

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МЕТОДА ПРОГНОЗА ОСАДКОВ  
С ДЕТАЛИЗАЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ТРЕХ ГРАДАЦИЯХ  
(от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12 ч и более)  
НА ОСНОВЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ  
С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 12 И 24 Ч**

Испытания метода прогноза осадков проводились в ФГБУ «Гидрометцентр России» в теплый период года с 16 мая по 15 сентября 2009–2010 гг. Прогнозы рассчитывались в исходные сроки 00 и 12 ч ВСВ для 17 областей, входящих в Центральный федеральный округ (ЦФО) России, с заблаговременностью 12 и 24 ч. Расчет прогнозов осуществлялся в рамках единого программного комплекса прогноза опасных конвективных явлений на ЭВМ ИТАНИУМ, т.е. в едином программном комплексе сначала рассчитывалась региональная гидродинамическая модель метеоэлементов с шагом по горизонтали 75 км, а затем – модель конвекции и физико-статистический прогноз конвективных явлений. Прогноз осадков рассчитывался с ежечасной дискретностью, затем на основе ежечасных прогнозов давался прогноз осадков в градациях (от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12 ч и более) на полусутки. В блоке расчета одномерной стационарной модели конвекции рассчитывались параметры конвекции. В блоке прогноза явлений дополнительно вычислялись необходимые предикторы и рассчитывались прогностические уравнения. Прогнозы передавались потребителю в виде автоматизированных карт.

Следует заметить, что территории областей различаются по площади. Так, например, территории Калужской и Липецкой областей включают в себя по пять узлов сетки модели, а Костромской и Тверской – 13 и 15 соответственно (Московская область – 8 узлов). Отметим, что страхование ущерба от опасных явлений (ОЯ) в ЦФО осуществляется по областному принципу, поэтому принцип оценки прогнозов ОЯ по областям уместен. Кроме того, данный принцип оценки прогнозов опасных конвективных явлений оправдан по причине редкой сети наблюдений за такими явлениями, в силу чего даже при таком подходе к оценке немалое количество явлений остается не замеченными официальной сетью наблюдений Росгидромета. Для оценки прогнозов осадков привлекались данные измерений осадков за

один срок: в 06 или 18 ч ВСВ за 12-часовой интервал с осадками от 11 мм/12 ч и более в соответствии с заблаговременностью прогноза. Кроме того, привлекались данные о количестве осадков из донесений с мест о происшедших опасных явлениях погоды. Прогноз считался оправдавшимся, если хотя бы в одном узле сетки модели, попадающем в рассматриваемую область, прогнозировалось явление соответствующей градации, и оно действительно наблюдалось в этой области хотя бы на одной станции или отмечалось в донесении из этой области. Но если хотя бы в одном узле модельной сетки, попадающем в рассматриваемую область, явление соответствующей градации прогнозировалось, но фактически не наблюдалось ни на одной станции и не отмечалось в донесении, то прогноз по данной области считался неоправдавшимся. Оценка проводилась по одинаковой методике: за 2009 год – вручную (из-за отсутствия прогнозов осадков в базе данных), а за 2010 г. – автоматизированно. По этой же методике для сравнения была проведена оценка прогнозов сильных осадков (от 11 мм/12 ч и более) на 12 ч вперед за сезон 2010 года по моделям PLAV, COSMO-RU07 и региональной модели REGION, для исходного срока 00 ч ВСВ.

### Основы метода прогноза осадков

Прогноз осадков является результатом комплексирования результатов двух методов прогноза: метода прогноза максимального количества осадков – основы прогноза во всех градациях; и альтернативного метода прогноза ливней градации ОЯ – уточняющего для градации 50 мм/12 ч и более.

Эмпирическая зависимость для прогноза смешанных (ливневых и обложных) осадков  $Q_{max1}$ , мм/12 ч:

$$Q_{max1} = 4,36 \cdot K_0 \cdot W_m, \quad (1)$$

где  $K_0 = f(\sigma_{850})$  – коэффициент генерации осадков;  $\sigma_{850}$  – вертикальная скорость крупномасштабных движений (гПа/12 ч);  $W_m$  – максимальная конвективная скорость (м/с).

Эмпирическая зависимость для прогноза ливневых осадков  $Q_{max1}$ , мм/12 ч:

$$Q_{max1} = c \cdot W_m, \quad (2)$$

где  $c$  – эмпирический коэффициент, зависящий от влажности в слое 850–700 гПа и вертикальных крупномасштабных движений на поверхности 850 гПа.

Для расчета осадков средней интенсивности  $Q_{max2}$  (мм/12 ч) в выше приведенные эмпирические зависимости введен коэффициент на интенсивность конвекции  $l = f(W_m)$ .

Окончательно эмпирическая зависимость для прогноза максимального количества осадков  $Q_{\max}$  имеет вид:

$$Q_{\max} = Q_{\max 1} \cdot \lambda + Q_{\max 2} \cdot (1 - \lambda), \quad (3)$$

где  $\lambda$  – плотность конвективных струй.

Для прогноза осадков в градации 50мм/12ч и более дополнительно применяется уточняющая дискриминантная функция  $L$

$$L = f(W_m, T_d, \Delta P, d_{8-7}), \quad (4)$$

где  $T_d$  – температура точки росы у поверхности Земли;  $\Delta P$  – лапласиан приземного давления (гПа/300 км<sup>2</sup>);  $d_{8-7}$  – средний дефицит точки росы в слое 850–700 гПа.

Примеры карт прогноза осадков с детализацией трех градаций приведены на рис. 1 и 2.

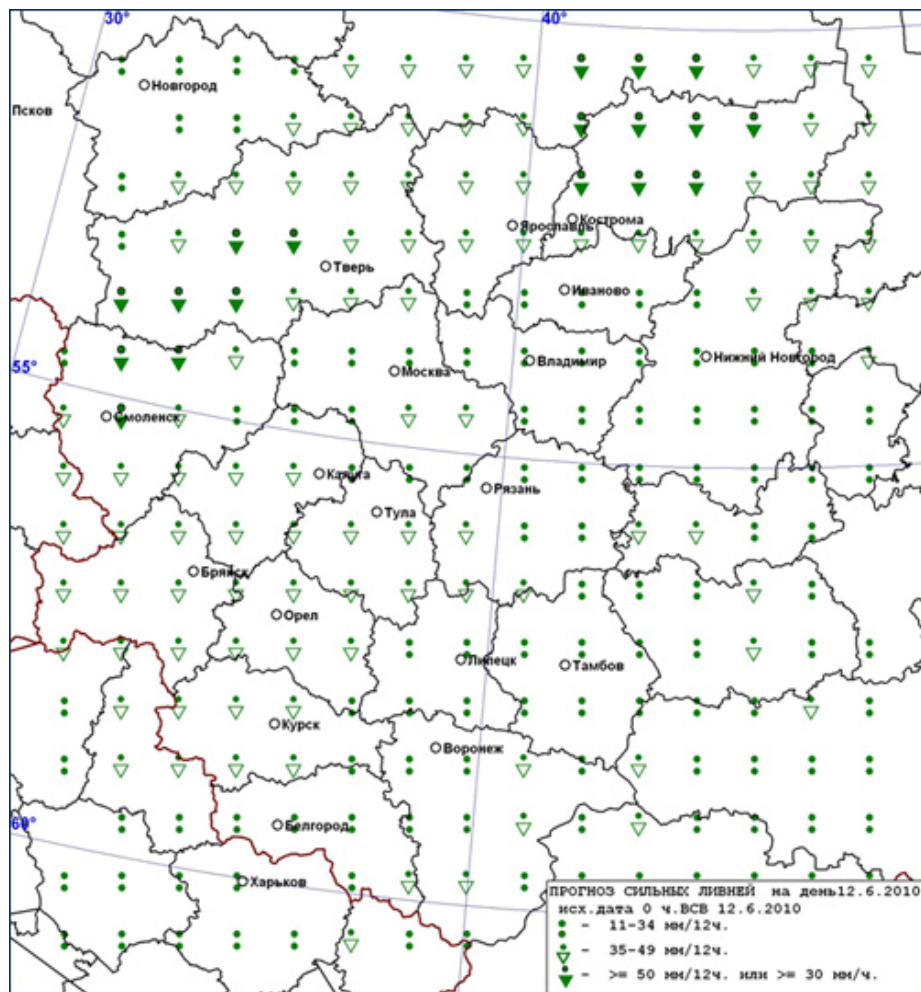
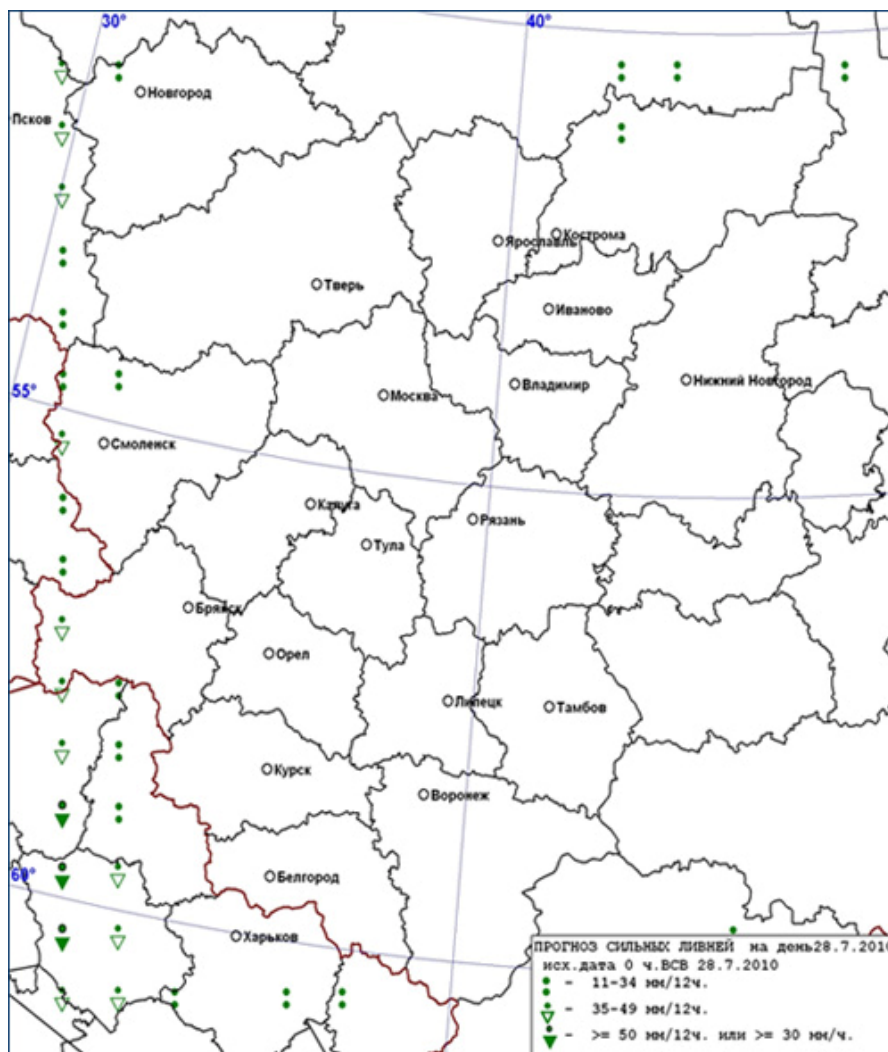


Рис. 1. Карта прогноза сильных ливней на день (период с 06 до 18 ч ВСВ) 12.06.2010 г. с заблаговременностью 12 ч. Исходный срок 00 ч ВСВ.



**Рис. 2. Карта прогноза сильных ливней на день (период с 06 до 18 ч ВСВ) 28.07.2010 г. с заблаговременностью 12 ч. Исходный срок 00 ч ВСВ.**

В первом случае (12.06.2010 г.) осадки прогнозировались практически на всей территории ЦФО. Во втором случае (28.07.2010 г.) – лишь на западе рассматриваемого региона.

Фактически 12.06.2010 г. сетью наблюдений зафиксированы дневные полусуточные осадки: Костромская область – 39 мм, Ивановская область – 11 мм с градом диаметром 3–5 см, Ярославская область – 34 мм, Наро-Фоминск Московской области (данные из Интернета) – 14 мм с градом.

Фактически 28.07.2010 г. сетью наблюдений зафиксированы дневные полусуточные осадки: Брянская область – 30 мм.

## Оценки успешности прогнозов ливней за летний период 2009–2010 гг.

Показатели успешности прогнозов ОЯ рассчитываются с помощью таблицы сопряженности (табл. 1).

Таблица 1

Таблица сопряженности

Прогноз	Фактическое количество случаев		Сумма
	с ОЯ	без ОЯ	
С ОЯ	$k_{11}$	$k_{12}$	$k_{10}$
Без ОЯ	$k_{21}$	$k_{22}$	$k_{20}$
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  $U_r, \%$

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

– предупрежденность явления  $P_r, \%$

$$P_r = \frac{k_{11}}{k_{01}} \cdot 100; \quad (6)$$

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

$$P_{or} = \frac{k_{22}}{k_{02}} \cdot 100; \quad (7)$$

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

$$LT_r = \frac{k_{12}}{k_{10}} \cdot 100; \quad (8)$$

– «пропуск цели»  $PC_r$ , %

$$PC_r = \frac{k_{21}}{k_{01}} \cdot 100; \quad (9)$$

– критерий Пирси-Обухова  $T$ :

$$T = \frac{k_{11}}{k_{01}} - \frac{k_{12}}{k_{02}} \quad (10)$$

Показатели успешности прогнозов ливней рассматриваемым методом в градациях 11–34, 35–49 и  $\geq 50$  мм/12 ч за летний период 2009-2010 гг. представлены в табл. 2.

Результаты сравнительной оценки ливней в градации  $\geq 11$  мм/12 ч с заблаговременностью 12 ч от исходного срока 00 ч ВСВ по испытываемому методу, моделями PLAV, REGION и COSMO представлены в табл. 3. В матрице – количество областей.

### **Причины ложных тревог по испытываемому методу**

1. Недостаточная для таких явлений, как сильный ливневой дождь сеть наблюдений. Большая часть фактически осуществленных явлений, особенно не в жилых районах (лес, поле), не отражены в донесениях.

2. Плохо организованный обмен имеющейся информацией об ОЯ с другими ведомствами (например МЧС, страховые компании).

3. До сих пор в России нет базы данных ОЯ, пригодной для автоматизированной оценки прогнозов. Главной причиной непригодности имеющейся информации в донесениях об ОЯ для автоматизированной обработки является отсутствие точных данных о месте осуществления ОЯ (географических координат). В донесениях часто не указываются даже пункты осуществления ОЯ, ограничиваясь при этом перечислением нескольких областей (регионов ответственности), в которых местами осуществлялись ОЯ.

4. Начальными данными для региональной модели являются данные объективного анализа в достаточно грубой сетке ( $1.25^\circ$ ). В результате, на наш взгляд, в нескольких узлах модельной сетки метеорологические данные в тропосфере мало отличаются друг от друга,

т.е. они сглажены в результате принятых тех или иных приемов интерполяции. Поэтому уже на стадии объективного анализа метеорологические поля сглажены, особенно это важно для влажности, площадные особенности распределения которой в приземном слое в значительной степени влияют на образование опасных конвективных явлений.

5. Привязка прогнозируемых модельных полей по площади не всегда точна, т.е. в отдельных случаях прогнозируемые процессы (центры циклонов, антициклонов, особенности барических образований) несколько смещены по площади относительно фактических процессов. В результате этого бывают случаи, когда сильные ливни прогнозируются в соседних по отношению к факту областях.

6. Модельные прогнозы интенсивности процессов также сглажены по времени. Как показали оперативные испытания, опасные конвективные процессы наблюдаются на фронтах только в моменты максимального развития конвекции. А согласно прогнозу на основе модели такие явления прогнозируются и в соседних районах, где фронт проходил не в момент максимального развития конвекции. Поэтому при использовании прогнозов сильных ливней для консультации рекомендуется привязывать прогнозируемые зоны к линии фронта, проведенного синоптиком на основе анализа синоптической ситуации по всей доступной информации, а интенсивность прогнозируемого явления уточнять, учитывая момент максимального развития конвекции.

7. Отметим, что вся оценка велась по 17 областям ЦФО, что заметно огрубляет результаты оценки и делает ее не универсальной. В принципе такую оценку следует вести по узлам сетки прогноза (шаг сетки в данном случае 75 км) с привлечением наблюдений на станциях из некоторой окрестности узла (40 км). Однако в этом случае часть узлов (до 35 %) не будет включена в оценку, т.к. даже на этой хорошо освещенной территории в окрестности узла может не найтись ни одной станции.

8. В перспективе метод можно усовершенствовать. Усовершенствование необходимо как региональной модели, так и подходу к прогнозу явления.

Для этого необходимо:

– повысить пространственное разрешение региональной модели для прогноза конвективных явлений в ближайшее время до 25 км. Такое пространственное разрешение близко к размерам суперячейковых облаков и конвективных комплексов, с которыми связано возникновение опасных конвективных явлений. На данном этапе уже разработана новая версия региональной модели с пространственным разрешением 25 км, которая основные метеорологические поля прогнозирует с сопоставимой с зарубежными моделями точностью. Для использования данного варианта модели при прогнозе опасных конвективных явлений

необходимо решить проблему погашения коротковолновых осцилляций в полях вертикальных токов. Второй ближайшей задачей усовершенствования модели является переход к непосредственному расчету приземной влажности в комплексной модели;

– при усовершенствовании подходов к прогнозу явлений необходим более точный учет рельефа подстилающей поверхности, переход на использование модельной приземной влажности. Кроме того, необходимы дополнительные исследования причин «лишних тревог».

Таблица 2

**Показатели успешности прогнозов ливней в градациях**

**11–34 мм/12 ч (1), 35–49 мм/12 ч (2) и  $\geq 50$  мм/12 ч (3) за теплый период 2009-2010 гг.**

Градации осадков, мм/12 ч		Исходный срок прогноза (ВСВ)	Заблаговременность прогноза, ч (время суток)	$U_r$	$P_r$	$P_{or}$	$PC_r$	$LT_r$	$T$
Без разделения	$\geq 11$ (1,2,3)	00 ч	12 (день)	17	94	48	6	83	0,42
	$\geq 35$ (2,3)	00 ч	12 (день)	3	89	74	11	97	0,63
Строго по градациям	11-34 (1)	00 ч	12 (день)	11	52	59	48	88	0,11
	35-49 (2)	00 ч	12 (день)	2	62	79	38	98	0,40
	$\geq 50$ (3)	00 ч	12 (день)	2	47	92	53	98	0,39
Без разделения	$\geq 11$ (1,2,3)	12 ч	12 (ночь)	13	91	53	9	87	0,44
	$\geq 35$ (2,3)	12 ч	12 (ночь)	3	85	78	15	97	0,63
Строго по градациям	11-34 (1)	12 ч	12 (ночь)	10	57	63	43	90	0,19
	35-49 (2)	12 ч	12 (ночь)	2	73	79	27	98	0,52
	$\geq 50$ (3)	12 ч	12 (ночь)	1	18	96	82	99	0,14
Без разделения	$\geq 11$ (1,2,3)	00 ч	24 (ночь)	14	92	55	8	86	0,47
	$\geq 35$ (2,3)	00 ч	24 (ночь)	2	82	73	18	98	0,55
Строго по градациям	11-34 (1)	00 ч	24 (ночь)	9	45	69	55	90	0,13
	35-49 (2)	00 ч	24 (ночь)	1	54	77	46	99	0,31
	$\geq 50$ (3)	00 ч	24 (ночь)	2	42	92	58	98	0,34
Без разделения	$\geq 11$ (1,2,3)	12 ч	24 (день)	17	94	48	6	83	0,42
	$\geq 35$ (2,3)	12 ч	24 (день)	2	77	72	23	98	0,49
Строго по градациям	11-34 (1)	12 ч	24 (день)	12	49	62	51	88	0,11
	35-49 (2)	12 ч	24 (день)	1	48	79	52	99	0,26
	$\geq 50$ (3)	12 ч	24 (день)	2	56	89	44	98	0,45



**Результаты сравнительной оценки прогнозов ливней в градации  $\geq 11$  мм/12 ч с заблаговременностью 12 ч от исходного срока 00 ч ВСВ по испытываемому методу и моделями PLAV, REGION, COSMO за теплый период 2010 г.**

Способ прогноза и модели	Матрица случаев прогноза	$U_r$	$P_r$	$P_{or}$	$PC_r$	$LT_r$	$T$
Испытываемый метод	179 972 1151 19 921 940 198 1893 2091	15	90	49	10	84	0,39
PLAV	26 11 37 141 1896 2037 167 1907 2074	15	16	99	84	30	0,15
REGION	27 25 52 140 1882 2022 167 1907 2074	14	16	99	84	48	0,15
COSMO	30 46 76 137 1861 1998 167 1907 2074	14	18	98	82	61	0,16

### Рекомендации о внедрении

Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) **отмечает:**

– в ФГБУ «Гидрометцентр России» разработан метод прогноза осадков с детализацией интенсивности по 3-м градациям (от 11 до 34, от 35 до 49 и 50 мм/12 ч и более), использующий выходные данные региональной модели атмосферы с горизонтальным разрешением 75 км и включающий расчет параметров конвекции с помощью одномерной стационарной модели конвекции и прогноз осадков с применением физико-статистического подхода;

– прогнозы осадков рассчитываются с заблаговременностью 12 и 24 ч два раза в сутки (исходные сроки 00 и 12 ч ВСВ), в автоматизированном режиме наносятся на карты в условных обозначениях градаций, которые передаются потребителю, в условных цифрах записываются в базу данных;

– оперативные испытания метода проводились для 17 областей, входящих в Центральный федеральный округ России, в теплый период (с 16 мая по 15 сентября) 2009-2010 гг.;

– для оценки прогнозов осадков по территории областей привлекались данные измерений осадков на метеорологических станциях за 12-часовой интервал в сроки 06 ч ВСВ

(ночное время) и 18 ч ВСВ (дневное время), и, кроме того, значения сильных осадков из донесений с мест о наблюдавшихся опасных явлениях погоды;

– прогнозы осадков в 2009 году оценивали вручную, в 2010 году – с помощью специально созданной автоматизированной технологии, включающей данные наблюдений на метеорологических станциях, а также использовали информацию из присланных донесений об ОЯ;

– число случаев с осадками количеством  $\geq 50$  мм/12 ч составило 11–17, что менее 0,5 % общей выборки, поэтому результаты испытаний прогнозов в градации ОЯ оказались статистически не обеспечены;

– анализ полученных результатов испытаний показал, что метод прогнозирует отсутствие ОЯ с оправдываемостью 92–98 %, предупрежденность случаев наличия ОЯ колеблется в пределах от 50–90 %, а значения критерия качества Пирси-Обухова, равные 0,4–0,6, свидетельствуют о практической значимости данных прогнозов, при этом отмечено значительное количество «ложных тревог», что является основным недостатком метода;

– сравнение показателей успешности прогнозов осадков количеством  $\geq 11$  мм/12 ч, рассчитанных на основе данного метода и гидродинамических моделей атмосферы (COSMO, PLAV и REGION) в летний сезон 2010 года, показало, что метод и модели имели невысокие (около 15 %) оправдываемости прогнозов с осадками, однако предупрежденность выпадения осадков, а также величины критерия качества Пирси-Обухова у испытываемого метода были существенно выше (90 % и 0,39), чем у рассмотренных гидродинамических моделей атмосферы (16–18 % и 0,15–0,16);

– в целях развития методики оценки качества методов прогнозирования опасных явлений погоды и самих методов необходимо усовершенствовать технологию сбора данных наблюдений за ОЯ с привлечением максимального количества источников информации (включая другие ведомства) с обязательным указанием географических координат.

**ЦМКП рекомендует:**

– ФГБУ «Гидрометцентр России» внедрить в оперативную технологию автоматизированный метод прогноза осадков с детализацией интенсивности в двух градациях (от 11 до 34 и  $\geq 35$  мм/12 ч) с заблаговременностью 12 и 24 ч и обеспечить передачу прогнозов в летний период в прогностические организации Центрального и Центрально-Черноземного УГМС;

– прогностическим организациям Центрального и Центрально-Черноземного УГМС использовать в оперативной практике данные прогнозы в качестве фоновых для последующего их уточнения на текущих материалах.

**ЦМКП рекомендует авторам метода:**

– подготовить описание метода с результатами оперативных испытаний и рекомендациями о практическом использовании; материалы разместить на сайте Методического кабинета Гидрометцентра России;

– продолжить работу по развитию метода прогноза осадков в градации опасных явлений погоды, в том числе с использованием информации доплеровского МРЛ, с целью повышения успешности прогнозов.

**Список литературы**

1. *Алексеева А.А., Лосев В.М., Песков Б.Е., Васильев Е.В., Никифорова А.Е.* Прогноз развития зон активной конвекции с особо опасными явлениями на основе региональной модели Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. – М.: ТРИАДА ЛТД, 2010. – С. 147–159.