

# О ГИДРОДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ ДО ДВУХ СУТОК ЯВЛЕНИЙ СИЛЬНОГО ВЕТРА И СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

*Э.В. Переходцева*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации  
perekhod@mecom.ru*

## Введение

Синоптический прогноз шквалов и максимального летнего ветра со скоростью  $V > 19$  м/с и  $V > 24$  м/с с использованием графических и расчетных методов прогноза этих явлений, представленных в Руководстве по синоптическим прогнозам, в значительной мере зависит от интуиции и профессионализма синоптика. Отечественные гидродинамические модели пока не прогнозируют успешно такие явления с достаточной заблаговременностью. Успешный оперативный прогноз шквалов и порывов ветра со скоростью  $V > 19$  м/с и  $V > 24$  м/с (критерий опасного явления) заблаговременностью 12–48 ч позволяет своевременно принять предохранительные меры и значительно уменьшить экономические потери. В настоящее время наиболее объективными и успешными представляются статистические методы прогноза шквалов и сильного ветра [7], в которых с помощью некоторого статистического решающего правила проводится распознавание метеорологических ситуаций (интерпретируемых как векторы  $\mathbf{X}(A) = (x_1(A), x_2(A), \dots, x_n(A))$ ), способствующих возникновению этих явлений, и прогноз на основе использования значений выходных прогностических (на 12, 24, 36, 48 ч) полей гидродинамических моделей.

В статье [9], посвященной оценкам прогноза по статистическим моделям шквалов и смерчей в летний период 2009 года, описывается статистическая модель первого объективного физико-статистического метода прогноза [1, 7] и статистическая модель автоматизированного гидродинамико-статистического прогноза этих явлений по Европейской территории России (ЕТР), использующая выходные данные как полусферной, так и региональной модели Гидрометцентра России [3, 9].

В данной статье показана устойчивость разработанных ранее гидродинамико-статистических моделей прогноза сильного летнего ветра и сильных летних осадков

относительно использования выходных прогностических полей двух разных гидродинамических моделей (полусферной и региональной) для территории Северного Кавказа.

Территория Северного Кавказа является очень сложным в климатическом и географическом отношении регионом, поэтому данные разработанные методы гидродинамико-статистического прогноза сильного ветра и сильных осадков для этой территории предоставляют новую дополнительную для синоптика прогностическую информацию и являются эффективной помощью в прогностической синоптической практике.

### **Автоматизированный гидродинамико-статистический прогноз максимальной скорости ветра при летних явлениях – сильных шквалах и смерчах**

Автоматизированный гидродинамико-статистический прогноз (с заблаговременностью 12 и 24 ч) максимальной скорости летнего ветра  $V > 19$  м/с с использованием значений выходных прогностических полей первой оперативной полусферной модели Гидрометцентра России (автор – Л.В. Беркович [2]) был разработан на данных объективного анализа и после проведения испытаний по решению Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП), оперативно использовался в течение 15 лет в пяти управлениях гидрометслужбы Европейской территории России и Украины, в том числе в Северо-Кавказском УГМС, куда прогнозы сильного ветра с заблаговременностью 12 и 24 ч передавались в виде телеграмм. Оценки успешности этого метода по регионам Европейской территории России представлены в табл. 1 [3]. Обозначения в табл. 1 (как и далее в табл. 2):  $N$  – количество оцененных прогнозов;  $F$  – общая оправдываемость прогноза, %;  $F_{я}$  – оправдываемость прогноза случаев с явлением, %;  $F_{бя}$  – оправдываемость прогноза случаев без явления, %;  $P_{я}$  – предупрежденность прогнозов с явлением, %;  $P_{бя}$  – предупрежденность прогноза случаев без явления, %;  $T$  – критерий Пирси-Обухова,  $T=1-a-b$ , где  $a$  – ошибка прогноза первого рода,  $b$  – ошибка прогноза второго рода.

В 2000 году был разработан гидродинамико-статистический метод прогноза максимальной скорости ветра  $V > 24$  м/с с заблаговременностью 12–24 ч [10], который успешно прошел испытания в четырех УГМС (в том числе и в Северо-Кавказском УГМС) и был рекомендован к использованию в синоптической практике этих УГМС. Гидродинамико-статистические прогнозы сильных шквалов и порывов скорости ветра  $V > 24$  м/с с

заблаговременностью 12, 24, 36 ч [9, 10], основанные на данных полусферной модели, поступали в УГМС по электронной почте до 2006 г. включительно.

Таблица 1

**Оценки успешности гидродинамико-статистического метода прогноза скорости ветра  
не менее 20 м/с по регионам Европейской территории России**

УГМС	Заблаговременность, ч	N	F	F <sub>я</sub>	F <sub>бя</sub>	П <sub>я</sub>	П <sub>бя</sub>	T
Северо-Западное	12	1110	92	25	99	76	92	0,69
	24	1007	89	21	99	80	89	0,69
Центрально-Черноземное	12	160	91	24	99	80	92	0,72
	24	158	91	22	99	80	91	0,71
Верхне-Волжское	12	955	90	22	98	55	91	0,46
	24	995	90	14	98	48	91	0,39
Северо-Кавказское (равнинная и предгорная территории)	12	<b>405</b>	<b>78</b>	<b>24</b>	<b>96</b>	<b>78</b>	<b>77</b>	<b>0,55</b>
	24	<b>400</b>	<b>78</b>	<b>21</b>	<b>97</b>	<b>79</b>	<b>77</b>	<b>0,56</b>

В гидродинамико-статистической модели прогноза сильного ветра двух классов ( $V > 19$  м/с,  $V > 24$  м/с), как и в разработанной ранее физико-статистической модели прогноза шквалов со скоростью 20 м/с и более [7], были исследованы связи между выбранными потенциальными предикторами ( $n=38$ ), получаемыми из прогностической модели [9], произведено сжатие исходного пространства предикторов (признаков) без значительной потери информации до восьми наиболее информативных и слабо зависимых предикторов, которые и вошли в исходный вектор-предсказатель [3]. В качестве переменных ( $x_i$ ) в этих функциях использовались прогностические значения предикторов: геопотенциала на уровне 1000 гПа, температуры и модуля градиента температуры у Земли, температуры точки росы у Земли, скорости ветра на уровне 700 гПа, сдвига ветра в средней тропосфере, а также индекса неустойчивости Вайтинга. На основе байесовского подхода [1] для этих предикторов были рассчитаны линейные статистические решающие правила диагноза и прогноза явлений:

- первого класса (для  $V > 19$  м/с)  $F_1(\mathbf{X}) = \sum a_i x_i + c_1, i=1, \dots, k, k < n$ ;
- второго класса ( $V > 24$  м/с)  $F_2(\mathbf{X}) = \sum v_j x_j + c_2, j=1, \dots, l, l < n$ .

Методы были автоматизированы и рекомендованы к использованию в синоптической практике в Верхне-Волжском, Северо-Кавказском, Северо-Западном и Центрально-Черноземном УГМС.

Оценки (табл. 1) независимых испытаний прогноза скорости ветра  $V > 19$  м/с для предгорных районов Северного Кавказа достаточно успешны. Значения предупрежденности наличия и отсутствия явления, а также значения критерия Пирси-Обухова, равные 0,55-0,56, являются для этого объективного автоматизированного метода достаточно высокими. Синоптики Северо-Кавказского УГМС регулярно пользовались этими прогнозами, поступающими к ним два раза в сутки до 2006 г., пока основной оперативной гидродинамической моделью являлась полусферная неадиабатическая модель по полным уравнениям (автор – Л.В. Беркович). К 2006 году были проведены независимые испытания гидродинамико-статистического метода прогноза шквалов и ветра скоростью  $V > 24$  м/с с заблаговременностью 36 ч в Верхне-Волжском, Северо-Западном УГМС и УГМС Республики Татарстан. Методы были рекомендованы по оценкам испытаний для внедрения в синоптическую практику этих УГМС [9]. Следующим шагом в разработке методов прогноза максимального летнего ветра на Северном Кавказе была разработка метода прогноза сильного и опасного летнего ветра с заблаговременностью до 12–48 ч на основе выходной продукции региональной модели Гидрометцентра России.

#### **Адаптация модели гидродинамико-статистического прогноза летнего максимального ветра к территории Северного Кавказа**

С введением в оперативную практику региональной модели Гидрометцентра России (автор – В.М. Лосев [6]) при разработке оперативного автоматизированного прогноза двух классов максимального сильного летнего ветра (со скоростью ветра  $V > 19$  м/с и с  $V > 24$  м/с) проводился расчет значений дискриминантных функций  $F_1(\mathbf{X})$  и  $F_2(\mathbf{X})$  по прогностическим данным региональной модели, а также значений зависящих от них вероятностей прогноза  $P_1(\mathbf{X})$  и  $P_2(\mathbf{X})$  [9]. При адаптации статистической модели прогноза к новой гидродинамической модели следовало учесть систематические ошибки региональной гидродинамической модели при переходе от вероятностного прогноза к альтернативному категорическому прогнозу. По эмпирически найденным для каждой заблаговременности новым пороговым вероятностям для явлений каждого класса выделялись прогнозируемые области сильного ветра первого и второго классов соответственно (при наличии в области узлов сетки, в которых  $P > P_{\text{пор}}$ , где  $P_{\text{пор}}$  – пороговая вероятность). Для горной территории Северного Кавказа иногда выделялись небольшие области высоких вероятностей прогноза опасного летнего ветра с  $V > 24$  м/с. Экономический ущерб в этих областях (отключение электроэнергии во многих селениях,

разрушение административных и хозяйственных построек, выход из строя ЛЭП и др.) составлял при этом от 1 до 10 млн руб.

В летний период 2011 г. предупреденность с заблаговременностью 12 ч ветра с  $V > 24$  м/с составила  $P_{\text{д}} = 80$  %, предупреденность отсутствия такого ветра –  $P_{\text{от.}} = 92$  %, и оценка критерия Пирси-Обухова составила  $T = 0,72$ . Для прогноза на следующий день с заблаговременностью 36 ч по сроку 00 ч ВСВ оценки успешности оказались несколько ниже, а для прогноза с заблаговременностью 24 ч практически оказались теми же.

### **Технология прогнозирования опасного ветра с заблаговременностью 12, 24, 36, 48 ч на основе гидродинамико-статистической модели прогноза**

По указанной выше схеме в летний период 2010-2011 гг. были рассчитаны гидродинамико-статистические прогнозы сильного и опасного ветра в Краснодарском и Ставропольском краях, в Волгоградской и Ростовской областях, в Северной Осетии, Кабардино-Балкарии, Чечено-Ингушетии и Дагестане.

В оперативной системе Гидрометцентра России расчет вероятностей прогноза опасного ветра производится два раза в сутки с заблаговременностью 12, 24, 36, 48 ч. На карте ЕТР с помощью графического пакета «ИЗОГРАФ» автоматически расчерчиваются изолинии равной вероятности как для поля  $P_1(\mathbf{X})$  (вероятностей прогноза ветра с  $V > 19$  м/с), так и для поля  $P_2(\mathbf{X})$  (вероятностей прогноза ветра с  $V > 24$  м/с).

Прогнозируемая по  $P_2(\mathbf{X})$  область опасного ветра выделяется на карте ЕТР изолинией пороговой вероятности  $P_{\text{пор.}}$ , соответствующей заданной заблаговременности (рис. 1), или значениями вероятности  $P$  в узлах сетки  $75 \times 75$  км, превышающими значение пороговой вероятности  $P_{\text{пор.}}$  (рис. 2).

На рис. 1 представлен пример прогноза ветра со скоростью  $V > 24$  м/с на текущий день 28.07.2011 года. В Волгограде в этот день при  $P > 70$  % (при  $P_{\text{пор.}} = 64$  %) наблюдался ветер со скоростью  $V = 35$  м/с, во Владикавказе – со скоростью  $V = 21$  м/с и ночью с  $V = 24$  м/с. На рис. 2 представлен пример прогноза опасного ветра со скоростью  $V > 24$  м/с на 3.08.2011 г., рассчитанного с заблаговременностью 36 ч. В области, где  $P > 64$  %, в г. Кисловодске наблюдалась скорость ветра  $V = 22$  м/с, а в Армавире –  $V = 33$  м/с. Ограниченный объем статьи не позволяет привести другие примеры прогноза опасного ветра.

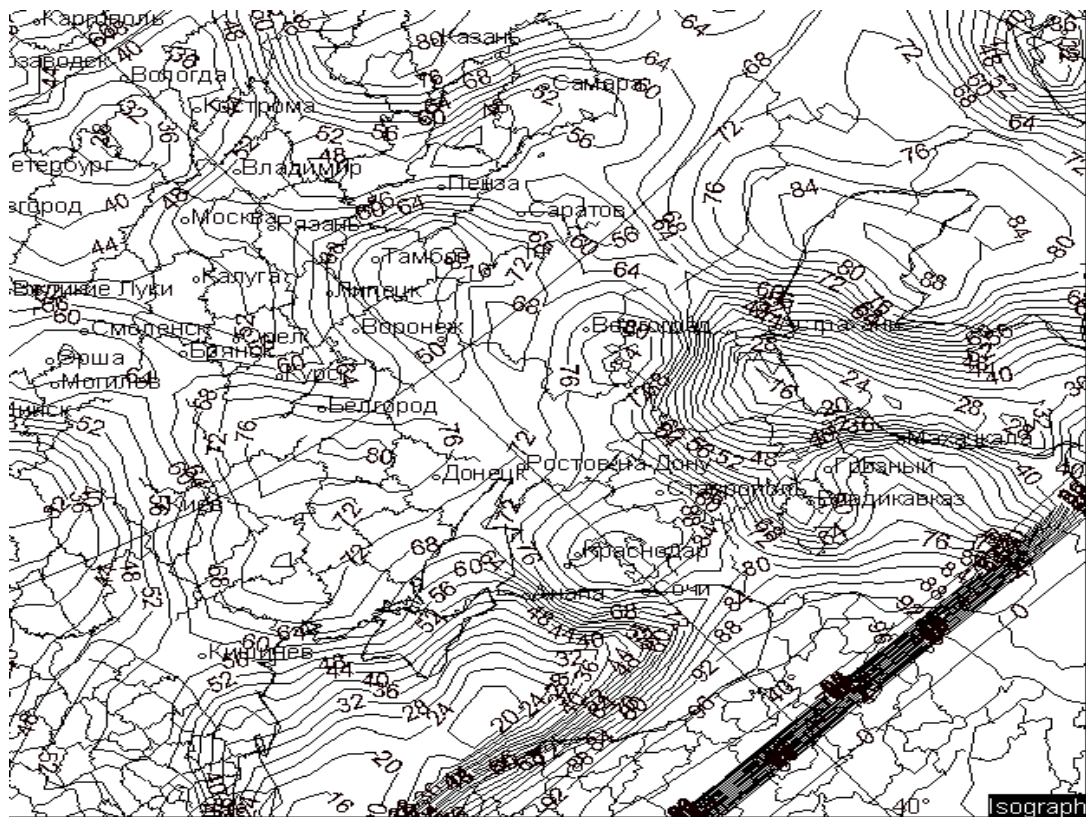


Рис. 1. Прогноз скорости ветра  $V > 24$  м/с на 28.07.2011 г. с заблаговременностью 12 ч (область ветра  $V > 24$  м/с ограничена изолинией пороговой вероятности  $P = 64$  %, широкая темная полоса – граница расчетной области).

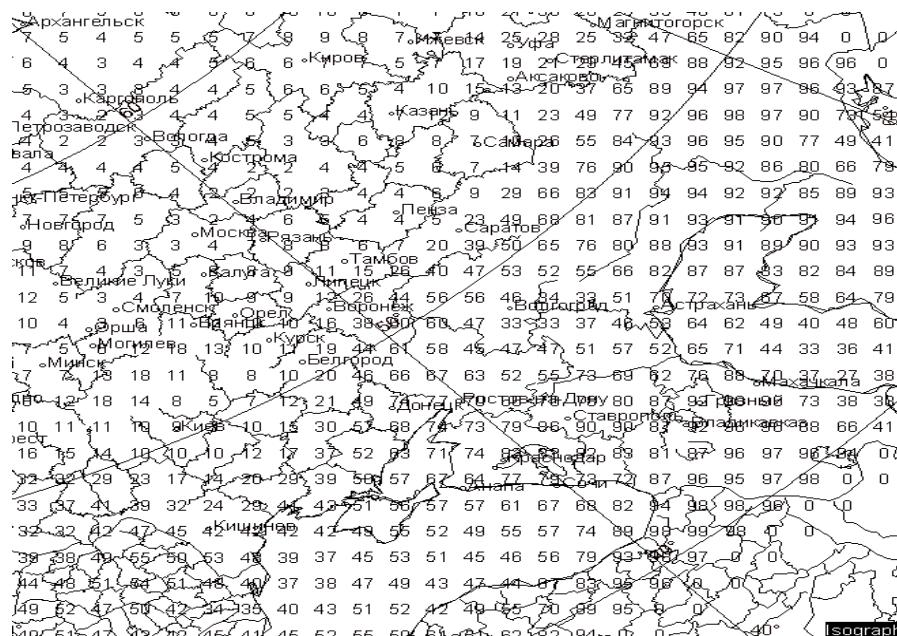


Рис. 2. Прогноз скорости ветра  $V > 24$  м/с на 03.08.2011 г. с заблаговременностью 36 ч (цифры – значения  $P$  в узлах сетки, область ветра с  $V > 24$  м/с при  $P > 64$ %).

## Модель гидродинамико-статистического прогноза сильных летних осадков двух классов

Модель прогноза сильных летних осадков двух классов (количеством  $Q > 14$  мм/12 ч и  $Q > 49$  мм/12 ч) была разработана также на данных объективного анализа. Автоматизированный метод прогноза дневных осадков количеством  $Q > 14$  мм/12ч заблаговременностью 12–24 ч с использованием выходных данных полусферной модели успешно прошел испытания в тех же УГМС (табл. 2) [4, 5]. Метод прогноза с заблаговременностью 12 и 24 ч опасных полусуточных осадков количеством  $Q > 49$  мм/12 ч также оперативно рассчитывался в Гидрометцентре России для территории ЕТР (в том числе и для Северного Кавказа) [11, 12].

Таблица 2

### Оценки успешности гидродинамико-статистического метода прогноза дневных осадков $Q > 14$ мм/12 ч по регионам Европейской территории России

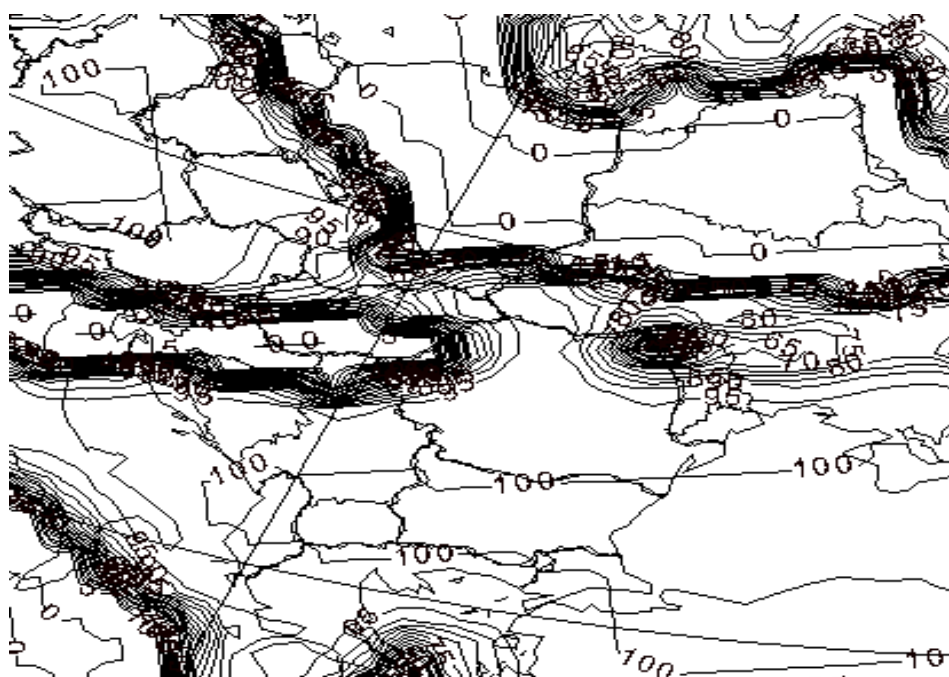
УГМС	Заблаговременность, ч	N	F	F <sub>я</sub>	F <sub>бя</sub>	П <sub>я</sub>	П <sub>бя</sub>	T
Северо-Западное	12	1110	83	33	98	87	82	0,68
	24	719	77	43	88	54	82	0,36
Центрально-Черноземное	12	158	78	30	86	90	65	0,55
	24	86	81	71	91	88	65	0,65
Верхне-Волжское	12	950	70	30	95	68	79	0,47
	24	515	80	88	53	86	59	0,44
Северо-Кавказское	12	405	72	65	83	87	58	0,45
	24	54	85	60	91	60	91	0,51
(уточненный вариант)	24	54	89	67	97	91	88	0,79

Из табл. 2 видно, что оценки прогноза (критерий Пирси-Обухова) сильных дневных осадков количеством  $Q > 14$  мм/12 ч для территории Северного Кавказа достаточно высокие. Летом 2002 года успешный прогноз сильных ( $Q > 14$  мм/12 ч) и опасных осадков ( $Q > 49$  мм/12 ч) позволил предсказать очень сильное наводнение в июне 2002 года, приведшее к большим разрушениям. Также успешно были рассчитаны прогнозы сильных и опасных осадков, приведших к сходу селей и оползней в селеопасных районах Северного Кавказа [12].

В настоящее время гидродинамико-статистический метод прогноза сильных и опасных осадков приспособлен к выходной продукции региональной модели. В качестве примера прогноза стихийного явления приводится прогноз наводнения в октябре 2010 года, вызванного сильными продолжительными ливневыми осадками. С 12.10.2010 г. по 18.10.2010 г. на Северном Кавказе наблюдались сильные ливневые дневные и ночные осадки, вызвавшие

значительное повышение уровня воды в больших и малых реках Северного Кавказа (Кубань, Терек, Подкумок). Сильные дневные и ночные осадки давались в прогнозе на 48 ч (рис. 3 и 4). В результате этого наводнения на р. Кубань были смыты мосты, повреждены автомобильные и железная дороги, почти на сутки было приостановлено движение поездов.

На рис. 5 и 6 приводятся другие примеры оправдавшегося прогноза сильных осадков на Северном Кавказе в летний период 2011 года. На рис. 5 область с вероятностями  $P=100\%$  покрывает весь Северный Кавказ (при этом дается прогноз сильных осадков  $Q>25$  мм/12 ч). В нескольких пунктах наблюдались сильные ливневые осадки большой интенсивности ( $Q=28-40$  мм за 3–4 ч). На рис. 6 представлена область прогнозируемых опасных осадков ( $Q>49$  мм/12 ч) на Северном Кавказе, вызванных мощным циклоном. В этой области были отмечены осадки количеством  $Q=60$  мм/12 ч. В настоящее время для территории Северного Кавказа автором региональной модели В.М. Лосевым создана телескопизация этой модели с горизонтальным разрешением 20x20 км. В будущем предполагается использовать выходную продукцию этой модели для прогноза явлений погоды горных районов.



**Рис. 3. Прогноз осадков  $Q>14$  мм/12 ч на 16.10.2010 г. с заблаговременностью 48 ч (область осадков  $> 14$  мм выделяется вероятностями  $P>P_{пор.}=80\%$ ; широкая темная полоса – сгущение изолиний  $P$ ).**



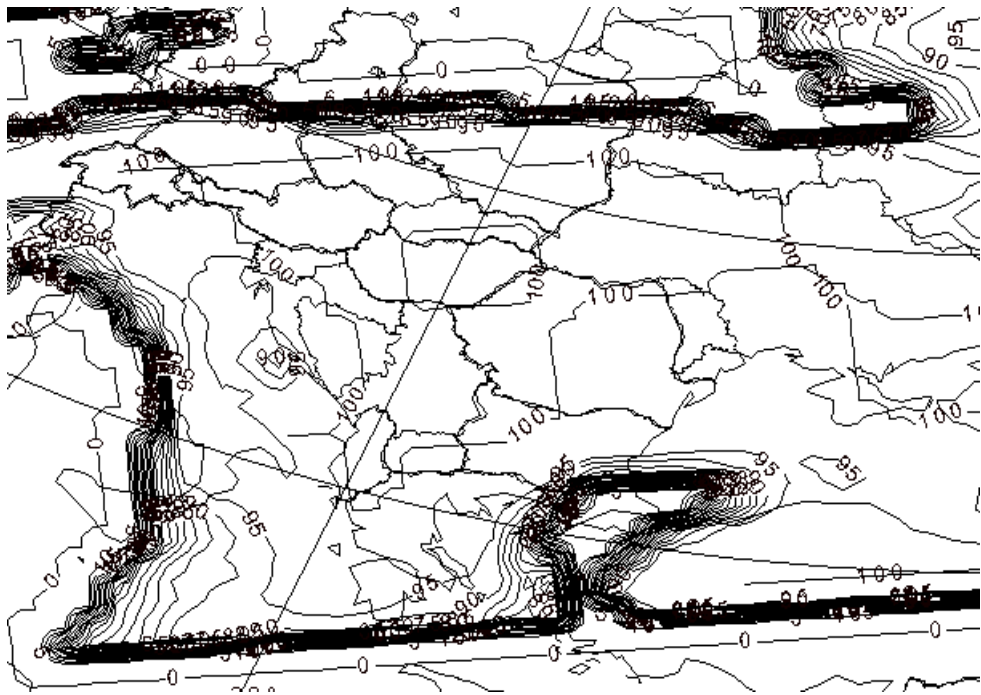


Рис. 4. Прогноз осадков  $Q > 14$  мм/12 ч на 18.10.2010 г. с заблаговременностью 48ч (обозначения те же, что на рис.3).

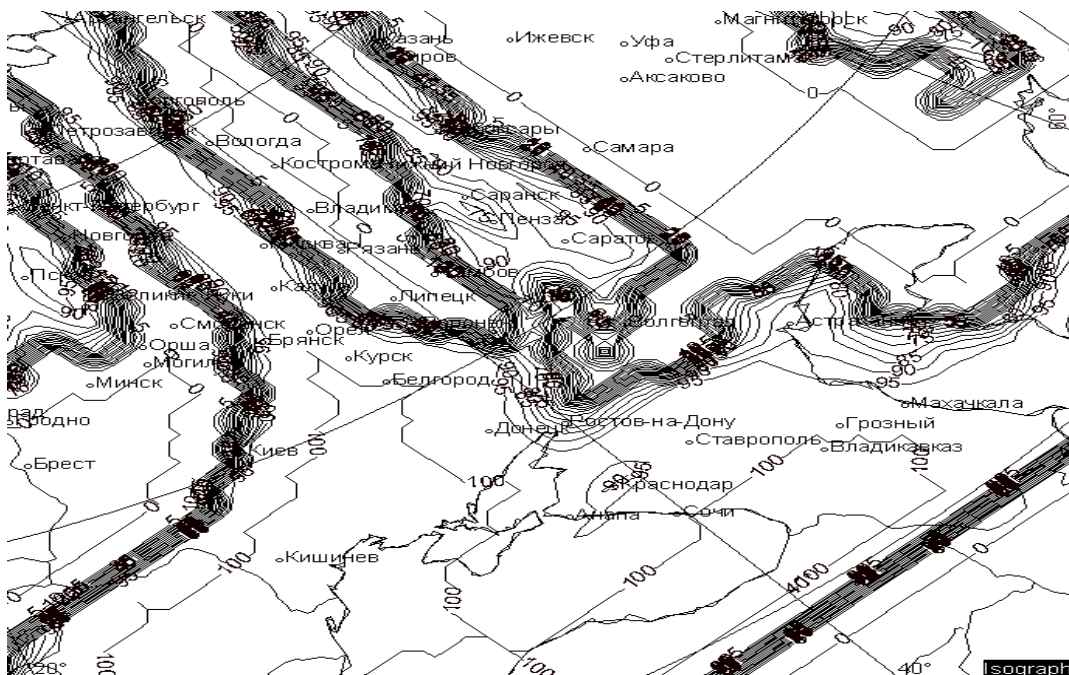
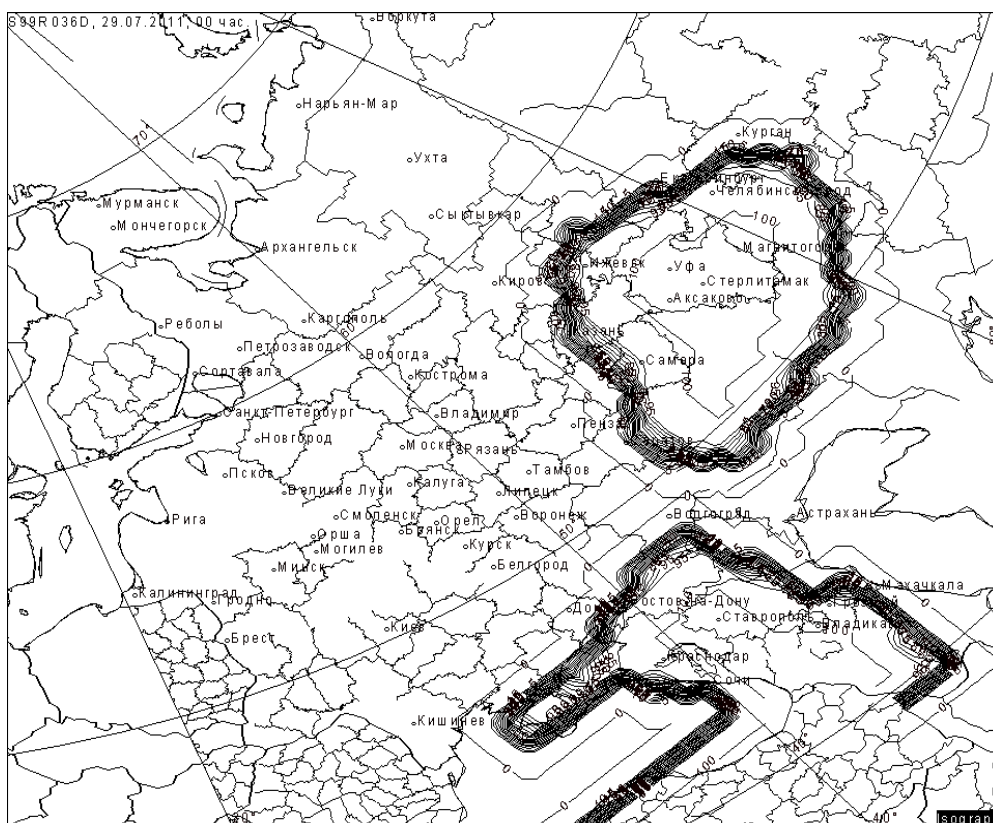


Рис. 5. Прогноз осадков  $Q > 14$  мм/12 ч на 26.05.2011 г. с заблаговременностью 48 ч (обозначения те же, что на рис. 3).



**Рис. 6. Прогноз опасных осадков  $Q > 49$  мм/12 ч на 30.07.2011 г. с заблаговременностью 36 ч (обозначения те же, что на рис.3).**

### **Заключение**

Представленные в работе результаты прогноза на 12–48 ч сильного летнего ветра, включая шквалы и смерчи, и сильных осадков на Северном Кавказе, вызывающих опасные наводнения и сход селей и оползней, на основе гидродинамико-статистической модели прогноза, адаптированной к выходной прогностической продукции региональной модели для территории Северного Кавказа, показали устойчивость разработанных ранее статистических моделей прогноза этих явлений.

Оценки успешности гидродинамико-статистического прогноза до двух суток сильного и опасного ветра и сильных осадков на Северном Кавказе показали возможность использования этой продукции в оперативной синоптической практике. Уточненный автоматизированный прогноз этих явлений позволяет заблаговременно принять меры с целью предупреждения значительных экономических потерь.

### Список использованных источников

1. *Андерсон Т.* Введение в многомерный статистический анализ. – М. Физматгиз, 1963. – 500 с.
2. *Беркович Л.В., Ткачева Ю.В.* Развитие неадиабатической полушарной прогностической модели атмосферы // Труды Гидрометцентра СССР. – 1985. – Вып. 277. – С. 3–29.
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. *Веселова Г.К., Переходцева Э.В.* Результаты испытания автоматизированного метода прогноза летних осадков с выделением областей с количеством осадков 15 мм и более на текущий день по европейской части России // Информационный сборник № 22. – 1994. – С. 31–36.
5. *Веселова Г.К., Краснобаева И.А.* Результаты испытания автоматизированного метода прогноза летних дневных осадков количеством 15 мм и более с заблаговременностью 24ч (автор – Э.В. Переходцева) // Информационный сборник № 24. – 1997. – С. 32–38.
6. *Лосев В.М.* Региональная гидродинамическая модель прогноза Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. –М.: Триада ЛГД, 2010. – С. 36–58.
7. *Переходцева Э.В.* Прогноз шквалов статистическими методами классификации на основании диагностических и прогностических синхронных связей // Труды Гидрометцентра СССР. – 1985. – Вып. 271. – С. 37–60.
8. *Переходцева Э.В.* Анализ устойчивости гидродинамико- статистической модели прогноза шквалов и смерчей для территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Т. 6, №. 2. – С. 155–162.
9. *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.
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. 221–223.
11. *Perekhodtseva E.V.* The model of automated hydrodynamic-statistical forecast of strong and dangerous rainfalls for European Part of Russia and Europe // Research activities in atmospheric and oceanic modeling. – 2000. – Rep.30, part 2. –P. 226–228.
12. *Perekhodtseva E.V.* Hydrodynamic-statistical forecast of dangerous precipitation and incurred landslides and mudflows at the territory of Caucasian mountains // XVI Assembly of EGU. – Nice, April 2004.

*Поступила в редакцию 16.05.2012 г.*