

Прогнозирование смерчей и сильных шквалов в Центральном районе России летом 2009 года на основе статистических моделей

Э.В. Переходцева

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России
121243 Москва, Б. Предтеченский пер. 9-11,
e-mail: perekhod@mescom.ru*

В статье представлены результаты исследования условий возникновения сильных шквалов и смерчей на территории Центральной России в летний период 2009 года и прогноза этих явлений с заблаговременностью 36 ч и 48 ч на основе статистической модели прогноза с использованием прогностических полей метеоэлементов региональной модели Гидрометцентра России. Прогнозы этих явлений рассчитываются два раза в сутки ежедневно в оперативной системе Гидрометцентра России и передаются в региональные Управления по гидрометслужбе. В 2011-2012 гг. предполагается проведение верификации гидродинамико-статистических прогнозов сильных шквалов и смерчей на следующий день независимыми экспертами.

Ключевые слова: прогнозирование, гидродинамическая модель, статистическая модель, распознавание образов, шквал, смерч, автоматизация, оперативная синоптическая практика.

Введение

Хорошо известно, что возникновение сильных шквалов и смерчей (торнадо умеренных широт) связано с развитием мощной кучево-дождевой облачностью, и их прогноз даже с заблаговременностью 3 ч (как штормовое предупреждение) является одной из труднейших задач синоптической практики. Рекомендуемые к использованию графические и расчетные методы прогноза этих явлений в значительной степени зависят от интуиции синоптика. Отечественные гидродинамические модели прогноза погоды пока не прогнозируют максимальные порывы приземного ветра скоростью 20 м/с и более. Наилучшие результаты объективного и автоматизированного прогноза сильного ветра, шквалов и смерчей, одобренные в разные годы Центральной методической комиссией Росгидромета и Техническими советами региональных УГМС, были получены с использованием статистической модели прогноза шквалов и сильного ветра.

Количество этих явлений, наблюдаемых в регионах России, отличается год от года. В летний период 2009 года в Центральной России (на европейской части России), было отмечено достаточно большое количество случаев сильного ветра, шквалов и даже смерчи. Это увеличение в значительной степени связано с превышением летом 2009 года, особенно в июне месяце, меридионального воздухообмена в атмосфере на 14-16%. Примерно такая же ситуация наблюдалась и в некоторые, наиболее «урожайные» на эти явления годы и в прошлом.

Прогнозирование шквалов и смерчей по физико-статистической модели прогноза в Центральном районе России

Физико-статистическая модель прогноза шквалов ($V > 19 \text{ м/с}$)

Как было представлено в [1], первым объективным физико-статистическим методом прогноза шквалов, смерчей и сильного летнего ветра со скоростью более 19 м/с стал

метод прогноза этих явлений, основанный на статистической модели распознавания этих явлений и их прогноза. В этой модели метеорологическая ситуация, способствующая возникновению указанных явлений представлялась как многомерный вектор $\mathbf{X}(A)=(x_1(A), x_2(A), \dots x_n(A))$, где n – число физически обоснованных эмпирически выявленных параметров атмосферы (предикторов), влияющих на их возникновение ($n = 26$). Значения этих параметров архивировались и составили обучающую выборку наличия явления A - архив $\{\mathbf{X}(A)\}$. Определенным образом была также сформирована обучающая выборка отсутствия явления A (или наличия явления B) – архив $\{\mathbf{X}(B)\}$. Модель распознавания векторов обучающих выборок $\{\mathbf{X}(A)\}$ и $\{\mathbf{X}(B)\}$ была построена с использованием байесовского подхода, описанного в [2] и [3]. Предварительно решалась задача отбора из 26-ти параметров (без значительной потери информации) наиболее информативного вектора-предсказателя для прогноза сильных шквалов [3, 4]. Использовались критерий минимальной энтропии H_{\min} Вапника-Червоненкиса [5] и расстояние Махalanобиса Δ_i^2 [2, 3]. В результате был сформирован наиболее информативный вектор-предсказатель, в который вошли шесть параметров атмосферы, характеризующие в совокупности состояние атмосферы в пограничном слое и ее гидродинамическую неустойчивость, а также поле ветра в средней тропосфере и возможность образования кучево-дождевых облаков высокого вертикального развития:

$$(V_{700}, T_3, Td_3, H_0, (T-T')_{500}, dt/dn_3),$$

где: V_{700} – значение средней скорости ветра на уровне 700 гПа в м/с; H_0 – уровень изотермы 0°C в гПа; T_3 – значение максимальной температуры на уровне земли, в °C; $-Td_3$ – максимальное значение точки росы на уровне земли, в °C; $(T'-T)_{500}$ – разность значений влажной адиабаты и кривой стратификации на уровне 500 гПа в °C; $-dt/dn_3$ – максимальная разность между значениями температуры на приземном фронте в радиусе 250 км от пункта прогноза. На основе этой модели альтернативного прогноза была получена на прогностической выборке прогностическая дискриминантная функция $U(\mathbf{X})$:

$$U(\mathbf{X})=\sum a_i x_i + c, i=1, 6.$$

Правило прогноза состоит в том, что при $(T-T')_{500} > 0$ и при $U(\mathbf{X}) > 0$ в пункте и его окрестности дается прогноз шквалов, смерчей и ветра скоростью $V > 19$ м/с, в противном случае прогнозируется отсутствие этих явлений. Этот физико-статистический метод прогноза был рекомендован для использования в оперативной практике [3, 6].

Физико-статистический прогноз шквалов и смерчей в Центральном районе России

В таблице 1 приводятся значения прогностической функции $U(\mathbf{X})$ и входящих в нее параметров, полученные при прогнозе смерчей, наблюдавшихся в Центральном районе России в 1984-1986 гг [6]. Значения $U(\mathbf{X})$ оказалось существенно больше нуля. По вышеуказанному правилу прогноз в таком случае прогнозируются очень сильные шквалы и даже смерчи (синоптики во всех этих случаях прогнозировали грозы с усилением скорости ветра до 15-18 м/с [6]). При этом расчет прогностических значений параметров тогда не был автоматизирован, для этого использовалась модель конвекции, построенная по аэrogramме.

Таблица 1. Прогноз смерчей 1984-1986 гг на текущий день по сроку 00ч СГВ по значениям функции $U(\mathbf{X})$

<i>Пункт</i>	<i>Дата</i>	V_{700}	H_0	$(T'-T)_{500}$	$\frac{\partial T}{\partial n_3}$	T_{max}	Td_{max}	$U(\mathbf{X})$
Иваново	9.06.1984	13	630	9	5	24	15,0	3,6
Зарайск	02.08.1984	22	715	3	2	21	14,6	1,9
Пенза	21.08.1986	20	630	6	4	31	16,0	7,9
Рязань	26.08.1986	22	660	7	3	30	15,0	7,3
Москва	31.08.1986	18	615	2	3	31	13,5	7,9

Кроме примеров, приведенных в таблице 1, в те же годы были успешно даны прогнозы таких явлений и их отсутствия в Северо-Западном Округе, в Центрально-Черноземных областях и даже на Украине [6]. Мы решили апробировать этот метод, использующий данные из автоматически рассчитываемой модели конвекции, к прогнозу смерча, наблюдавшегося этим летом в Московской области.

Вечером 3 июня 2009 года в пункте Краснозаводск Московской области был отмечен смерч, который нанес значительные разрушения. По данным, полученным ближайшей метеостанцией в г. Долгопрудный, были рассчитаны в соответствии с [6] прогностические значения необходимых параметров и значение прогностической дискриминантной функции $U(\mathbf{X})$ ($U(\mathbf{X})=4,13$). Значение максимальной температуры составляло 23 градуса С, значение точки росы у земли - 16 градусов. Однако были отмечены большие контрасты температуры у земли (максимальное значение – 7 градусов С), неустойчивая стратификация ($(T'-T)_{500}=6$ градусов С) и значительная скорость ветра в средней тропосфере на уровне 700гПа (17м/с). При значении $U(\mathbf{X})=4,13$ в окрестности данного пункта прогнозируется возникновение очень сильного шквала или даже смерча. В других случаях не удалось получить аналогичные данные у синоптиков.

Модель гидродинамико-статистического прогноза сильных шквалов и смерчей на данных полусферной модели

Для разработки оперативного автоматизированного прогноза сильного ветра двух классов, включая шквалы и смерчи (со скоростью ветра более 19 м/с и скоростью ветра более 24 м/с) была создана модель гидродинамико-статистического прогноза. При этом свойство парной независимости предикторов и их информативность исследовались уже для 38 потенциальных предикторов. На новых архивах обучающих выборок явлений двух классов и их отсутствия (на данных объективного анализа) были выбраны тем же эмпирико-статистическим методом [3, 4] новые информативные векторы-предсказатели и рассчитаны новые дискриминантные функции $F_1(\mathbf{X})$ и $F_2(\mathbf{X})$ соответственно для диагноза и прогноза явлений первого и второго класса. Прогностические $F_1(\mathbf{X})$ и $F_2(\mathbf{X})$ зависели от прогностических значений полей давления, приземной температуры и влажности, скорости ветра и сдвига ветра в средней тропосфере, гидродинамической неустойчивости (индекса Вайтинга), модуля горизонтального градиента температуры у земли, значения температуры на уровне 300 гПа, полученных из полусферной модели Гидрометцентра (автор- Беркович Л.В.) ч. По значениям функций $F_1(\mathbf{X})$ и $F_2(\mathbf{X})$ в узлах сетки 150x150км, покрывающей Европейскую территорию России (ЕТР) и СНГ, рассчитывались также вероятности возникновения (в процентах) явлений двух классов по формулам:

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

$$P_2(\mathbf{X})=100/(1+\text{EXP}(-F_2(\mathbf{X}))) \quad (2)$$

По значениям вероятностей, превышающим эмпирически найденную для каждого класса и каждой заблаговременности пороговую вероятность $P_{\text{пор}}$, выделялись изолинией соответствующей пороговой вероятности прогнозируемые области возникновения сильных ветров, шквалов и смерчей первого класса [1, 7, 8] и второго класса [1, 8-10]. Результаты верификации (критерий Пирси-Обухова составил $T=0,62 - 0,75$) этого метода прогноза шквалов, смерчей и ветра скоростью $V>24\text{м/с}$ заблаговременностью 36ч представлены в работах [1, 4, 9, 10]. В качестве примеров приводятся прогнозы смерчей в Ленинградской и Псковской областях 5.07.2002 г, в Москве 20.07.2001 г, в Дубне 26.06.2005 г. и др.

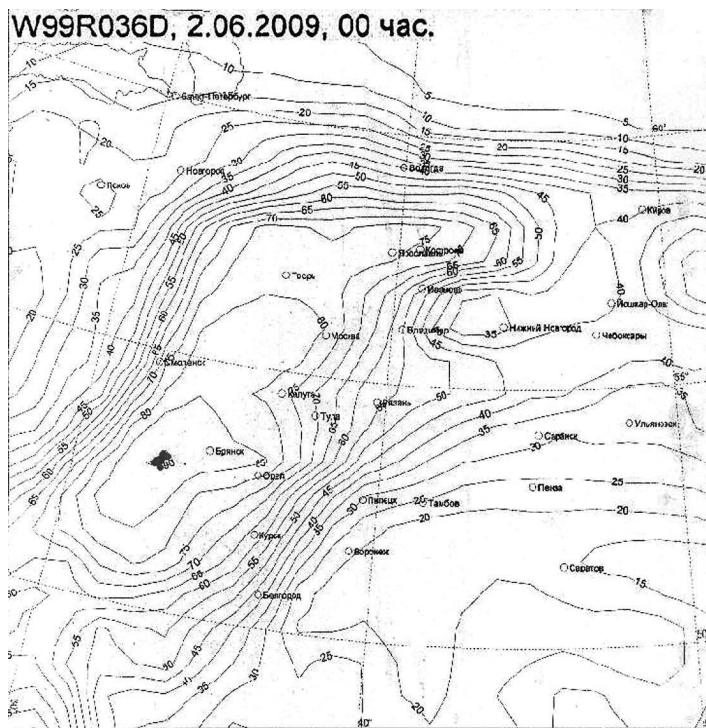
Прогноз сильных шквалов и смерчей в Центральном районе России летом 2009 года на данных региональной модели Гидрометцентра РФ

Гидродинамико-статистический прогноз дневных сильных шквалов и смерчей по дискриминантной функции $F_2(\mathbf{X})$ с использованием выходных прогнозов региональной модели Гидрометцентра России, описанной в [1], с заблаговременностью 12-24-36-48 ч в течение летних сезонов 2008-2009гг рассчитывался ежедневно два раза в день по срокам 00ч и 12 ч ВСВ (среднего Гринвичского времени). Значения $P_2(\mathbf{X})$ рассчитывались по формуле (2) в узлах сетки 75x75км, покрывающей Европейскую территорию России и Европу. Изолинией пороговых вероятностей $P_{\text{пор}}$ для заблаговременности 36 ч и 48 ч (для синоптиков особый интерес представляют прогнозы на следующий день) с помощью графического пакета ИЗОГРАФ (автор – Алферов Ю. В.) автоматически выделяется область прогнозируемого опасного ветра скоростью $V>24\text{м/с}$. В докладе и статье [1] приводятся примеры данного прогноза сильного ветра и сильных шквалов летом 2008 года. В настоящей статье анализируются метеоситуации, в которых наблюдались сильные шквалы, и приводятся прогнозы сильных шквалов и штормового ветра за 36 и 48 ч.

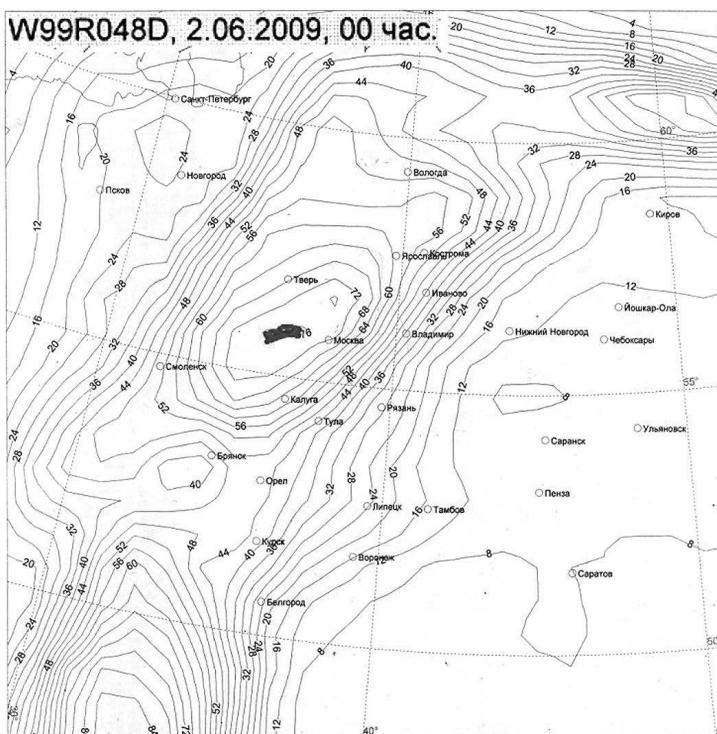
В летний период 2009 года в Центральном районе России и в прилегающих к нему областях наибольшее количество сильных шквалов и смерч наблюдалась в июне (19); в июле было отмечено 4 таких случая, в, и в августе – 4 (из них 3 случая смерчей не в Центральном районе, а над Черным морем около г. Сочи). В июне с заблаговременностью 36ч были даны прогнозы в 17 случаях, в двух случаях прогнозы не были рассчитаны. В июле были предупреждены за 36 ч 3 случая, один случай в связи с простоем ЭВМ не имел был дан лишь прогноз ветра скоростью 26-28м/с в Беслане на текущий день. В августе за 36 ч были успешно спрогнозированы 2 случая: был дан прогноз опасного ветра скоростью 30 м/с в Северной Осетии, и был дан прогноз одного смерча на 8 августа в Сочи. Для двух других случаев смерчей над Черным морем был дан прогноз ветра с $V>19$ м/с.

В Московской области днем 3 июня 2009 года были отмечены опасные ветры скоростью 25м/с, а поздно вечером того же дня в поселке Краснозаводск Московской области наблюдался смерч. На рис. 1 представлена карта изолиний вероятностей возникновения опасного ветра днем 3 июня 2009 года с заблаговременностью 36ч. На рис. 2 дается прогноз заблаговременностью 48ч на вечер 3 июня и на ночь 4 июня. Область прогноза опас-

ногого ветра $V>24\text{м/с}$ и область наиболее высоких вероятностей, достигающих 72-80%, захватывает север Московской области, где и был отмечен смерч.



*Рис. 1. Область прогноза возможного возникновения штормового ветра и смерчей на день 03.06.09. ограничена изолинией $P=80\%$. Область прогноза ветра $V>24\text{м/с}$ ограничена изолинией $P=55\%$.
Дата расчета прогноза на 36ч – 02.06.09., время – 00ч ВСВ*



*Рис. 2. Область прогноза возможного возникновения штормового ветра и смерчей на вечер 03.06.09.-ночь 04.06.09. ограничена изолинией $P=72\%$. Область прогноза ветра $V>24\text{м/с}$ ограничена изолинией $P=52\%$.
Дата расчета прогноза на 48ч – 02.06.09., время – 00ч ВСВ*

Также 13 июня 2009 года также наблюдались шквалистые усиления ветра скоростью 25м/с в Московской и Рязанской областях. На карте прогноза на 48ч в этот день также выделяется область вероятностей прогноза, достигающих $P=80\%$.

При продвижении холодного фронта на восток опасные ветры с $V>24\text{м/с}$ наблюдались и были успешно спрогнозированы на 15 июня 2009 года для территории Архангельской, Вологодской и Ивановской областей, на 16 июня за 24ч, 36ч и 48ч – для территории Кировской и Нижегородской областей (рис. 3, 4, 5), в которых наблюдались усиления шквалистого ветра от 24м/с до 30м/с. Аналогичная визуализация методического прогноза на 36 и 48ч получена для большинства случаев сильных шквалов и штормового ветра, наблюдавшихся в Центральном районе России в 2009 году.

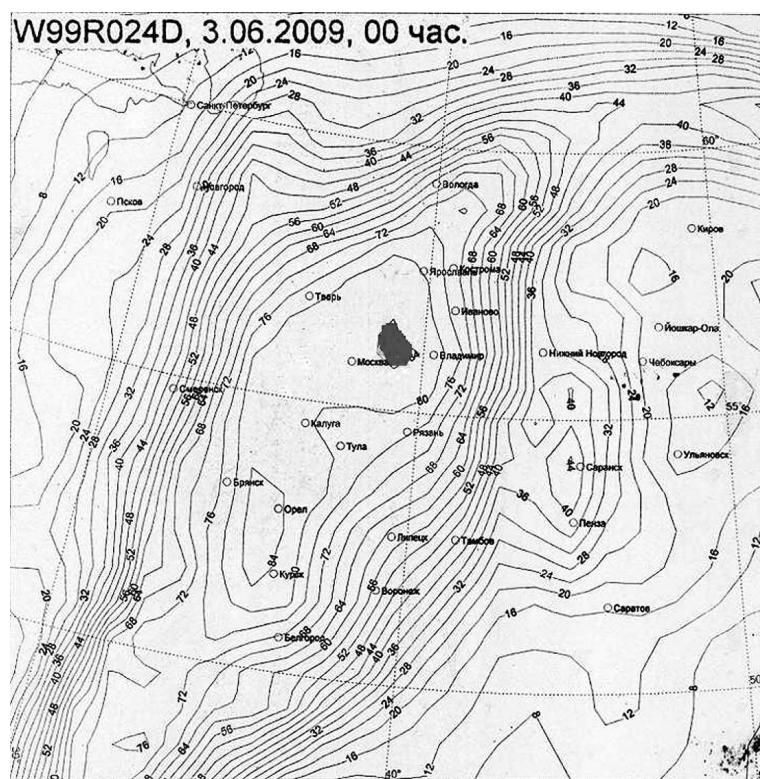


Рис.3. Область прогноза возможного возникновения штормового ветра и смерчей на день 15.06.09. ограничена изолинией $P=80\%$. Область прогноза ветра скоростью $V>24\text{м/с}$ ограничена изолинией $P=56\%$.
Дата расчета прогноза на 24ч - 14.06.09, время – 12ч ВСВ

Заключение

Проведенные в течение летних периодов 2008-2009гг. оперативные расчеты прогноза сильных шквалов и смерчей с заблаговременностью 36ч и 48ч с использованием статистической модели на основе данных региональной модели Гидрометцентра России показали успешность прогноза этих явлений и их отсутствия. Это свидетельствует об успешности и устойчивости разработанной статистической модели прогноза сильных шквалов и смерчей и подтверждает также успешность используемых гидродинамических прогнозов региональной модели Гидрометцентра России.

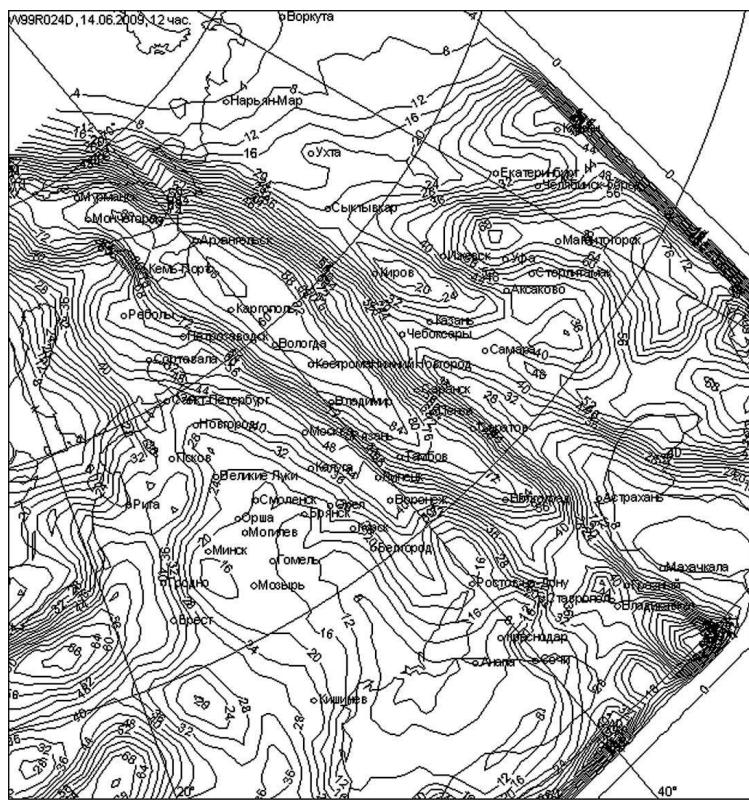


Рис.4. Область прогноза возможного возникновения штормового ветра и смерчей на день 16.06.09. ограничена изолинией $P=72\%$. Область прогноза ветра скоростью $V>24\text{м/с}$ ограничена изолинией $P=52\%$.

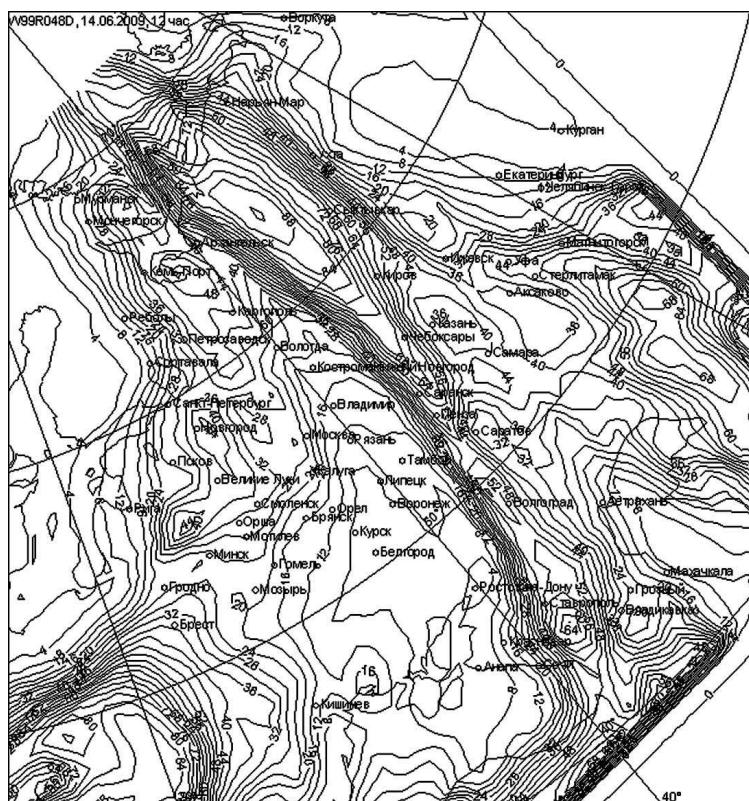


Рис.5. Область прогноза возможного возникновения смерчей и штормового ветра на день 16.06.09. ограничена изолинией Р=80%. Область прогноза ветра скоростью V>24м/с ограничена изолинией Р=56%.

Литература

1. Переходцева Э.В. Анализ устойчивости гидродинамико- статистической модели прогноза шквалов и смерчей для территории России // Сборник статей «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА» Москва. 2009. Вып.6, т. I. С.155-162.
2. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ // М. Физматгиз, 1963. 500с.
3. Переходцева Э.В. Прогноз шквалов статистическими методами классификации на основании диагностических и прогностических синхронных связей // Труды Гидрометцентра СССР, 1985. Вып. 271, с. 37-60.
4. Переходцева Э.В. Модель гидродинамико-статистического прогноза сильных летних шквалов и смерчей // Сборник трудов 58-ой научно-технической конференции МИРЭА. Москва. 2009. ч. 2. С. 58-64.
5. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. // М.. Наука, 1979. 447с.
6. Переходцева Э.В. Объективный физико-статистический метод прогноза шквалов (20м/с и более) на текущий день для европейской территории. Методические указания // Москва. 1992. 10 с.
7. Веселова Г.К., Гайфутдинова Р.Г., Гостева И.П., Дурова Т.В. . Результаты испытания автоматизированного метода прогноза дневных максимальных скоростей ветра (не менее 20м/с), связанных с активной конвекцией, заблаговременностю 12 и 24 ч // Информационный сборник. 1995. № 23. С.7-12.
8. Булдовский Г.С., Шакотько Е.Н. О результатах испытания автоматизированного метода прогноза дневной максимальной скорости ветра, связанной с активной конвекцией для территории Московской области и прилегающих областей с заблаговременностю 12 и 24ч // Информационный сборник. 2001. № 25. С.34-37.
9. 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.
10. 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.

The prediction of tornadoes and severe squalls over the Central region of Russia on the summer of the year of 2009 on the basis of the statistical models

E.V. Perekhodtseva

*Hydrometeorological Research Center
121243 Moscow, B. Predtechenskii line, 9-11
e-mail:perekhod@mecom.ru*

The results of the researches of the appearance conditions of the severe squalls and tornadoes over the territory of Central Russia during the summer period of the year of 2009 and of the forecast of these phenomena with the earliness of 36 and 48 hours on the basis of the statistical model of the forecast with the using of the prognostic fields of the regional model of Hydrometeorological Center of Russia are submitted. The forecasts of these phenomena are calculated two times per day in the operative system of Hydrometcenter and are transmitted to Region Departments of Hydrometeorology. The verification of these forecasts to next day of the tornadoes and severe squalls will perform by independent experts on the years of 2011-2012.

Keywords: the prediction, the hydrodynamic model, the statistical model, the recognition of images, the squall, the tornado, the operative synoptic practice.