

ГИДРОДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЛЕТНИХ ОСАДКОВ ПО ЕТР НА ОСНОВЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГИДРОМЕТЦЕНТРА РОССИИ

Введение

Ранее в ФГБУ «Гидрометцентр России» был разработан автоматизированный гидродинамико-статистический метод прогноза летних осадков (с выделением областей количеством ≥ 15 мм) на текущий день с заблаговременностью 12 и 24 ч. Метод основан на статистической интерпретации прогнозов полусферной неадиабатической модели [1, 3, 6]. Решением ЦМКП Росгидромета от 17 марта 1993 года прогностическую продукцию, предвычисленную данным методом, рекомендовано использовать в качестве вспомогательного материала в оперативной практике Северо-Западного, Северо-Кавказского, Верхне-Волжского, Башкирского УГМС, УГМС ЦЧО, в Гидрометцентре России. Позже были успешно проведены испытания в УГМС Республики Татарстан. Прогнозы в оперативном режиме до 2006 г. включительно передавались в прогностические подразделения этих УГМС в виде телеграмм по каналам связи (ЦКС) через ГРМЦ Росгидромета два раза в сутки (расчет производился в 00 и 12 ч ВСВ).

Адаптация гидродинамико-статистического метода прогноза сильных летних осадков к выходным полям региональной модели Гидрометцентра России

В связи с демонтажем в ФГБУ «Гидрометцентр России» ЭВМ COMPAREX используемая в прогнозе осадков в течение долгого времени оперативная модель краткосрочного прогноза погоды полусферная гидродинамическая модель по полным уравнениям [3] (автор – Л.В. Беркович) была заменена оперативной гидродинамической моделью, функционирующей на действующих ЭВМ, а именно региональной моделью ФГБУ «Гидрометцентр России» с горизонтальным разрешением 75×75 км (автор – В.М. Лосев [5]). В течение нескольких лет проводилась адаптация статистической модели прогноза сильных ($Q \geq 15$ мм/12ч) и опасных ($Q \geq 50$ мм/12ч) летних осадков к выходной продукции региональной модели. Уточнены

дискриминантные функции $F_3(\mathbf{X})$ и $F_4(\mathbf{X})$ для прогноза полусуточных осадков этих градаций и определяемые по ним пороговые вероятности $P_3(\mathbf{X})$ и $P_4(\mathbf{X})$ возникновения таких осадков [4]. В гидродинамико-статистической модели функции $F_1(\mathbf{X})$ и $F_2(\mathbf{X})$ и соответствующие им вероятности рассчитываются для прогноза сильного летнего ветра двух градаций.

Гидродинамические прогнозы полей метеоэлементов региональной модели рассчитываются в 00 и 12 ч ВСВ с заблаговременностью до 48 ч. В эти же сроки по прогностическим полям в узлах модельной сетки рассчитываются значения дискриминантных функций $F_3(\mathbf{X})$, $F_4(\mathbf{X})$ и значения вероятностей $P_3(\mathbf{X})$, $P_4(\mathbf{X})$ в %.

Предикторами прогностической зависимости являются геопотенциал на уровне 1000 гПа, приземные температура воздуха и температура точки росы, дефицит точки росы на изобарической поверхности 700 гПа, индекс гидродинамической неустойчивости (индекс Вайтинга), модуль горизонтального градиента температуры у Земли и лапласиан приземного давления.

Поля вероятностей L99R012D-048D для $P_3(\mathbf{X})$ и S99R012D-048D для $P_4(\mathbf{X})$ записываются в базу данных RGPR и передаются на FTP-сервер ФГБУ «Гидрометцентр России». Данные поля с помощью графического пакета ИЗОГРАФ (автор – Ю.В. Алферов) на бланке карты ЕТР можно расчертить в виде изолиний равных вероятностей. Области сильных и опасных осадков выделяются по задаваемой для каждой заблаговременности пороговой вероятности $P_{\text{пор}}$. Значение пороговой вероятности выбрано эмпирически. Для прогнозов с заблаговременностью 18 ч для сильных осадков ($Q \geq 15$ мм/12ч) $P_{\text{пор}} = 98$ %, для опасных осадков ($Q \geq 50$ мм/12ч) $P_{\text{пор}} = 65$ %. Для прогноза сильных осадков с заблаговременностью 30 ч (ночных осадков) значение $P_{\text{пор}} = 100$ %, для прогнозов дневных осадков на следующий день (с заблаговременностью 42 ч) $P_{\text{пор}} = 96$ %.

Оперативные испытания проводились только для сильных осадков теплого периода. Все оценки, приводимые в статье, относятся к испытаниям сильных осадков $Q \geq 15$ мм/12ч.

Методика автоматизированной оценки прогнозов сильных летних полусуточных осадков количеством $Q \geq 15$ мм/12ч с заблаговременностью 18–42 ч

Авторская проверка метода в 2009–2010 гг. показала удовлетворительные результаты. В период с 16 мая по 15 сентября 2012–2013 гг. в рамках Плана испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов

Росгидромета А.Н. Багровым проводились оперативные испытания метода. Испытания проводились для территорий ЕТР, Центрального федерального округа (ЦФО), Московского региона.

Оценка прогнозов сильных осадков проводилась по станциям с контролем сведений о количестве выпавших осадков согласно Наставлению [10] без допуска. При этом станции приписывалась вероятность сильных осадков, рассчитанная с применением билинейной интерполяции. Если полученная для станции вероятность $P \geq P_{\text{пор}} = 98 \%$, то на этой станции по сроку 00 ч ВСВ прогнозировались на текущий день сильные осадки, в противном случае – отсутствие сильных осадков.

Прогнозы сильных осадков испытываемым методом сравнивались с прогнозами осадков гидродинамических моделей разного пространственного разрешения. Более подробно результаты сравнения модельных прогнозов осадков изложены в статье А.Н. Багрова в данном сборнике [2].

Результаты испытаний прогноза сильных летних полусуточных осадков

Показатели успешности прогнозов рассчитываются исходя из 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:

– предупрежденность явления $P_r, \%$

$$P_r = \frac{k_{11}}{k_{01}} \cdot 100; \quad (1)$$

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

$$P_{or} = \frac{k_{22}}{k_{02}} \cdot 100; \quad (2)$$

– оценка «пропуска цели» $PC_r, \%$

$$PC_r = \frac{k_{21}}{k_{01}} \cdot 100; \quad (3)$$

– оценка «ложной тревоги» с явлением $LT_r, \%$

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

– оправдываемость явления $U_r, \%$

$$U_r = \frac{k_{11}}{k_{10}} \cdot 100; \quad (5)$$

– критерий Пирси-Обухова T :

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

– коэффициент «ложных тревог» kLT_p :

$$kLT_p = \frac{k_{12}}{k_{01}}. \quad (7)$$

В табл. 1 представлены матрицы сопряженности прогноза сильных осадков для заблаговременностей 18, 30 и 42 ч по сроку счета 00 ч ВСВ для 2012 и 2013 гг. для территории ЕТР, включающей 640 станций, и оценки, полученные по формулам (1)–(6).

Как видно из табл. 1, оценки предупрежденности явлений сильных осадков, а также и их отсутствия, достаточно высоки. Предупрежденность сильных осадков составляет 59,3–91,1 %, т.е. ошибка первого рода (оценка «пропуска цели») существенно меньше 0,5 ($\alpha < 0,5$). К сожалению, предупрежденность этих явлений гидродинамическими моделями, в том числе и мезомасштабными, очень небольшая – 5–19 % при высокой предупрежденности отсутствия явления (около 98 %), т.е. практически модели всегда дают отсутствие явления, пропуская случаи с сильными осадками. При этом испытываемый метод прогнозирует много «ложных тревог» (95,2–97,8 %).

Таблица 1

**Оценки прогнозов сильных осадков (≥ 15 мм/12ч) по сроку 00 ч ВСВ
с заблаговременностью 18–42 ч по территории ЕТР (640 станций)
за летние периоды с 16 мая по 15 сентября 2012 и 2013 гг.**

Год	Исходная матрица прогнозов			Заблаговременность, ч	P_r	P_{or}	PC_r	LT_r	U_r	T
	k11	k12	k10							
	k21	k22	k20							
	k01	k02	k00							
2012	842	17284	18126	18 (день)	71,0	76,7	29,0	95,4	4,6	0,48
	344	56966	57310							
	1186	74250	75436							
2013	893	17620	18513	18 (день)	62,8	77,0	37,2	95,2	4,8	0,40
	529	59117	59646							
	1422	76737	78159							
2012	798	19950	20748	42 (день)	69,1	73,1	30,9	96,2	3,8	0,42
	357	54298	54655							
	1155	74248	75403							
2013	844	19288	20132	42 (день)	59,3	74,9	40,7	95,8	4,2	0,34
	579	57438	58017							
	1423	76726	78149							
2012	889	38960	39849	30 (ночь)	91,1	46,9	8,9	97,8	2,2	0,38
	87	34468	34555							
	976	73428	74404							
2013	712	26331	27043	30 (ночь)	79,0	65,4	21	97,4	2,6	0,44
	189	49759	49948							
	901	76090	76991							

Прогнозы гидродинамико-статистического метода прогноза сильных осадков также оценены по 17 станциям (административным центрам) ЦФО. В ФГБУ «Гидрометцентр России» по данным станциям поступают оперативные прогнозы синоптиков на следующие ночь и день. Результаты оценки прогнозов представлены в табл. 2. В 2013 году по территории ЦФО было

отмечено достаточно много случаев сильных осадков. Рассматривались лишь те случаи с осадками в областных центрах, по которым имелись прогнозы синоптиков.

Как видим из табл. 2, критерий Пирси-Обухова по гидродинамико-статистическому методу выше, чем у прогнозов синоптика. Показатель «ложных тревог» очень высок (95,5–97,9 %). Испытываемый метод значительно проигрывает синоптикам в оправдываемости прогнозов сильных осадков. Им прогнозируется «ложных тревог» в сравнении с фактическими осадками более чем в 15 раз больше с заблаговременностью 42 ч (дневные осадки) и более чем в 40 раз больше с заблаговременностью 30 ч (ночные осадки). При этом суммарный показатель оправдываемости и предупрежденности явления ни у синоптиков, ни у испытываемого метода не достигает критерия, равного 130 %, но у испытываемого метода этот показатель все же выше (максимум в 102,5 % в 2013 г. для заблаговременности 30 ч (ночные осадки)).

Поскольку по Московскому региону прогнозы осадков также даются различными гидродинамическими моделями, была проведена дополнительная оценка методических прогнозов осадков на текущий день (заблаговременность 18 ч). В табл. 3 приводятся результаты испытываемого метода в сравнении с модельными прогнозами осадков за летний сезон 2013 г. по Московскому региону.

Как видно из табл. 3, гидродинамические прогнозы сильных осадков имеют низкую предупрежденность (4–23 %), т.е. осадки количеством ≥ 15 мм/12ч и более предсказываются моделями плохо. Наоборот, испытываемый метод имеет достаточно высокую для оперативной практики предупрежденность таких осадков – 81 %, а также достаточно успешную предупрежденность отсутствия явления. При этом оправдываемость явления у всех испытываемых способов невысокая (0–35 %). Но количество «ложных тревог» испытываемым методом большое; несмотря на высокую предупрежденность сильных осадков синоптики не могут ему полностью доверять. Количество «ложных тревог» испытываемым методом в десятки раз превышает «ложные тревоги» модельных прогнозов сильных осадков.

Выводы

Из сопоставления полученных результатов испытаний видны и преимущества, и недостатки гидродинамико-статистического прогноза сильных летних осадков. Важным моментом является то, что даже при прогнозе по станциям метод дает достаточно успешные оценки предупрежденности явлений. В этом он опережает гидродинамические прогнозы сильных осадков. У метода также достаточно успешные оценки предупрежденности отсутствия

сильных осадков, но которые ниже предупрежденности отсутствия сильных осадков по моделям (99–96 %).

Таблица 3

**Оценки прогнозов сильных осадков (≥ 15 мм/12ч) на текущий день
(заблаговременность 18 ч) по Московскому региону (25 станций)
за летний сезон с 16 мая по 15 сентября 2013 гг.**

Исходная матрица прогнозов			Модель, метод	P_r	P_{or}	PC_r	kLT_p	U_r	T
k11	k12	k10							
k21	k22	k20							
k01	k02	k00							
85	1071	1156	Испытываемый метод	81,0	63,3	19,0	10,2	7,4	0,44
20	1850	1870							
105	2921	3026							
7	13	20	NCEP	6,7	99,6	93,3	0,12	35,0	0,06
98	2884	2982							
105	2897	3002							
22	70	92	DWD	21,0	97,6	79,0	0,67	23,9	0,19
83	2825	2908							
105	2895	3000							
4	23	27	COSMO-Ru07	3,8	99,2	96,2	0,22	14,8	0,03
101	2898	2999							
105	2921	3026							
11	24	35	T169	10,5	99,2	89,5	0,23	31,4	0,10
94	2897	2991							
105	2921	3026							
0	2	2	PLAV	0,0	99,9	100	0,02	0,0	0,0
105	2919	3024							
105	2921	3026							
23	64	87	WRF14(Zari)	22,8	97,3	77,2	0,63	26,4	0,20
78	2320	2398							
101	2384	2485							

Главным недостатком гидродинамико-статистического прогноза сильных осадков является низкая оправдываемость явлений и, соответственно, большое количество «ложных тревог».

В чем причина такого количества «ложных тревог»? На взгляд автора метода, это, во-первых, связано с присущей таким явлениям локальностью их возникновения. Они часто возникают вне станций, а в связи с редкой сетью наблюдений, многие из них не фиксируются.

Автор метода рекомендовал оценивать прогнозы по областям 150×150 км или 75×75 км, выбирая по данной области спрогнозированное максимальное количество осадков, и сравнивать

их с максимальным количеством фактически выпавших осадков по данной области, что возможно сделать по декартовой сетке региональной модели. Тогда число ложных тревог существенно уменьшается.

Но проблема ликвидации «ложных тревог» при данном подходе к прогнозу сильных осадков остается, поэтому ее надо решать, сохраняя при этом уровень достигнутой предупрежденности явлений сильных осадков.

Прогнозы оперативно два раза в сутки выкладываются на FTP-сервер ФГБУ «Гидрометцентр России». В ФГБУ «Гидрометцентр России» прогнозы оперативно визуализируются с помощью пакета «ИЗОГРАФ» и доступны оперативным синоптикам. В любом случае при недостатках прогноза сильных осадков гидродинамическими моделями гидродинамико-статистические прогнозы могут быть полезными для синоптиков. Они подвигнут синоптика к более вдумчивому анализу синоптической ситуации в случае прогноза сильных осадков данным способом. Учитывая синоптическую ситуацию, синоптики смогут с пользой использовать прогнозы испытываемым методом, скорректировать его и более точно спрогнозировать время и место выпадения сильных осадков.

Далее на рис. 1–3 представлены карты с рассчитанными в узлах сетки вероятностями. При вероятности $P > P_{\text{пор}}$ (эмпирически найденной для каждой заблаговременности и градации осадков) следует ожидать возникновение сильных осадков. $P_{\text{пор}}$ для прогнозов на текущий день составляет 98 %. Пороговая вероятность для прогноза сильных осадков с заблаговременностью 42 ч – 96 %. Ниже приведены примеры прогноза сильных осадков на 13 июля 2012 г., 30 июня и 7 июля 2013 г.

30 июня 2013 г. полоса сильной конвективной неустойчивости протянулась от северо-запада Волгоградской области на северо-запад через Центральный округ к Ленинградской области. В Ленинградской области выпало до 37 мм осадков, Новгородской и Орловской областях до 26 мм, Тверской – до 42 мм, Московской – до 53 мм, Тамбовской – до 47 мм, на западе Саратовской области – до 36 мм, на северо-западе Волгоградской области – до 31 мм. Сильные дожди отмечались в большинстве районов Московской области: в Ново-Иерусалиме выпало 47 мм, Подмосковной – 43 мм, Внуково – 30 мм, Михайловском – 29 мм, Домодедово – 53 мм, Дмитрове – 33 мм, Серпухове – 23 мм, Кашире – 43 мм, Можайске – 34 мм, что составляет до 1/2–2/3 месячной нормы осадков. В Москве на станции ВВЦ зафиксировано 16 мм осадков, в Немчиновке и Тушино – 25 мм, в центре мегаполиса на Балчуге выпало 30 мм осадков.

7 июля 2013 г. в Москве в Тушино отмечено 31 мм, Немчиновке –37 мм, Шереметьево – 28 мм, Волоколамске – 33 мм, Наро-Фоминске – 22 мм.

13 июля 2012 г. сильнейшие ливни обрушились на Белоруссию. Буквально за несколько часов Гомель превратился в настоящее озеро. Сильнейший ливень наблюдался в Москве, вызвав подтопления. Наиболее подтопленными оказались Таганская улица в центре столицы, а также площади перед Киевским и Павелецким вокзалами. Также пострадали улицы на северо-западе Москвы.

Заключение

Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 11 декабря 2013 г. утверждено решение секции Ученого совета ФГБУ «Гидрометцентр России» от 9 декабря 2013 г.:

– в связи с поступлением прогнозов в реальном масштабе времени и довольно высокими показателями предупрежденности дневных летних осадков и их отсутствия, как на текущий день, так и на последующие сутки, по Московскому региону и по территории Центрального федерального округа, рекомендовать использовать в ФГБУ «Гидрометцентр России» в отделе краткосрочных прогнозов погоды и опасных явлений по территории России метод прогноза сильных летних полусуточных осадков количеством ≥ 15 мм/12ч как вспомогательный к синоптическому методу;

– рекомендовать автору усовершенствовать метод прогноза с целью уменьшения прогнозов случаев «ложных тревог» и реализовать способ оперативной визуализации прогнозов областей сильных осадков;

– продлить испытания метода прогноза дневных сильных летних осадков с заблаговременностью 18, 30 и 42 ч по небольшим территориям на европейской части России (примерно 100×100 км) в течение летнего периода 2014 г.

Список литературы

1. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. – М.: Физматгиз, 1963. – 500 с.
2. Багров А.Н. Сравнительная оценка успешности прогнозов сильных летних осадков с помощью моделей атмосферы различного масштаба // Информационный сборник № 41. – 2014.

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

4. Веселова Г.К., Переходцева Э.В. Результаты испытаний автоматизированного метода прогноза летних осадков с выделением областей с количеством 15 мм и более на текущий день по европейской части России // Информационный сборник № 22. – 1994. – С. 31–36.

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

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

7. 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.

8. 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.

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

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

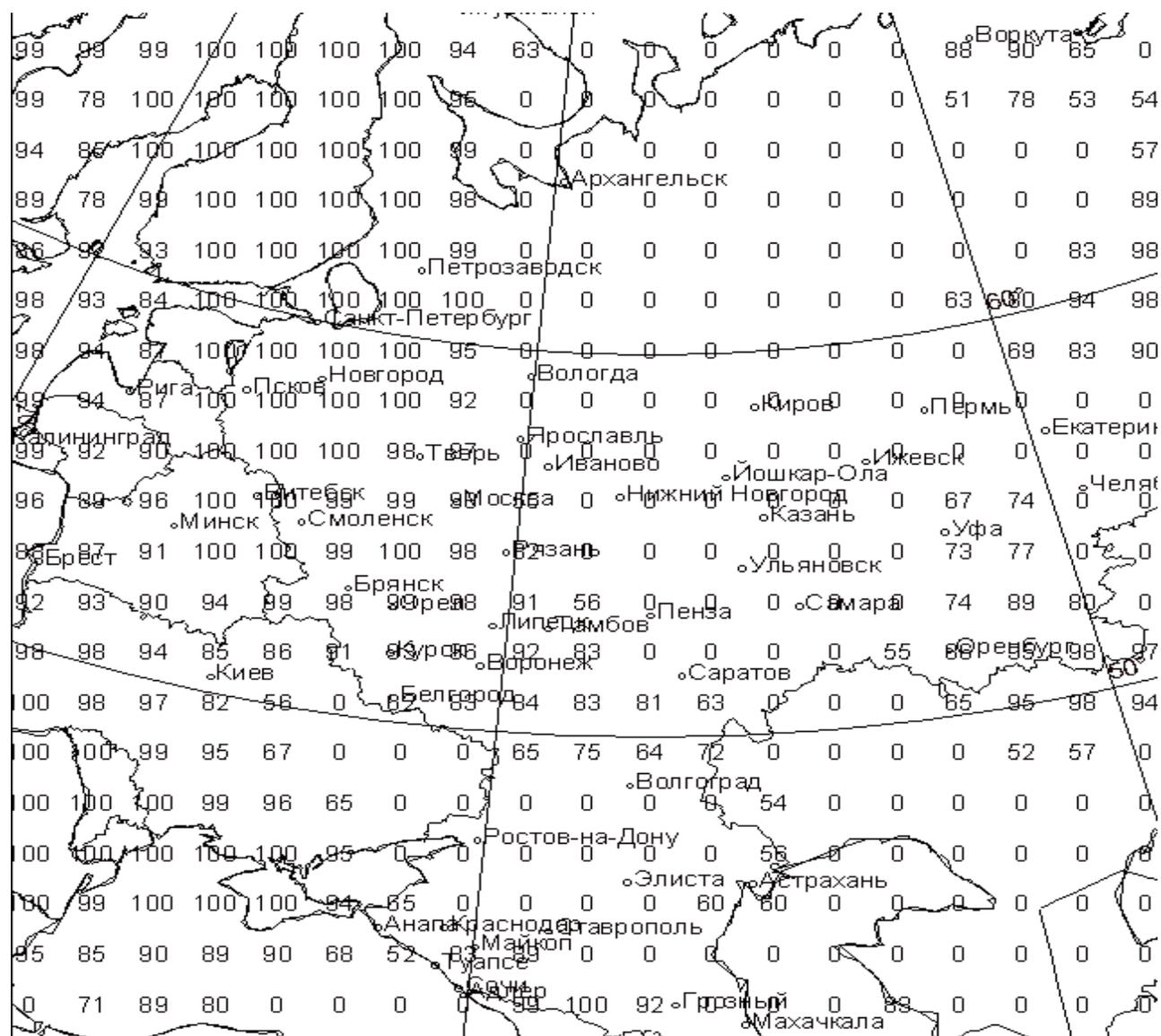


Рис. 1. Прогноз сильных осадков ≥ 15 мм/12ч на день 30.06.2013 г. (заблаговременность 18 ч).

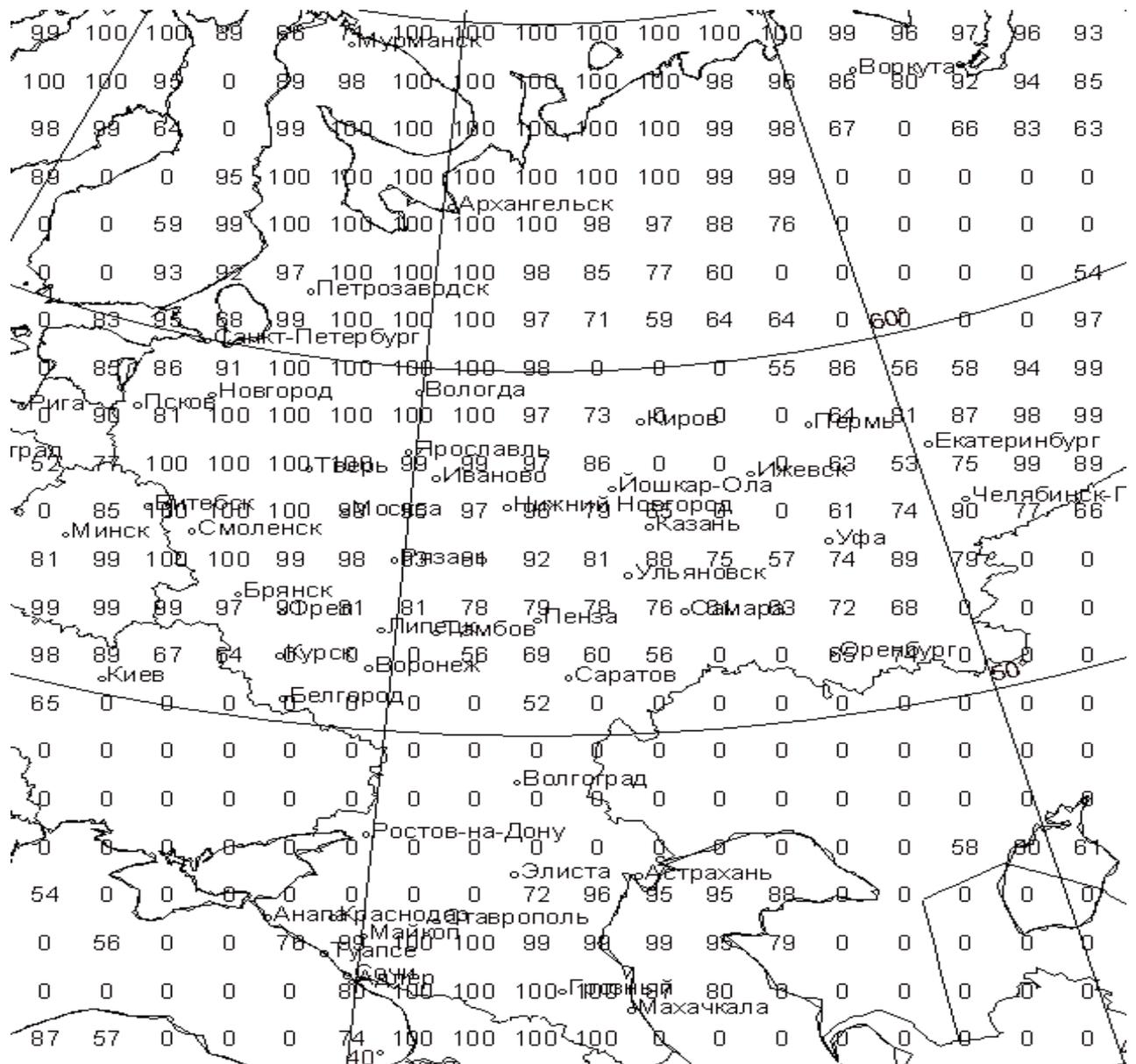


Рис. 2. Прогноз сильных осадков ≥ 15 мм/12ч на день 7 июля 2013г. (заблаговременностью 42 ч).

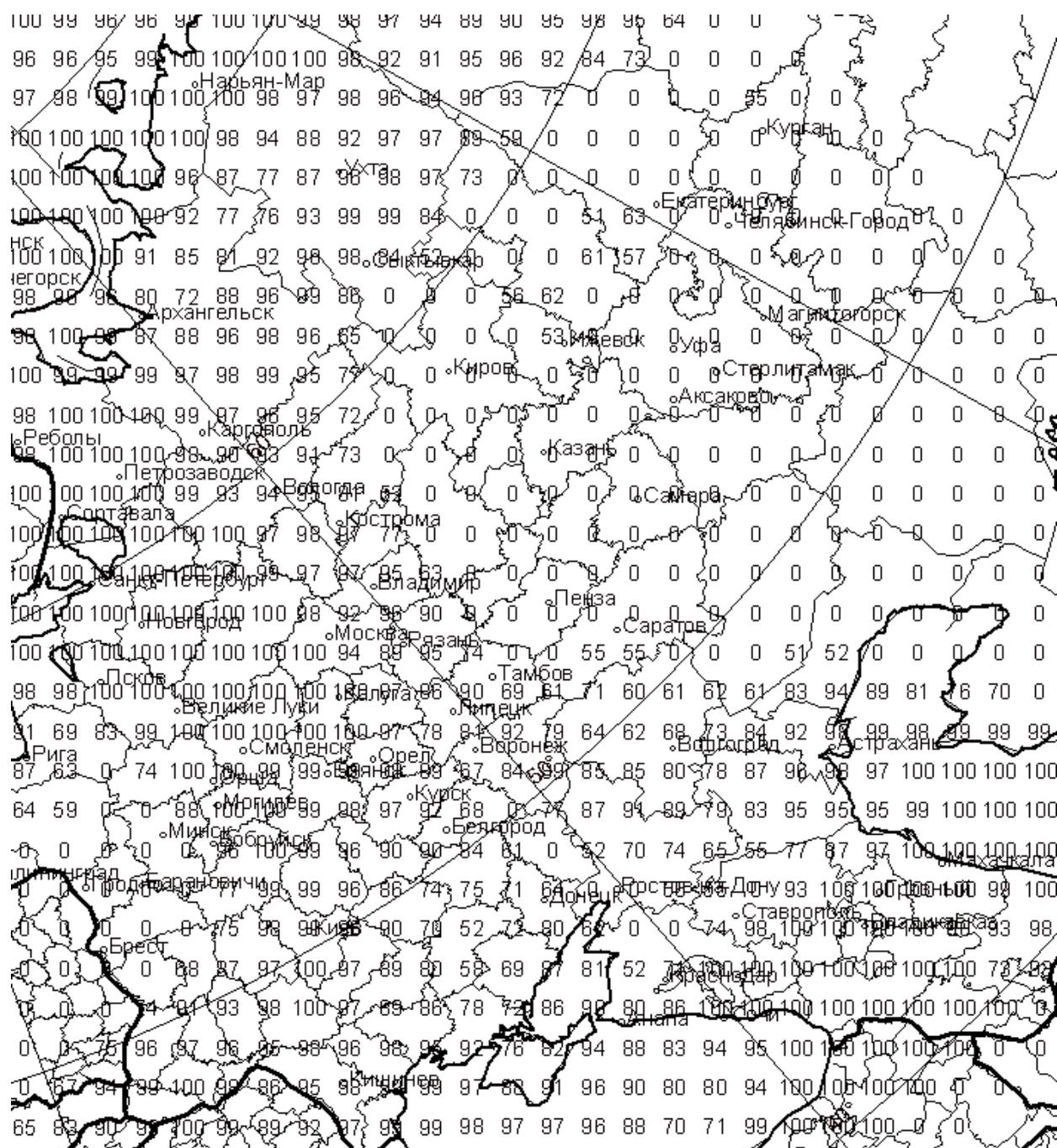


Рис. 3. Прогноз сильных осадков ≥ 15 мм/24ч на день 13 июля 2012 г. (заблаговременностью 42 ч).

Таблица 2

Оценки прогнозов сильных осадков (≥ 15 мм/12ч) гидродинамико-статистическим методом в сравнении с прогнозами синоптиков по сроку 00 ч ВСВ с заблаговременностью 30–42 ч по 17 станциям (административным центрам ЦФО) за летние периоды с 16 мая по 15 сентября 2012 и 2013 гг.

Год	Прогнозы	Исходная матрица прогнозов			Заблаговременность, ч	P_r	P_{or}	PC_r	LT_r	U_r	T
		k11 k21 k01	k12 k22 k02	k10 k20 k00							
2012	Испытываемый метод	29 12 41	610 1371 1981	639 1383 2022	42 (день)	70,7	69,2	29,3	95,5	4,5	0,399
	Синоптики	5 25 30	17 1443 1460	22 1468 1490							
2013	Испытываемый метод	26 15 41	690 1338 2028	716 1353 2069	42 (день)	63,4	66,0	36,6	96,4	3,6	0,294
	Синоптики	4 23 27	23 1482 1505	27 1505 1532							
2012	Испытываемый метод	25 2 27	1194 797 1991	1219 799 2018	30 (ночь)	92,6	40,0	7,4	97,9	2,1	0,326
	Синоптики	3 22 25	27 1918 1945	30 1940 1970							
2013	Испытываемый метод	24 0 24	935 1112 2047	959 1112 2071	30 (ночь)	100	54,3	0	97,5	2,5	0,543
	Синоптики	2 22 24	27 1979 2006	29 2001 2030							