

**ГИДРОДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗА  
ШКВАЛОВ И ОЧЕНЬ СИЛЬНОГО ВЕТРА  
В ГРАДАЦИИ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД  
С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 12–36 Ч  
ПО ВЫХОДНЫМ ДАННЫМ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ  
ДЛЯ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

**Введение**

На протяжении более 20 лет в ФГБУ «Гидрометцентр России» развивается направление статистического прогнозирования шквалов. Некоторые из разработанных методов внедрены в оперативную практику прогнозирования.

Разработанный в ФГБУ «Гидрометцентр России» автоматизированный (основанный на статистической интерпретации прогнозов полусферной неадиабатической модели [1]) метод прогноза дневных максимальных скоростей ветра (не менее 20 м/с), связанных с активной конвекцией, заблаговременностью 12 и 24 ч решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 17.03.1993 г. рекомендован к использованию в качестве вспомогательного материала в оперативной практике Северо-Западного, Северо-Кавказского, Верхне-Волжского, Башкирского УГМС и Гидрометцентра России [3]. Прогнозы в оперативном режиме передавались в прогностические подразделения этих УГМС в виде телеграмм через ГРМЦ Росгидромета два раза в сутки (расчет производился в 00 и 12 ч ВСВ) до 2006 г. включительно.

Метод автоматизированного прогноза максимальной скорости ветра ( $\geq 25$  м/с), связанного с активной конвекцией, с заблаговременностью 12 и 24 ч Ученым советом Гидрометцентра России на заседании 20.03.1996 г. рекомендован к внедрению в оперативную практику Гидрометцентра России в качестве вспомогательного [2].

Метод автоматизированного гидродинамико-статистического прогноза опасных летних ветров с заблаговременностью 12 и 36 ч, а также летних ветров скоростью 20 м/с и более на текущий день решением Техсовета УГМС Республики Татарстан от 15 февраля 2005 г. внедрен как консультативный к синоптическому методу [5].

В последние годы продолжилось развитие данного подхода к прогнозу шквалов на другой гидродинамической модели.

**Адаптация гидродинамико-статистической модели прогноза сильных и опасных летних ветров, включая шквалы и смерчи, к выходным полям региональной модели  
Гидрометцентра России**

В связи с демонтажом в Гидрометцентре России ЭВМ COMPAREX используемая оперативная модель краткосрочного прогноза погоды – полусферная гидродинамическая модель по полным уравнениям (автор – Л.В. Беркович) – была заменена в данных исследованиях новой оперативной гидродинамической моделью, функционирующей на действующих ЭВМ, а именно региональной моделью Гидрометцентра России с горизонтальным разрешением 75x75 км (автор – В.М. Лосев [4]). В 2007–2008 гг. проводилась адаптация статистической модели прогноза сильных и опасных летних ветров, включая шквалы и смерчи, к выходной продукции региональной модели. Были уточнены дискриминантные функции  $F_1(\mathbf{X})$  и  $F_2(\mathbf{X})$  для прогноза скорости ветра, соответственно, двух градаций:  $V \geq 20$  м/с и  $V \geq 25$  м/с и определяемые по ним прогнозируемые пороговые вероятности  $P_1(\mathbf{X})$  и  $P_2(\mathbf{X})$  возникновения явления [6, 7].

Гидродинамические прогнозы полей метеоэлементов региональной модели с разрешением 75x75 км рассчитываются в утреннем сеансе за срок 00 ч ВСВ и в дневном сеансе – за срок 12 ч ВСВ с заблаговременностью 12, 24, 36 и 48 ч. В эти же сроки по прогностическим полям в узлах модельной сетки рассчитываются значения дискриминантных функций  $F_1(\mathbf{X})$  и  $F_2(\mathbf{X})$ . Предикторами прогностической зависимости, как и в ранее полученных дискриминантных функциях, являются прогностические поля геопотенциала на уровне 1000 гПа, приземной температуры, скорости ветра на уровне 700 гПа и температуры на уровне 300гПа, а также рассчитанные на основе модельных полей влажность у земли (точка росы), гидродинамическая неустойчивость (индекс Вайтинга) и модуль горизонтального градиента температуры у земли.

Значения вероятностей (в процентах)  $P_1(\mathbf{X})$  и  $P_2(\mathbf{X})$ , зависящие, соответственно, от значений  $F_1(\mathbf{X})$  и  $F_2(\mathbf{X})$ , рассчитываются также в узлах декартовой сетки региональной модели. Они записываются в базу данных RGPR ФГБУ «Гидрометцентр России» как поля вероятностей K99R012D-048D (для  $P_1(\mathbf{X})$ ) и W99R012D-048D (для  $P_2(\mathbf{X})$ ). Эти поля по просьбе пользователей передаются в настоящее время также и на FTP-сервер ФГБУ «Гидрометцентр России».

После получения полей вероятностей из базы RGPR с помощью графического пакета ИЗОГРАФ (автор – Ю.В. Алферов) на бланке карты ЕТР можно расчертить изолинии равных вероятностей. Прогнозируемые области сильного и опасного ветра выделяются по задаваемой для каждой заблаговременности пороговой вероятности  $P_{\text{пор}}$ . Эмпирически выбранное значение пороговой вероятности для прогнозов с заблаговременностью 12 ч скорости ветра  $V \geq 20$  м/с равно  $P_{\text{пор}} = 60$  %, скорости ветра  $V \geq 25$  м/с –  $P_{\text{пор}} = 65$  %. Значения пороговой вероятности для прогнозов скорости ветра  $V \geq 25$  м/с заблаговременностью 24 и 36 ч были выбраны равными  $P_{\text{пор}} = 60$  %.

В результате авторской проверки в 2009 году получены удовлетворительные результаты оценки прогнозов сильных шквалов и опасного ветра скоростью 25 м/с и более [6]. Метод прогноза шквалов и очень сильного ветра в градации опасных явлений по выходным данным региональной модели с заблаговременностью 12–36 ч был включен в План испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических методов прогноза Росгидромета на 2010-2011 гг. Испытания для территории Центрального федерального округа (ЦФО) ЕТР проводились в лаборатории испытаний Гидрометцентра России под руководством А.Н. Багрова.

Оценка прогнозов шквалов и порывов ветра с учетом допусков по скорости ветра, согласно Наставлению [11], проводилась в двух градациях ( $V \geq 20$  м/с и  $V \geq 25$  м/с) на текущий день с заблаговременностью 12 ч (счет в 00 ч ВСВ). Оценивались прогнозы, как уже было сказано, для ЦФО – по входящим в него семнадцати областям, а также по узлам модельной сетки (17x18 узлов). В пределах территории области выбирался из прогнозов по узлам сетки прогноз наиболее опасного ветра и сравнивался с наблюдаемой скоростью наиболее опасного ветра на метеорологических станциях и, согласно журналу фиксирования опасных явлений, в пунктах, где метеорологические наблюдения не ведутся.

### **Результаты испытаний методов прогноза сильных шквалов и максимальных порывов летнего ветра по территории ЦФО на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России**

При прогнозе сильных шквалов и опасных порывов ветра скоростью 20 м/с и более и 25 м/с и более в заданной области прогноз давался в том случае, если в ней находился хотя бы один узел модельной сетки 75x75 км, в котором значение вероятности прогноза из поля W99R012D  $P_2(X)$  (в процентах) было равно или превышало пороговое значение: соответственно

$P_{пор.} = 60\%$  для прогноза  $V \geq 20$  м/с либо  $P_{пор.} = 65\%$  для прогноза  $V \geq 25$  м/с. В противном случае давался прогноз отсутствия явлений. В случае устойчивой стратификации сразу прогнозировалось отсутствие этих явлений.

Прогноз таких явлений считался оправдавшимся (в соответствии с Наставлением [11], с учетом допусков), если в области фактически наблюдался сильный шквал или максимальные порывы ветра со скоростью 18 и 22 м/с и более соответственно.

В лаборатории испытаний Гидрометцентра России А.Н. Багровым была разработана программа автоматизированной оценки альтернативного метода прогноза сильного ( $V \geq 18$  м/с) и опасного ( $V \geq 22$  м/с) ветра. Испытания проводились в течение летних сезонов 2010-2011 гг. Напомним, что летом 2010 года почти в течение полутора месяцев в Центрально-Черноземных областях, в Московской области и в Поволжье наблюдалась засуха в связи с аномально высокими дневными и ночными температурами у поверхности земли при наличии блокирующего антициклона.

Показатели успешности прогнозов рассчитываются с помощью таблицы сопряженности:

Прогноз	Фактическое количество случаев		Сумма
	с явлением	без явления	
с явлением	$k_{11}$	$k_{12}$	$k_{10}$
без явления	$k_{21}$	$k_{22}$	$k_{20}$
Сумма	$k_{01}$	$k_{02}$	$k_{00}$

где  $k_{11}$  – явление прогнозировалось и наблюдалось;

$k_{22}$  – явление не прогнозировалось и не наблюдалось;

$k_{12}$  – явление прогнозировалось, но не наблюдалось («ложные тревоги»);

$k_{10} = k_{11} + k_{12}$  – общее число случаев, когда прогнозировалось явление;

$k_{21}$  – явление не прогнозировалось, но наблюдалось («пропуск цели»);

$k_{20} = k_{21} + k_{22}$  – общее число случаев с прогнозом отсутствия явления;

$k_{01} = k_{11} + k_{21}$  – общее число случаев с наличием явления;

$k_{02} = k_{12} + k_{22}$  – общее число случаев с отсутствием явления;

$k_{00} = k_{01} + k_{02}$  или  $k_{10} + k_{20}$  – общее число случаев.

Показатели успешности прогнозов рассчитываются по формулам:

– оправдываемость явления  $U_r, \%$

$$U_r = \frac{k_{11}}{k_{10}} \cdot 100; \quad (1)$$

– предупрежденность явления  $P_r$ , %

$$P_r = \frac{k_{11}}{k_{01}} \cdot 100; \quad (2)$$

– предупрежденность случаев без явления  $P_{or}$ , %

$$P_{or} = \frac{k_{22}}{k_{02}} \cdot 100; \quad (3)$$

– «ложные тревоги» с явлением  $LT_r$ , %

$$LT_r = \frac{k_{12}}{k_{10}} \cdot 100; \quad (4)$$

– «пропуск цели»  $PC_r$ , %

$$PC_r = \frac{k_{21}}{k_{01}} \cdot 100; \quad (5)$$

– критерий Пирси-Обухова  $T$ :

$$T = \frac{k_{11}}{k_{01}} - \frac{k_{12}}{k_{02}} \quad (6)$$

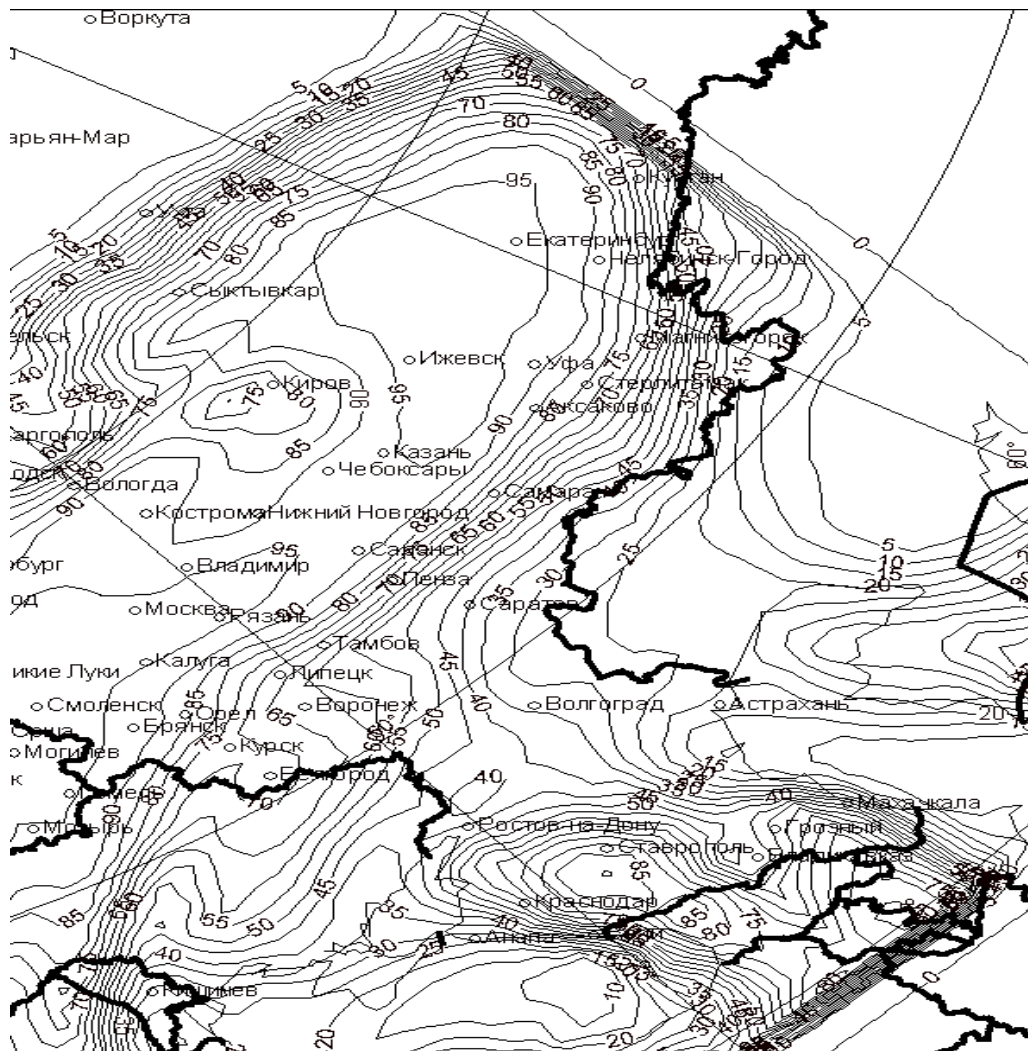
Результаты оперативных испытаний гидродинамико-статистического прогноза сильных летних шквалов и порывов ветра скоростью  $V \geq 18$  м/с (пороговая вероятность  $P_{пор} = 60$  %) и  $V \geq 22$  м/с (пороговая вероятность  $P_{пор} = 65$  %) на текущий день (с заблаговременностью 12 ч от 00 ч ВСВ) для 17 областей Центрального федерального округа представлены в табл. 1.

Полученные по двум годам оценки предупрежденности явлений очень сильного ветра ( $P_r = 72$  %) и его отсутствия ( $P_{or} = 77$  %) свидетельствуют о том, что по областям ЦФО методом предупреждается большая часть явлений очень сильного ветра ( $\geq 22$  м/с). Это касается и предупрежденности значительной доли его отсутствия. В связи с этим и критерий Пирси-Обухова составляет  $T = 0,49$ , что является вполне удовлетворительной оценкой для прогноза явлений, повторяемость которых составляет менее одного процента.

Кроме того, аналогичная автоматизированная оценка прогнозов проводилась по узлам сетки 75x75 км [10], покрывающей территорию ЦФО по небольшим областям радиусом 38 км от узлов модельной сетки прогноза. Результаты оценки представлены в табл. 2.

Показатели качества прогнозов ветра  $V \geq 22$  м/с за два года по этим небольшим областям, входящим в ЦФО, несколько ниже, но критерий Пирси составил  $T = 0,42$  при повторяемости явлений, составляющей уже 0,2 %.

На рис. 1 представлен пример прогноза сильного ветра в ЦФО на 13.06.2010 г. Фактически в Московской области наблюдался ветер 24 м/с, в Ивановской области – 30 м/с, в Рязанской области – 33 м/с. Вероятности прогноза по этим территориям ( $P_{\text{пор}} = 80\text{--}95\%$ ) существенно выше пороговой вероятности  $P_{\text{пор}} = 65\%$ .



**Рис. 1. Прогноз скорости ветра на 13.06.2010 г. с заблаговременностью 12 ч. Область прогноза ветра скоростью 24 м/с выделяется изолинией пороговой вероятности  $P=65\%$ .**

**Результаты испытаний метода прогноза шквалов и очень сильного ветра  
скоростью 22 м/с и более по ЕТР**

В лаборатории испытаний ФГБУ «Гидрометцентр России» также была проведена автоматизированная оценка альтернативного прогноза порывов ветра скоростью  $V \geq 22$  м/с для ЕТР на текущий день с заблаговременностью 18 ч от срока 00 ч ВСВ..

Оценка проводилась для узлов модельной сетки 75x75 км, покрывающих ЕТР, аналогичным способом, что и для территории ЦФО. Прогноз явления давался при условии, что значение вероятности в узле  $P_{пор} \geq 65\%$ .. При этом прогноз считался оправдавшимся, если в радиусе 38 км от узла сетки наблюдался ветер скоростью  $V \geq 22$  м/с.

Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Оценки прогноза ветра  $V \geq 22$  м/с по сроку 00 ч ВСВ на текущий день по узлам  
модельной сетки 75x75 км территории ЕТР**

Период испытаний	Исходная матрица прогнозов			$P_r$	$P_{or}$	$PC_r$	$LT_r$	$U_r$	Г
	k11	k12	k10						
15.05–16.09 2010 г.	21	20368	20389	71,6	81,4	28,4	98,9	1,1	0,53
	74	25016	25090						
	53	4648	4701						
15.05–16.09 2011 г.	26	22251	22277	25,7	86,6	74,3	99,7	0,3	0,14
	35	25108	25143						
	9	2857	2866						
Летние сезоны 2010–2011 гг.	109	50124	50233	56,9	85,0	43,1	99,2	0,8	0,42
	47	42619	42666						
	62	7505	7567						

Как видно из таблицы, за период 2010–2011 гг. 56,9 % явлений и 85 % их отсутствия предусмотрены прогнозом. Но процент «ложных тревог» при этом очень велик (99,2 %), на что необходимо обратить внимание синоптиков при использовании представленной методики. На рис. 2 приводится пример расчета прогноза сильных шквалов и ветра на 29.07.2010 г.

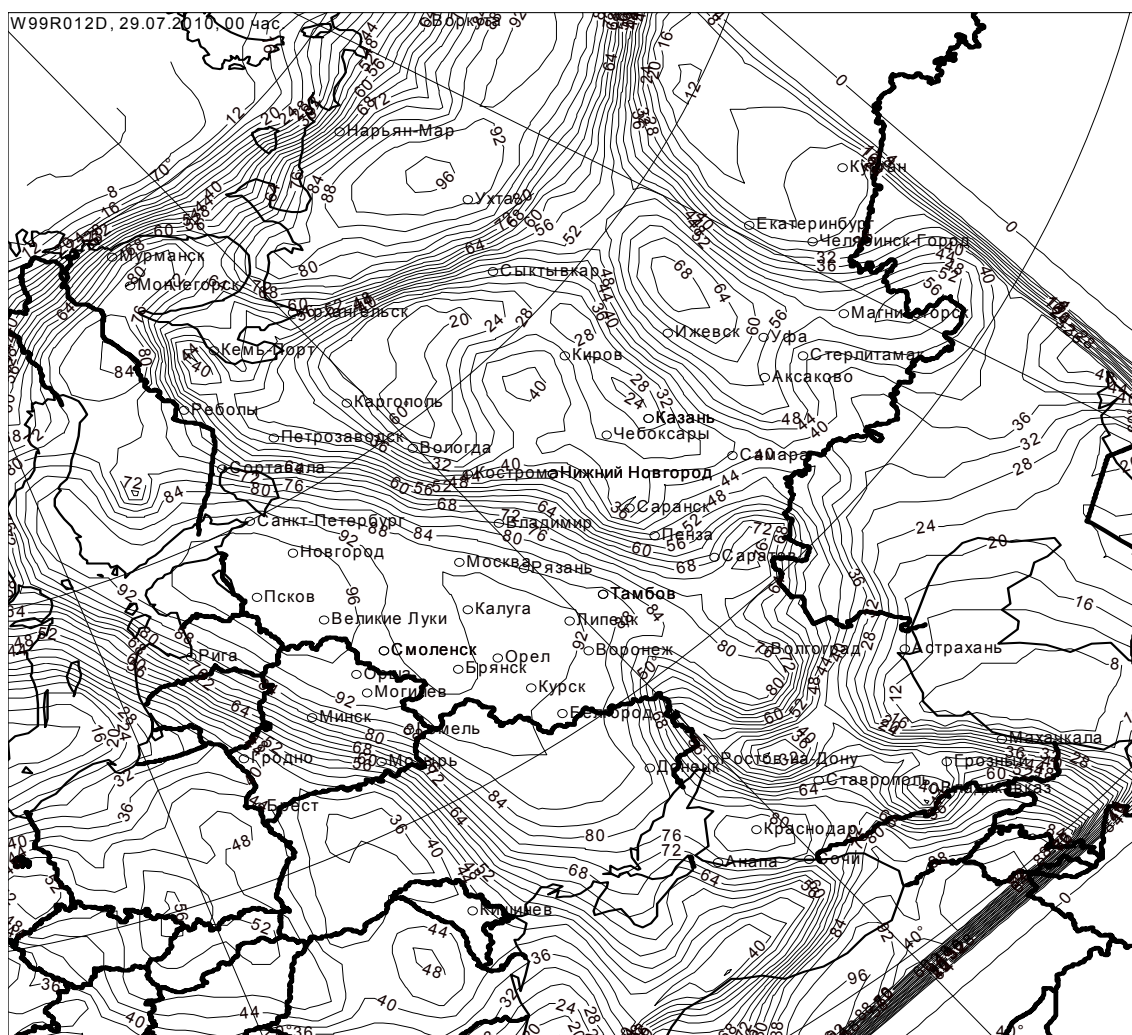


Рис. 2. Прогноз ветра скоростью  $V > 24$  м/с на текущий день 29.07.2010 г.

В этот день в Московской области был отмечен ветер со скоростью  $V=33$  м/с, в Санкт-Петербурге – с  $V=29$  м/с, в других областях были отмечены сильные ветры со скоростью около 20-22 м/с. Во всех этих областях вероятность прогноза значительно превышала пороговую вероятность.

### Заключение

Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 6 февраля 2012 г. утверждено Решение секции Ученого совета ФГБУ «Гидрометцентр России» от 24 января 2012 г.:

1. Одобрить работу ФГБУ «Гидрометцентр России» по совершенствованию методов прогноза опасных явлений погоды и проведению испытаний метода.



2. Рекомендовать ФГБУ «Гидрометцентр России» и АНО «Московское ГМБ» использовать гидродинамико-статистический метод прогноза шквалов и очень сильного ветра в градации  $\geq 20$  м/с на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 ч в летний период для центральной части Европейской территории России в качестве консультативного, обратив внимание на относительно большое число ложных тревог.

3. Рекомендовать автору метода провести работу по улучшению визуализации результатов прогноза.

### Список литературы

1. Беркович Л.В., Ткачева Ю.В. Развитие неадиабатической полушарной прогностической модели атмосферы // Труды Гидрометцентра СССР. – 1985. – Вып. 277. – С. 3–29.

2. 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. – 1999. – С. 34–37.

3. Веселова Г.К., Гайфутдинова Р.Г., Гостева И.П., Дурова Т.В. 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.

4. Лосев В.М. Региональная гидродинамическая модель прогноза Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. – М.: Триада, лтд, 2010. – С. 36–58.

5. Переходцева Э.В., Золин Л.В. Экспертная система и гидродинамико-статистический прогноз смерчей на территории России // Труды Гидрометцентра СССР. – 2008. – Вып. 342. – С. 37–50.

6. Переходцева Э.В. Анализ устойчивости гидродинамико-статистической модели прогноза шквалов и смерчей для территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2009. – Т. 1. Вып. 6. – С. 155–162.

7. Переходцева Э.В. Прогноз сильных шквалов и смерчей в летний период 2009 года на основе статистических моделей // Труды Гидрометцентра России. – 2010. – Вып. 344. – С. 265–279.

8. Переходцева Э.В. О гидродинамико-статистическом прогнозе до двух суток явлений сильного ветра и сильных осадков для территории Северного Кавказа // Труды Гидрометцентра России. – 2011. – Вып. 347. – С. 113–125.

9. Perekhodtseva E.V. Hydrodynamic-statistical model of forecast to 36h ahead of dangerous convective phenomena –squalls, tornadoes and rainfalls // Res. Act. Atm. Ocean. Model. – 2002. – Rep. 32, part 2. – P. 221–223.

10. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – М.: 1991. – 149 с.

11. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. – Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. – 50 с.

Таблица 1

Результаты автоматизированной оценки гидродинамико-статистического прогноза сильных летних шквалов и порывов ветра скоростью  $V \geq 18$  м/с (пороговая вероятность  $P_{пор} = 60\%$ ) и  $V \geq 22$  м/с (пороговая вероятность  $P_{пор} = 65\%$ ) на текущий день (с заблаговременностью 12 ч от 00 ч ВСВ) для 17 областей Центрального федерального округа

Период испытаний	Скорость ветра,	Исходная матрица прогнозов			$U_r$	$P_r$	$P_{or}$	$PC_r$	$LT_r$	T
		k11 k21 k01	k12 k22 k02	k10 k20 k00						
15.05–16.09 2010 г.	$\geq 18$ м/с	62 25 87	489 1243 1732	551 1268 1819	11,3	71,3	71,8	28,7	88,7	0,43
15.05–16.09 2011 г.	$\geq 18$ м/с	12 28 40	328 1672 2000	340 1700 2040	3,5	30,0	83,6	70,0	96,5	0,14
Летние сезоны 2010–2011 гг.	$\geq 18$ м/с	74 53 127	817 2915 3732	891 2968 3859	8,3	58,3	78,1	41,7	91,7	0,36
15.05–16.09 2010 г.	$\geq 22$ м/с	22 3 25	529 1265 1794	551 1268 1819	4,0	88,0	70,5	12,0	96,0	0,58
15.05–16.09 2011 г.	$\geq 22$ м/с	1 6 7	339 1694 2033	340 1700 2040	0,3	14,3	83,3	85,7	99,7	-0,02
Летние сезоны 2010–2011 гг.	$\geq 22$ м/с	23 9 32	868 2959 3827	891 2968 3859	2,6	71,9	77,3	28,1	97,4	0,49

Таблица 2

Результаты автоматизированной оценки гидродинамико-статистического прогноза сильных летних шквалов и порывов ветра скоростью  $V \geq 18$  м/с (пороговая вероятность  $P_{пор} = 60$  %) и  $V \geq 22$  м/с (пороговая вероятность  $P_{пор} = 65$  %) на текущий день (с заблаговременностью 12 ч от 00 ч ВСВ) по узлам сетки прогноза (17x18)

Период испытаний	Скорость ветра,	Исходная матрица прогнозов			$U_r$	$P_r$	$P_{or}$	$PC_r$	$LT_r$	Т
		k11 k21 k01	k12 k22 k02	k10 k20 k00						
15.05–16.09 2010 г.	$\geq 18$ м/с	218 101 319	5606 19165 24771	5824 19266 25090	3,7	68,3	77,4	31,7	96,3	0,45
15.05–16.09 2011 г.	$\geq 18$ м/с	65 112 177	3641 21325 24966	3706 21437 25143	1,8	36,7	85,4	63,3	98,2	0,22
Летние сезоны 2010–2011 гг.	$\geq 18$ м/с	283 213 496	9247 40490 49737	9530 40703 50233	3,0	57,1	81,4	42,9	97,0	0,38
15.05–16.09 2010 г.	$\geq 22$ м/с	53 21 74	4648 20368 25016	4701 20389 25090	1,0	71,6	81,4	28,4	99,0	0,53
15.05–16.09 2011 г.	$\geq 22$ м/с	9 26 35	2857 22251 25108	2866 22277 25143	0,3	25,7	88,6	74,3	99,7	0,15
Летние сезоны 2010–2011 гг.	$\geq 22$ м/с	62 47 109	7505 42619 50124	7567 42666 50233	0,8	56,9	85,0	43,1	99,2	0,42