возможного возникновения очень сильных шквалов, смерчей или опасного ветра со скоростью $V \geq 25$ м/с.

Модель гидродинамико-статистического прогноза шквалов, смерчей и сильного ветра

Для разработки автоматизированного объективного метода прогноза шквалов и сильного и опасного ветра двух классов, соответственно,

со скоростью ветра $V \geq 20$ и $V \geq 25$ м/с была создана новая статистическая модель прогноза этих явлений. При этом была исследована независимость и информативность тридцати восьми потенциальных предикторов – значений полей объективного анализа Гидрометцентра РФ (табл. 3).

Таблица 3
Перечень потенциальных предикторов гидродинамико-статистической модели прогноза шквалов и сильного ветра

	Обозначение	Параметры атмосферы
1	P	Давление на уровне моря.
2–6	$H_{1000}, H_{850}, H_{700}, H_{500}, H_{300}$	Геопотенциал на уровне 1000, 850, 700, 500, 300 гПа
7	T_3	Температура у поверхности земли
8–12	$T_{925}, T_{850}, T_{700}, T_{500}, T_{300}$	Температура на уровне 925, 850, 700, 500, 300 гПа
13	Td_3	Температура точки росы у поверхности земли
14–18	$D_{925}, D_{850}, D_{700}, D_{500}, D_{300}$	Дефицит точки росы на уровне 925, 850, 700, 500, 300 гПа
19–28	U_{925} и V_{925}, U_{850} и V_{850}, U_{700} и V_{700}, U_{500} и V_{500}, U_{300} и V_{300}	Горизонтальная и вертикальная компоненты скорости ветра на уровне 925, 850, 700, 500, 300 гПа
29	W	Значение упорядоченных вертикальных движений
30	Iw	Значение индекса неустойчивости Вайттинга
31	$U_{850} - U_{925}$	Разность горизонтальных компонент на уровнях 850 и 925 гПа
32	$V_{850} - V_{925}$	Разность вертикальных компонент на уровнях 850 и 925 гПа
33	$U_{500} - U_{700}$	Разность горизонтальных компонент на уровнях 500 и 700 гПа
34	$V_{500} - V_{700}$	Разность вертикальных компонент на уровнях 500 и 700 гПа
35–37	$ VT_3 , VT_{925} , VT_{850} $	Модуль горизонтального градиента температуры у поверхности земли на уровне 925, 850 гПа
38	ΔP_3	Лапласиан давления у поверхности земли

На новых архивах обучающих выборок этих предикторов для двух классов наличия явлений и их отсутствия методом, описанным в [8], был выбран новый информативный вектор-предсказатель:

$$\mathbf{X}=(H_{1000}, T_3, Td_3, V_{700}, V_{500} - V_{700}, Iw, \nabla T_3, T_{300}). \quad (3)$$

Новые дискриминантные функции $F_1(\mathbf{X})$ и $F_2(\mathbf{X})$ для диагноза и прогноза явлений первого и второго классов были рассчитаны в соответствии с концепцией «совершенного прогноза» РР [8].

В качестве прогностических значений предикторов с заблаговременностью 12–24–36 ч в $F_1(\mathbf{X})$ и $F_2(\mathbf{X})$ были использованы гидродинамические прогнозы полусферной модели атмосферы заданной заблаговременности (автор – Л.В. Беркович [2]).

В узлах сетки 150×150 км, покрывающей Европейскую территорию России и СНГ, рассчитывались значения функций $F_1(\mathbf{X})$ и $F_2(\mathbf{X})$ и зависящие от них вероятности возникновения каждого из двух классов явлений по формулам:

$$P_1(\mathbf{X}) = 100/(1+\text{EXP}(-F_1(\mathbf{X}))), \quad (4)$$

$$P_2(\mathbf{X}) = 100/(1+\text{EXP}(-F_2(\mathbf{X}))). \quad (5)$$

Для прогноза явлений первого и второго классов в связи с ошибками гидродинамического прогноза для заданной заблаговременности 12–24–36 ч были эмпирически скорректированы пороговые вероятности $P_{\text{пор}}$ ($P_{\text{пор}} > 50\%$). По изолиниям пороговой вероятности были выделены области, где прогнозировалось возникновение шквалов или сильного ветра, соответственно, со скоростью $V \geq 20$ и $V \geq 25$ м/с.

Автоматизированный метод гидродинамико-статистического прогноза явлений сильных ветров ($V \geq 20$ м/с) с заблаговременностью 12 и 24 ч, включенный в автоматизированную систему АСООИ Гидрометцентра России, по результатам независимых испытаний [6] был рекомендован ЦМКП Росгидромета для внедрения в оперативную практику. В течение более десяти лет (с 1993 до 2005 года) прогнозы оперативно передавались в региональные УГМС ЕТР по каналам связи в виде телеграмм два раза в сутки. Автоматизированные прогнозы опасного ветра ($V \geq 25$ м/с) с заблаговременностью 12–24–36 ч регулярно рассчитывались в системе АСООИ Гидрометцентра России

с 2000 года и передавались по электронной почте в те региональные УГМС, где после независимых испытаний были рекомендованы техническими советами для внедрения в оперативную практику в качестве или основных, или вспомогательных расчетных методов [3, 10, 14].

Оценки успешности независимых испытаний прогнозов с заблаговременностью 12 и 24 ч сильных шквалов и максимального ветра со скоростью $V \geq 25$ м/с, полученные в четырех УГМС ЕТР, оказались достаточно высокими (критерий Пирси–Обухова составил 0,62–0,75 при общей оправдываемости 88–92%, средней оправдываемости явления 32% и средней предупредительности явлений свыше 88%) [6, 14]. Оценки качества прогноза этих явлений с заблаговременностью 36 ч, полученные в результате независимых испытаний в трех УГМС ЕТР и в Гидрометцентре России, также оказались достаточно успешными (критерий Пирси–Обухова составил 0,66–0,91 при высокой общей оправдываемости 88–97% и средней оправдываемости наличия явления 19% [10].

Прогноз шквалов, смерчей и опасного ветра в летний период 2009 года по модели гидродинамико-статистического прогноза с использованием выходных данных региональной модели

Сравнением в Гидрометцентре России гидродинамических моделей краткосрочного прогноза погоды была проведена адаптация гидродинамико-статистической модели прогноза к выходным данным региональной модели краткосрочного прогноза погоды в сигма-системе координат с горизонтальным разрешением 75 км (автор – В.М. Лосев) [7].

Для синоптиков и отделений Гражданской обороны и МЧС особый интерес представляет прогноз опасного ветра ($V \geq 25$ м/с), шквалов и смерчей на следующие сутки. В связи с этим в течение летних сезонов 2008–2009 гг. в оперативной системе АСООИ Гидрометцентра России в 00 и 12 ч ВСВ в узлах сетки 75×75 км, покрывающей ЕТР и Европу, рассчитывались вероятности прогноза опасного ветра $P_2(\mathbf{X})$ с заблаговременностью 36 и 48 ч (включая шквалы и смерчи) с использованием значений прогностических полей региональной модели.

Ниже дается анализ случаев опасного ветра ($V \geq 25$ м/с), наблюдавшегося на ЕТР летом 2009 года. В качестве примеров прогноза

на рис. 1–4 приведены карты прогнозируемых областей опасного и штормового ветра.

Летом 2009 года, по данным из журналов донесений об опасных явлениях, наибольшее количество таких случаев на Европейской территории России наблюдалось в июне месяце (девятнадцать случаев), в июле (четыре), в августе (четыре, из них три – смерчи на Черном море).

В июне в семнадцати из девятнадцати случаев были успешно даны прогнозы с заблаговременностью 36 ч, в двух случаях прогнозы не были рассчитаны. В июле с заблаговременностью 36 ч были предупреждены три случая опасного ветра, и в одном случае (ветра со скоростью 26–28 м/с в Беслане) в связи со сбоям ЭВМ был дан успешный прогноз этого явления только на текущий день. В августе с заблаговременностью 36 ч были успешно даны прогнозы опасного ветра на 20 августа 2009 года в Северной Осетии и опасного ветра на 8 августа в Сочи, где над морем был отмечен смерч.

На рис. 1 представлена карта изолиний вероятностей прогноза с заблаговременностью 36 ч опасного ветра днем 3 июня 2009 года. В Московской области в этот день были отмечены опасные ветры со скоростью $V=25$ м/с, а поздно вечером того же дня в пос. Краснозаводск Сергиево-Посадского района Московской области наблюдался разрушительный смерч. В тот же день шквалистые усиления ветра со скоростями 19–22 м/с наблюдались в Брянской, Владимирской и Рязанской областях. Область прогноза таких ветров, куда входит и Московская область, ограничена изолинией пороговой вероятности $P=55\%$. На территории, где в узлах сетки отмечены вероятности, большие $P=75\%$, возможно возникновение штормового ветра и даже смерчей.

На рис. 2 дается прогноз опасного ветра с заблаговременностью 48 ч на вечер 3 июня 2009 года и на ночь 4 июня 2009 года. Здесь область прогноза опасного ветра со скоростью $V \geq 25$ м/с, ограниченная пороговой вероятностью $P=52\%$, смещена к северу, по сравнению с рис. 1. Область наиболее высоких вероятностей, достигающих 72–80%, в которой возможно возникновение штормового ветра и смерчей, захватывает северо-запад Московской области. Именно в этой области, в пункте Краснозаводск, вечером 3 июня 2009 года был

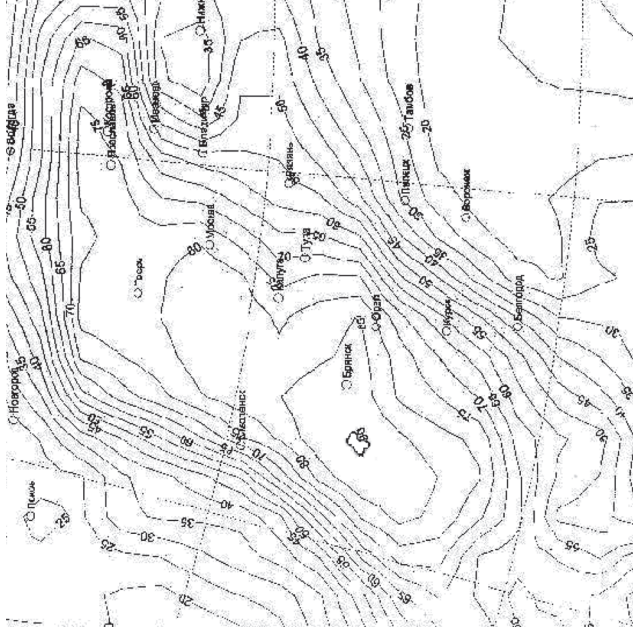


Рис. 1. Расчет прогноза от 02.06.2009 г. в 00 ч ВСВ с заблаговременностью 36 ч на день 3.06.2009 г. Изолинией $P=75\%$ ограничена область прогноза возникновения штормового ветра и смерчей; изолинией $P=55\%$ – область прогноза опасного ветра ($V \geq 25$ м/с)

отмечен разрушительный смерч, и, таким образом, это явление было предусмотрено с заблаговременностью 48 ч.

Шквалистое усиление ветра со скоростью 25 м/с наблюдались в Московской и Рязанской областях 13 июня 2009 года, а в Брянской, Орловской, Курской и Белгородской областях в этот день был отмечен комплекс неблагоприятных конвективных явлений со шквалистыми усилениями ветра до 18–21 м/с. На карте прогноза опасного ветра с заблаговременностью 48 ч на 13 июня 2009 года (рис. 3) по пороговой вероятности $P=52\%$ выделяется область прогноза опасного ветра, захватывающая территории Московской и Рязанской областей. В области, ограниченной изолинией $P=72\%$, прогнозируется возможное возникновение смерчей и сильных шквалов с максимальными порывами, достигающими 30 м/с.

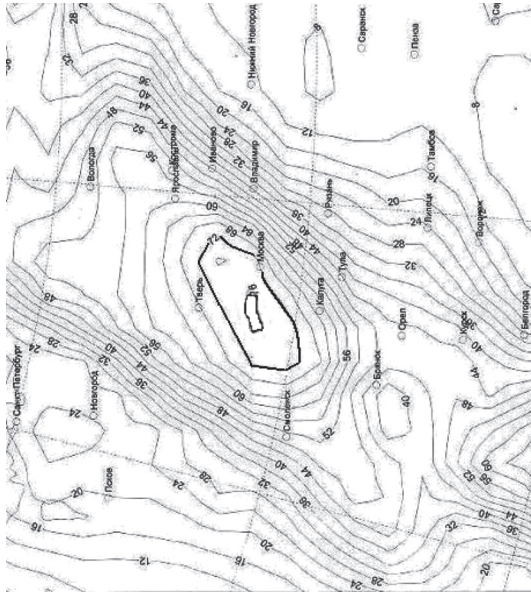


Рис. 2. Расчет прогноза от 02.06.2009 г. в 00 ч ВСВ с заблаговременностью 48 ч на вечер 03.06.2009 г. — ночь 04.06.2009 г. Изолинией $P=72$ (%) ограничена область прогноза возникновения штормового ветра и смерчей; изолинией $P=52$ (%) — область прогноза опасного ветра ($V \geq 25$ м/с)

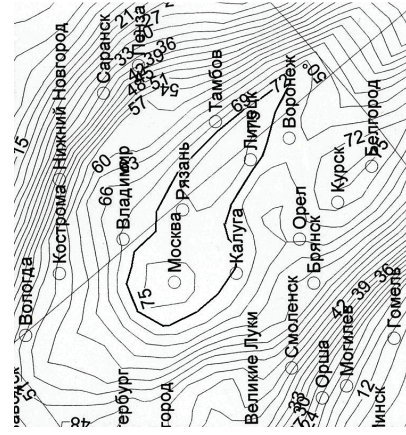


Рис. 3. Расчет прогноза от 12.06.2009 г. в 00 ч ВСВ с заблаговременностью 48 ч на вечер 13.06.2009 г. — ночь 14.06.2009 г. Изолинией $P=72$ (%) ограничена область прогноза возникновения штормового ветра и смерчей; изолинией $P=52$ (%) — область прогноза опасного ветра ($V \geq 25$ м/с)

При продвижении фронта на восток опасные ветры со скоростью от 25 до 30 м/с наблюдались 15 июня 2009 года на территориях Архангельской, Вологодской и Ивановской областей, а 16 июня — на территориях Кировской и Нижегородской областей, и были нами успешно спрогнозированы с заблаговременностью 36 и 48 ч. На рис. 4 представлена карта прогноза опасного ветра на 18 июня 2009 года. Прогноз с заблаговременностью 36 ч давался в 00 ч ВСВ 17 июня 2009 года. На карте выделяется область прогноза, ограниченная изолиниями значений вероятностей $P=84$ и $P=92$ %, что указывает на возможность возникновения в этих областях штормового ветра со скоростью, близкой к 30 м/с. Действительно, в этот день, 18 июня 2009 года, в Самарской и Саратовской областях были отмечены очень сильные шквалы со скоростью ветра до 26–28 м/с.

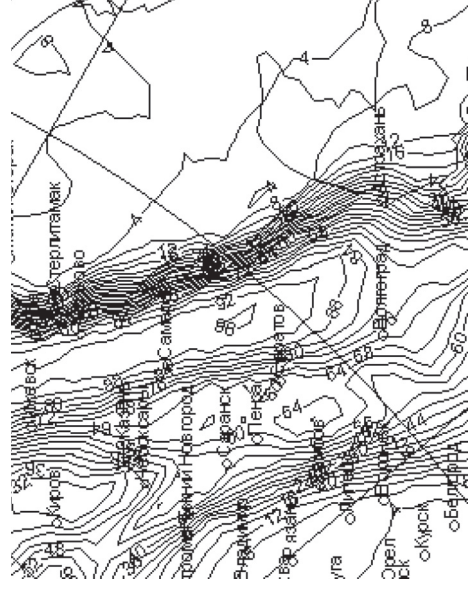


Рис. 4. Расчет прогноза от 17.06.2009 г. в 00 ч ВСВ с заблаговременностью 36 ч на день 18.06.2009 г. Изолинией $P=84$ (%) ограничена область прогноза возникновения штормового ветра и смерчей; изолинией $P=60$ (%) — область прогноза опасного ветра ($V \geq 25$ м/с)

В рамках данной работы не представляется возможным привести все примеры прогноза возникновения опасного ветра и сильных шквалов; предполагается проведение независимых испытаний в летний период 2010–2011 гг.

Заключение

Разработан новый гидродинамико-статистический метод прогноза с заблаговременностью 12–48 ч сильных шквалов, смерчей и опасного ветра ($V \geq 25$ м/с) и их отсутствия. В данном методе в статистической модели использовались выходные данные региональной модели Гидрометцентра России [7].

Проведен анализ оперативных прогнозов на следующие сутки указанных явлений, наблюдавшихся в летний период 2009 года на Европейской территории России. Полученные результаты свидетельствуют об успешности и устойчивости разработанной автором гидродинамико-статистической модели прогноза опасного ветра ($V \geq 25$ м/с) в летний период, а также об успешности используемых в данном методе гидродинамических прогнозов региональной модели Гидрометцентра России.

Поскольку отечественные мезомасштабные гидродинамические модели краткосрочного прогноза погоды, за исключением отдельных случаев, в настоящее время пока не дают успешного прогноза опасного ветра со скоростью 25 м/с и более, включая сильные шквалы и смерчи, наиболее перспективным является прогнозирование этих явлений на основе статистической интерпретации выходной продукции гидродинамических моделей.

Представленный новый гидродинамико-статистический метод прогноза оперативно рассчитывается в системе АСОИИ Гидрометцентра России, как и предыдущий гидродинамико-статистический метод, основанный на выходных данных полусферной модели. Все УГМС Европейской территории России, Республики Беларусь и Украины могут в настоящее время с помощью сервера FTP использовать данный метод прогноза опасного ветра с заблаговременностью 12–48 ч при составлении оперативных прогнозов сильных шквалов и опасного ветра на текущий день и последующие сутки.

Список литературы

1. *Андерсон Т.* Введение в многомерный статистический анализ. — М.: Физматгиз, 1963. — 500 с.
2. *Беркович Л.В., Ткачева Ю.В.* Развитие неадиабатической полусферной prognostической модели атмосферы // Труды ГМЦ СССР. — 1985. — Вып. 277. — С. 3–29.

3. *Булдовский Г.С., Шаколько Е.Н.* О результатах испытания автоматизированного метода прогноза дневной максимальной скорости ветра, связанной с активной конвекцией для территории Московской области и прилегающих областей с заблаговременностью 12 и 24 ч // Информационный сборник № 25. — 2001. — С. 34–37.

4. *Ванник В.Н.* Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. — М.: Наука, 1979. — 447 с.

5. *Васильев Е.В., Лукьянов В.И., Найшуллер М.Г.* Аномальные гидрометеорологические явления по территории Российской Федерации в июне 2009 года // Метеорология и гидрология. — 2009. — № 9. — С. 109–126.

6. *Веселова Г.К., Гайфутдинова Р.Г., Гостева И.П., Дурова Т.В., Овечкина Г.П., Пригодич Н.Ф., Татарова Н.И.* Результаты испытания автоматизированного метода прогноза дневных максимальных скоростей ветра (не менее 20 м/с), связанных с активной конвекцией, заблаговременностью 12 и 24 ч // Информационный сборник № 23. — 1995. — С. 7–12.

7. *Лосев В.М.* Региональная гидродинамическая модель прогноза Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. — М.: Триада ЛТД, 2010. — С. 36–58.

8. *Переходцева Э.В.* Прогноз шквалов статистическими методами классификации на основании диагностических и прогностических синхронных связей // Труды Гидрометцентра СССР. — 1985. — Вып. 271. — С. 37–60.

9. *Переходцева Э.В.* Объективный физико-статистический метод прогноза шквалов (20 м/с и более) на текущий день для Европейской территории. Методические указания. — М., 1992.

10. *Переходцева Э.В., Золин Л.В.* Гидродинамико-статистический прогноз и экспертная система прогноза смерчей на Европейской территории России // Труды Гидрометцентра России. — 2008. — Вып. 342. — С. 45–54.

11. *Решетов Г.Д., Чернова В.Ф.* Способ прогнозирования шквалов на 12–24 ч // Метеорология и гидрология. — 1975. — № 3. — С. 15–24.

12. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 2. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — 488 с.

13. *Шаколько Е.Н., Переходцева Э.В.* О результатах испытания метода прогноза шквалов на Европейской территории СССР с заблаговременностью 12 ч // Информационный сборник № 17. — 1988. — С. 50–53.

14. *Perekhodtseva E.V.* Hydrodynamic-statistical model of forecast to 36h ahead of dangerous convective phenomena –squalls, tornadoes and rainfalls // Research activities in atmospheric and oceanic modeling. — 2002. — Rep. 32, Part 2. — P. 21–23.