

ПРОГНОЗ ЛЕТНИХ ДОЖДЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСТПРОЦЕССИНГА ПРОГНОЗОВ ОСАДКОВ COSMO-RU7

А.Е. Никифорова, Б.Е. Песков

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации

Введение

В работе [3], а также в рамках результатов исследований, изложенных ниже, с использованием прогнозов осадков технологии COSMO-Ru7 [1] получено, что принципиально разные по подходу, используемым моделям и периодам испытаний методы прогноза имеют коэффициент корреляции прогностических и фактических осадков около 0,4, при среднем соотношении факта и прогноза осадков 0,2 для первого метода и 0,5 – для второго. Это означает, что в обоих методах при больших расхождениях между фактическими и прогностическими осадками имеется их положительная связь, с ростом фактических осадков растут и прогностические. При абсолютно правильных прогнозах все выше указанные коэффициенты равнялись бы 1, т.е. прогностические осадки были бы равны фактическим. В действительности же фактические осадки составляют в среднем лишь 0,2–0,5 от прогностических значений и растут в 2–5 раз медленнее прогностических. Поэтому для реального прогнозирования осадков на основе их модельного прогноза требуется постпроцессинг (postprocessing), т.е., в частности, дополнительное использование полученных по MOS (Model Output Statistics) соотношений. Для обоих методов при малом и среднем количестве выпадающих осадков намечается их прямая связь с прогностическими значениями, а при большом количестве – обратная. В рамках данных исследований искались как линейные, так и квадратические соотношения между фактическими и прогностическими осадками: $y = ax + b$ и $y' = a'x + b'x^2 + c$, где y и y' – фактические осадки в мм/12 ч на метеостанции за текущий день (\bar{Q}); x – прогностические осадки технологии COSMO-Ru7 за тот же период времени (Q_{np}).

Полученные соотношения целесообразно использовать для корректировки модельного прогноза осадков, поскольку, как было сказано выше, ошибка будет существенно меньше, чем при прогнозе осадков по модели. Кроме того, ошибки модельных прогнозов в конкретных случаях часто остаются значимыми, но существенно уменьшаются при осреднении прогнозов для большого числа случаев. Поэтому применять корректирующие соотношения полезно именно для осредненных осадков, то есть не для осадков одного маленького квадрата 7×7 км², соответствующего шагу сетки модели, а для квадратов, в

которые входят около 800 таких квадратов. В этом случае прогнозируемые осадки будут средними осадками по большим регионам. Они, естественно, малозначимы для отдельных пунктов, прогнозами в которых интересуется население, и имеют лишь вероятностное значение для них, уточняясь в течение дня по фактическим данным.

Но такие осадки (средние по большим площадям) имеют, например, большое значение для прогноза речных паводков, возникающих за счет сбора воды с больших бассейнов. Поэтому на практике также важны прогнозы средних осадков с площади примерно $200 \times 200 \text{ км}^2$, выбранной исходя из востребования таких осадков на практике. Такие прогнозы достаточно надежны, так как осадки осреднены по ~ 800 элементарным квадратам: ошибка уменьшается примерно в $\sqrt{800}$ раз; то есть почти в 30 раз (с 10–100 мм до 0,3–3 мм). Еще более надежны такие прогнозы осадков при засухах и обмелении рек, так как осадки при этом целесообразно осреднять не только по большим площадям, но и по продолжительным периодам в несколько (5–10) дней; тогда ошибки уменьшаются в $\sqrt{8000}$, то есть почти в 90 раз (с 1–50 до 0,01–0,5 мм).

Таким образом, поскольку ошибки прогнозов летних дождей, особенно сильных, COSMO-Ru7 по квадратам $7 \times 7 \text{ км}^2$ значительны, поставлена цель найти в рамках представляемых исследований корректирующие соотношения к прогнозам осадков технологии COSMO-Ru7 для прогноза средних осадков по квадратам $\sim 200 \times 200 \text{ км}^2$, позволивших бы с более высокой достоверностью объективными способами прогнозировать не только факт выпадения осадков, но и их количество. В частности, получение достоверных сумм осадков по достаточно большим площадям является важной задачей для того, чтобы использовать продукцию численных моделей, как указывалось выше, для решения гидрологических задач, связанных с прогнозированием притоков воды по водосборам к водохранилищам и паводков. Особое значение принимает решение таких задач для районов, недостаточно освещенных данными метеорологических и гидрологических наблюдений.

1. Анализ регрессионных соотношений фактических летних осадков y_i и их прогнозов x_i по технологии COSMO-Ru7 на текущий день

Использовались данные о фактических осадках с метеорологических станций, расположенных на Европейской территории России (от 45° с.ш. до 62° с.ш. и от 30° в.д. до 55° в.д.), и прогнозы осадков COSMO-Ru7 за май–сентябрь 2010–2013 гг. Найдены регрессионные соотношения между фактическими и прогностическими осадками за каждые 0,5 месяца летних периодов 2010–2013 гг. и за каждый месяц 2010–2012 гг. Число случаев в выборках около 25000. За 1 случай принимаются полусуточные осадки на станции за

дневной период времени и соответствующий им прогноз сумм осадков COSMO-Ru7 с заблаговременностью 12–18 ч. Как по количеству используемых лет (3–4), так и по количеству случаев в выборках регрессионные соотношения достаточно надежны, что подтверждается устойчивостью коэффициентов регрессии: a – от 0,40 до 0,55, a' – от 0,65 до 0,70, а также и закономерным изменением коэффициентов регрессии от менее теплых месяцев к более теплым (уменьшение коэффициента a от 0,52–0,55 от крайних месяцев летнего периода (май и сентябрь) до 0,41–0,45 – к середине периода (июнь-август); a' – от 0,70 до 0,65–0,68 соответственно). Коэффициент b' при x^2 в основном за весь период – 0,009–0,010; в сентябре – 0,007 (табл. 1, 2). Свободный член b колеблется от 0,4 до 0,7, c – от 0,3 до 0,6 (мм).

Наиболее надежны сезонные соотношения, основанные на выборках порядка 100000 случаев, и вполне точны для прогностического использования. В среднем для летнего сезона с учетом статистических ошибок определения коэффициентов и ошибок прогнозов по модели уравнения регрессии имеют следующий вид:

$$y = 0,5x + 0,6 ; y' = 0,7x - 0,01x^2 + 0,4 . \quad (1)$$

Для двух явно отличающихся сезонов: а) «разгар» лета в июне-августе и б) менее теплый период в мае и сентябре, получены отдельные соотношения:

$$\begin{aligned} \text{а) } y &= 0,45x + 0,7 ; y' = 0,68x - 0,01x^2 + 0,5 ; \\ \text{б) } y &= 0,53x + 0,4 ; y' = 0,70x - 0,008x^2 + 0,3 . \end{aligned} \quad (2)$$

В целом видно, что прогнозы COSMO-Ru7 в среднем примерно в 2 раза завышают осадки на станциях в квадрате $7 \times 7 \text{ км}^2$, а при сильных осадках (количеством $> 30 \text{ мм}$) завышение еще больше и растет по квадратической зависимости. При прогнозе осадков количеством 40 мм завышение составляет 20 мм согласно линейной регрессии и 28 мм – согласно квадратичной. При прогнозе осадков количеством 60 мм завышение, соответственно, 30 и 54 мм.

Резкий рост завышения прогностических осадков при особо интенсивной конвекции в «разгар» лета связан, по-видимому, с существенным недоучетом «вовлечения» в конвективное облако окружающего воздуха, турбулентного перемешивания, уменьшающего, а иногда практически ликвидирующего большую вертикальную неустойчивость – основную энергетическую базу облака. Это показано, в частности, в [2]. Как показано в [3], и средние по количеству, и самые сильные осадки (от 15 до 50 мм) выпадают при средних величинах вертикальной неустойчивости атмосферы.

Из сравнения прогнозов осадков COSMO-Ru7 с фактическими осадками также видно, что осадки часто выпадают не в том маленьком квадрате $7 \times 7 \text{ км}^2$, где спрогнозированы, а

часто в соседних, или даже на расстоянии до 50–80 км, иногда до 100–150 км от спрогнозированных. Это связано с тем, что при достаточно точном прогнозе крупномасштабных атмосферных условий мезопрцессы прогнозируются и даже анализируются не всегда точно, а влияние их на развитие конвекции существенно, как импульса, приводящего к быстрому ускорению восходящего конвективного движения [6] в особо неустойчивом приземном слое и почти нейтральном погранслое. К таким мезопрцессам относятся не только плохо определяемые волны на фронтах, но и влияние на развитие конвекции в данных условиях возвышенностей, рек, речек, болот, озер, водохранилищ и т.п. Как следствие, осадки любой величины, вплоть до 50–150 мм, иногда выпадают в случаях модельных прогнозов в квадрате $7 \times 7 \text{ км}^2$ нулевых величин осадков, в то время как на расстоянии до 50–150 км от них прогнозируются такие осадков. Именно поэтому в формулах (1)–(2) при прогнозе количества осадков 0 мм фактические осадки в 99 % случаев также 0 мм, но в 1 % случаев могут быть от 0,1 до 150 мм, в среднем до 1 мм. Прогнозировать же случаи 0 мм (без осадков) можно лишь на расстоянии свыше 100 км от прогностической зоны осадков моделью (со 100%-й вероятностью – $\geq 150 \text{ км}$), то есть прогнозировать по формулам (1)–(2) без учета свободных членов. В остальных случаях прогноз средних осадков рассчитывается строго по этим формулам в квадратах примерно $200 \times 200 \text{ км}^2$ с центром в точке прогноза (в частности на метеостанции) с учетом максимума в этом большом квадрате. При этом очень сильные осадки $\geq 50 \text{ мм}/12\text{ч}$ при формулировке прогноза не даются даже местами, если при прогнозе осадков по формулам во всем большом районе прогнозируется их количество $< 5 \text{ мм}/12\text{ч}$. Последнее имеет место в связи с тем, что изредка дождь $\geq 50 \text{ мм}$ идет при прогнозе $\geq 5 \text{ мм}/12\text{ч}$. Можно предположить, что занижение количества осадков связано с распространением сильного ливня на расстояние до 400 км от места его возникновения сильным сдвигом ветра и линией шквалов,двигающейся быстрее облака.

Сравнивая (а) и (б) в формуле (2), видим, что в самый жаркий период (а) осадки в модели завышаются больше, чем в более прохладный (б) период, то есть больше завышаются сильные конвективные осадки, поскольку, по-видимому, как уже говорилось выше, недоучитывается вовлечение в облако окружающего сухого, более прохладного и тяжелого воздуха. Из-за этого же в «разгар» лета (а) более быстро идет рост завышения осадков при прогнозе их крайне больших величин, то есть при крайне высокой вертикальной неустойчивости. Из-за конвекции в «разгар» лета (а) более вероятен небольшой дождь, на 0,2–0,3 мм больший, чем в (б) при прогнозе 0 мм (видно при сравнении свободных членов b и c).

Помесячные регрессионные соотношения представлены через коэффициенты a , b ; a' , b' , c в табл. 1 и на рисунке: a и b в $y = ax + b$; a' , b' и c в $y' = a'x + b'x^2 + c$. Коэффициент a , в частности, представляет долю фактических осадков в прогностических.

Таблица 1

Коэффициенты регрессии и свободные члены в соотношениях (а) и (б)

Месяц	a	b	a'	b'	c
Май	0,52	0,40	0,70	-0,01	0,30
Июнь	0,45	0,70	0,65	-0,01	0,50
Июль	0,43	0,70	0,65	-0,01	0,60
Август	0,47	0,60	0,68	-0,009	0,40
Сентябрь	0,55	0,40	0,70	-0,007	0,30

Чем меньше коэффициент a в соотношении $y = ax + b$, тем больше завышение $y = (1 - a)x + b$ дневных прогностических осадков (y) по сравнению с фактическими (x). Из данных табл. 1 видно, что в мае $a = 0,52$ и быстро (на 0,07) уменьшается до $a = 0,45$ по мере прогрева воздуха в июне, когда усиливаются конвекция и конвективные дожди, растет также вовлечение и завышение $y = (1 - a)x$ прогностических осадков. Оно составляет $(1 - 0,52)x = 0,48x$ в мае и $(1 - 0,45)x = 0,55x$ в июне, т.е. при прогнозе, например осадков количеством 20 мм, завышение в мае $0,48 \cdot 20 = 9,6$ мм, в июне $0,55 \cdot 20 = 11$ мм. В июле прогрев достигает максимума, оставаясь почти постоянным, a падает лишь на 0,02 от 0,45 до 0,43, завышение $(1 - a)x$ осадков увеличивается немного: от $0,55x$ до $0,57x$.

В августе начинается обратный процесс охлаждения воздуха у Земли, ослабления конвекции, осадков, ослабление также и вовлечения, из-за чего завышение $(1 - a)x$ осадков уменьшается с $(1 - 0,43)x = 0,57x$ в июле до $0,53x$ в августе (на 0,04). В сентябре процессы ослабления конвекции и вовлечения ускоряются, и завышение прогностических осадков сокращается до $0,45x$, то есть сокращаются вдвое быстрее (на 0,08), чем в августе.

Коэффициент a' изменяется аналогично: падает быстро от мая к июню по мере быстрого прогрева воздуха у Земли, остается тем же в июле и постепенно растет до майских значений в сентябре. Коэффициент b' , показывающий ускорение завышения прогностических осадков при их высоких величинах, остается практически постоянным (около -0,01) всё лето и резко падает осенью с ослаблением конвекции и вовлечения.

Свободные члены b и c достигают максимума в июне-июле – в период максимального прогрева воздуха у Земли и максимальной конвекции, когда идут слабые осадки, в среднем

до 0,7 мм, иногда даже при прогнозе 0 мм в зоне окружающих осадков на расстоянии до 50–100 км, изредка – до 150 км от них. При сильной конвекции в июне-июле, особо высоких облаках до 10–15 км, очевидно, осадки выпадают иногда далеко от мезорайона их зарождения и прогноза под действием сложного вертикального сдвига ветра, большого наклона облака, а также за счет образования вторичных осадков перед линией шквалов, отодвигающейся на эти расстояния от «материнского» облака.

Регрессионные соотношения для каждого полумесяца представлены через коэффициенты $a, b; a', b', c$ в табл. 2.

В линейной регрессии надежно подтверждается связь соотношения корректировок прогностических осадков с годовым ходом приземной температуры и, следовательно, интенсивности конвекции. По мере ее роста закономерно каждые 0,5 месяца растет свободный член b , то есть среднее количество фактических осадков при прогнозе 0,0 мм. Растет и превышение $(1-a)x$ прогностических осадков от $0,48x$ (в начале мая) до $0,59x$ (во 2-й половине июля), когда развитие конвекции достигает максимума, усиливая осадки (x), но также усиливая вовлечение и завышение осадков в прогнозе до $0,59x$ (то есть до 5,9 мм при прогнозе $x = 10$ мм и до 59 мм при прогнозе $x = 100$ мм).

Таблица 2

Коэффициенты регрессии и свободные члены в соотношениях (а) и (б)

Период	a	b	a'	b'	c
1–15 мая	0,52	0,34	0,64	-0,008	0,29
16–31 мая	0,49	0,51	0,75	-0,016	0,40
1–15 июня	0,48 (0,46*)	0,63	0,58	-0,005	0,58
16–30 июня	0,44	0,72	0,69	-0,010	0,59
1–15 июля	0,43 (0,42*)	0,75	0,61	-0,007	0,64
16–31 июля	0,41	0,76	0,63	-0,008	0,63
1–15 августа	0,43	0,61	0,65	-0,008	0,49
16–31 августа	0,50 (0,47*)	0,57	0,72	-0,010	0,44
1–15 сентября	0,64 (0,53*)	0,45	0,70	-0,003	0,42
16–30 сентября	0,58	0,47	0,72	-0,006	0,35

Примечание: * – обычно применяемые в статистике сглаженные значения, которые говорят о надежности основной закономерности.

К осени коэффициент a растет быстрее, b – также падает. Последнее свидетельствует о не совсем плавном ослаблении конвекции во 2-й половине теплого сезона. Еще менее устойчивы полумесячные соотношения $y' = a'x + b'x^2 + c$. Поэтому для реального прогнозирования полезнее соотношения табл. 1 или проинтерполированные из них же полумесячные соотношения.

2. Корреляционный анализ

В табл. 3 даны коэффициенты корреляции r для линейной регрессии и корреляционные отношения r' для квадратичной регрессии, которые характеризуют степень надежности полученных соотношений прогностических и средних фактических осадков.

Четко видна (табл. 1–3) аналогичность хода коэффициентов корреляции, корреляционного отношения и коэффициентов регрессии, что еще более подтверждает выводы раздела 1. С ростом приземной температуры от мая к июню-июлю, а также от сентября к августу-июлю, то есть с ростом интенсивности конвекции уменьшаются все коэффициенты, несмотря на рост фактических осадков, их соответствие прогностическим (a, r) падает, причем тем больше, чем сильнее прогнозируются осадки (a', b', r'). Иными словами, по прогнозу выпало бы еще больше осадков (a, a') при особо сильной конвекции, которая, однако, диссипирует их за счет увеличения турбулентности, из-за чего падает корреляция, усиливается разброс осадков вокруг основной закономерности роста (r') и даже прекращается рост, начинается падение (b'). Последнее видно еще лучше не по самим коэффициентам (a, a', r, r'), которые характеризуют основную закономерность, а по $(1-a, 1-a', 1-r, 1-r')$ (табл. 4), которые характеризуют завышение осадков, отклонение от закономерности, разброс их.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции r и корреляционные отношения r' в различные периоды теплого сезона

r и r'	Период									
	май		июнь		июль		август		сентябрь	
	1–15	16–31	1–15	16–30	1–15	16–31	1–15	16–31	1–15	16–31
r	0,45	0,39	0,356	0,35	0,31	0,34	0,37	0,46	0,506	0,58
r'	0,46	0,42	0,360	0,376	0,34	0,37	0,40	0,49	0,508	0,59
r	0,45		0,37		0,33		0,45		0,52	
r'	0,46		0,39		0,36		0,48		0,54	

Таблица 4

Коэффициенты $(1-a, 1-a', 1-r, 1-r')$ в зависимости от характеристики и периода года

Характеристика года	Период года	$1-a$	$1-r$	$1-a'$	b'	$1-r'$
Менее теплый	май, сентябрь	0,47	0,51	0,30	-0,008	0,50
Более теплый	июнь, июль, август	0,55	0,62	0,32	-0,010	0,59

Хорошо видно, что в более теплый период (когда сильнее конвекция и осадки), существенно больше завышение прогностических осадков $(1-a)$, разброс вокруг основной закономерности роста $(1-r)$, усиливающийся с их ростом $(1-r', 1-a', b')$. Подтверждается вывод, что нарастание приземного тепла усиливает конвекцию и осадки. Но конвекция усиливает и вовлечение, турбулентное распыление осадков, из-за чего завышается их прогностическая величина, а максимум имеет место при средних (оптимальных) значениях параметров.

3. Максимальные и минимальные осадки

В разделе 1 были рассмотрены соотношения для прогноза средних осадков по большим площадям. Однако летом днем осадки в пунктах на небольших площадях (например $7 \times 7 \text{ км}^2$, как в COSMO-Ru7 [1]) и даже максимальные по большим регионам (например по областям Центрального района России, как в [3]), очень сильно колеблются. Прогноз их уточняется наукастингом по данным текущих информационно-прогностических систем (мезосиноптических [4], радиолокационных, спутниковых) с небольшой (до 1–3 ч) заблаговременностью.

Вновь статистически обоснованно прогнозирование средних (или наиболее вероятных) максимумов и минимумов, значимых для экономических расчетов целесообразности тех или иных мероприятий.

В данной работе получено следующее:

– если прогнозировать для каждой точки сетки $7 \times 7 \text{ км}^2$ по COSMO-Ru7 экстремумы $(\bar{y}_{\max}, \bar{y}_{\min})$ осадков, возможные местами в ее окрестностях $50 \times 50 \text{ км}^2$, по прогностическим экстремумам x_{\max} и \bar{x} в её окрестностях $200 \times 200 \text{ км}^2$, то средние экстремумы будут оцениваться по формуле (2) (а) и (б) без свободных членов ($b = c = 0$), т.е.:

– для периода а) (июнь-август) $\bar{y}_{\max} = 1,1x_{\max} - 0,01(x_{\max})^2$;

– для периода б) (май и сентябрь) $\bar{y}_{\max} = 1,2x_{\max} - 0,008(x_{\max})^2$;

– для всего летнего периода (май-сентябрь)

$$\bar{y}_{\min} = 0,7\bar{x} - 0,01(\bar{x})^2, \quad (3)$$

где \bar{x} – прогноз средних осадков.

Прогноз особо опасных дождей ($\geq 50 \text{ мм/12ч}$), судя по данным этой работы и [3], в настоящее время может осуществляться, как уже говорилось выше, только наукастингом и штормовыми предупреждениями за 0,5–2 часа до их начала в небольших районах $30 \times 30 \text{ км}^2$ при ненулевой (даже близкой к 0 с большим числом «ложных тревог») их вероятности.

Нулевая их вероятность в обшчитываемой точке, по данным этой работы, имеет место только при прогнозе по COSMO-Ru7 в регионе $200 \times 200 \text{ км}^2$ вокруг этой точки максимального количества осадков менее 5 мм/12ч . В эти редкие абсолютно безопасные дни может производиться отключение и ремонт технических средств, используемых для наукастинга. В остальные дни ($\sim 80\%$ дней летнего периода), когда согласно модельного прогноза ожидаются в большом регионе $200 \times 200 \text{ км}^2$ максимальные осадки $\geq 5 \text{ мм/12ч}$, изредка возможны осадки $> 50 \text{ мм/12ч}$, но прогноз их с достаточной для практики точностью делается только наукастингом и штормовым предупреждением за $0,5\text{--}2$ часа.

В соответствии с результатами данной работы можно дать рекомендации синоптикам по использованию прогнозов осадков с использованием рекомендуемых корректировок к COSMO-Ru7.

Текст прогноза должен формулироваться следующим образом:

– «без осадков» при прогнозе максимума осадков в районе $200 \times 200 \text{ км}^2$ вокруг точки прогноза $0,0 \text{ мм/12ч}$;

– «без существенных осадков» при прогнозе максимума осадков в том же большом районе $< 1 \text{ мм/12ч}$;

– «местами кратковременный дождь» или «местами сильный дождь» при прогнозе по району $200 \times 200 \text{ км}^2$ максимума осадков, соответственно, $1\text{--}15 \text{ мм/12ч}$ или $\geq 15,1 \text{ мм/12ч}$.

При последних двух формулировках в прогнозе общего пользования можно указать также ожидаемые средние осадки (раздел 1). Если прогноз максимума осадков в районе $200 \times 200 \text{ км}^2 < 5 \text{ мм/12ч}$, полезен специализированный прогноз отсутствия опасного дождя $\geq 50 \text{ мм/12ч}$ с близкой 100% вероятностью. В этом случае без опасений можно проводить особо важные, зависящие от опасных явлений (ОЯ), мероприятия. Прогноз осадков градации ОЯ с достаточной для практики точностью дается при прогнозе указанным методом $\geq 5 \text{ мм/12ч}$ только наукастингом и штормовым предупреждением.

В соответствии с [3], прогноз максимально возможного количества осадков (Q_{max} , мм/12ч) в любой из 10 областей Центрального федерального округа дается по данным табл. 5.

Таблица 5

Максимально возможные осадки Q_{max} , мм/12ч, в зависимости от их прогноза по А.А. Алексеевой [3]

Q_{max} по Алексеевой	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
Q_{max} фактические осадки	10	15	30	45	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	30	25	20	15

Зависимость, по которой рассчитываются Q_{\max} , надежная, полученная на 850 случаях. Здесь вновь видно увеличение максимально возможных фактических осадков при увеличении прогностических значений по А.А. Алексеевой до 30–50 мм/12ч. При дальнейшем увеличении прогностических значений по А.А. Алексеевой до 60–90 мм/12ч максимально возможные фактические осадки сокращаются. Из данных табл. 5, в частности, следует, что при прогнозе количества осадков по А.А. Алексеевой до 15 мм/12ч опасные осадки ≥ 50 мм/12 ч невозможны, поэтому наукастинг не требуется. В остальных случаях он необходим для штормовых предупреждений.

Отсутствие очень сильных фактических осадков при их прогнозе по данному методу [3] требует подтверждения и уточнения на большем числе таких редких случаев. Однако совпадение этого факта, полученного на более чем 100000 случаях данной работы и в [3], результаты которой получены на независимых материалах другого года, говорит о достаточной его надежности. Причина его, по-видимому, в существенном недоучете вовлечения при особо интенсивной конвекции [2], когда сильное турбулентное рассеивание облака превышает интенсивное накопление влаги в нем. Этот факт существенно недоучтен в большинстве моделей, так как зависит и от степени мезомасштабной упорядоченности конвекции на непрогнозируемых ныне фронтах и линиях неустойчивости [5]. Из этого следует, что сильные дожди ≥ 50 мм/12ч не ожидаются летом не только при прогнозе слабых (< 5 мм/12ч по COSMO-Ru7 и < 15 мм/12ч по [3]), но и при прогнозе особо сильных (> 50 мм/12 ч по [3] и по данной работе) осадков.

Трудно было выявить причину особо сильных фактических дождей ≥ 50 мм/12ч и даже ≥ 100 мм/12ч при прогнозе по COSMO-Ru7 слабых осадков и даже 0,0 мм/12 ч. Оказалось, что это происходит за счет выноса таких осадков или условий для их возникновения из соседних (в 50–100, иногда 150 км) зон с оптимальными условиями, где прогнозируются осадки 20–50 мм. Возникновение иногда очень сильных фактических осадков ≥ 50 мм при модельном прогнозе умеренных 5–20 мм и фактических осадков ≥ 80 мм при модельном прогнозе 30–50 мм объяснить пока трудно. Поэтому и требуется наукастинг осадков по текущим фактическим данным различных видов информации и учет тенденций их усиления. Можно высказать предположение, что такие необычно сильные дожди связаны с необычно большой продолжительностью дождя в циклоне, на фронте, на морском или речном бризе, на горном хребте и т.п. или с недоучетом вертикальной неустойчивости.

Краткие выводы

Исследования посвящены актуальной проблеме прогнозирования осадков с применением численного моделирования. На больших объёмах (более 100000 случаев)

данных 2004 [3] и 2010–2013 гг., относящихся к обширной разнородной Европейской территории России, получены регрессионные соотношения, связывающие прогностические значения осадков с фактическими осадками и позволяющие внести важные корректировки к автоматизированным оперативным прогнозам Гидрометцентра России по технологии COSMO-Ru7 летних осадков на текущий день; тем самым создан метод их прогноза.

Фактические осадки любой величины иногда возникают на расстоянии до 50–150 км от места их модельного прогноза, по-видимому, под действием сложных неучтенных полностью мезо процессов и особенностей физико-географической среды.

Особо сильные, более 50 мм/12ч, и поэтому особо опасные осадки должны прогнозироваться наукастингом за 0,5–2 часа по фактическим данным информационно-прогностических систем в дни ненулевой их вероятности по автоматизированным методам, когда они возможны изредка (местами) на расстоянии до 150 км от обсервируемого района 30×30 км². Летом особо сильные осадки со 100% -й вероятностью в этом небольшом районе не выпадают, если максимальные осадки по рассмотренным автоматизированным технологиям прогнозируются количеством менее 5 мм/12ч или более 55 мм/12ч, а поэтому не нужен наукастинг.

Уменьшение как средних, так и сильных фактических осадков с увеличением прогностических их значений за пределы 55 мм/12ч явно связано с ростом приземной температуры в середине лета и, очевидно, с ростом интенсивности конвекции до сверхоптимальной, когда турбулентное рассеивание иногда превышает концентрацию осадков в облаке.

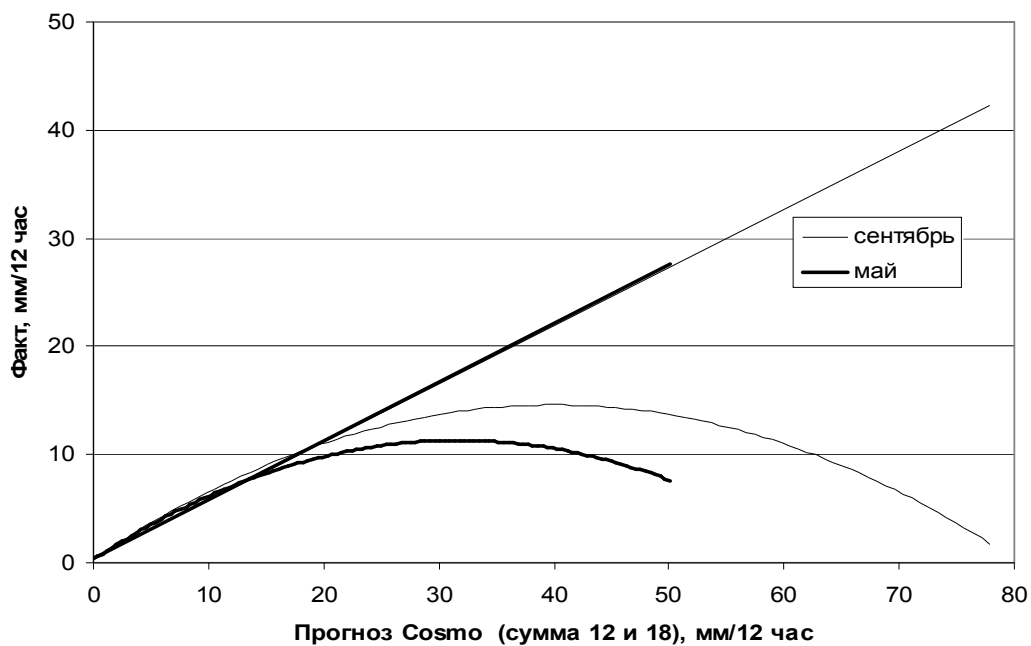
Особо сильные осадки, более 80–100 мм/12ч, возникают в основном при автоматизированных прогнозах осадков количеством 20–50 мм/12ч. Причина недобора количества осадков в автоматизированных прогнозах изучена слабо. Поэтому прогноз с достаточной для практики точностью возможен пока только наукастингом по мезосинооптическим, радиолокационным и спутниковым данным.

Полученные выводы крайне важны с практической точки зрения при применении продукции модели COSMO-Ru7 в сопряженных автоматизированных технологиях, а также для повышения качества моделирования осадков. Предлагаются гипотезы о тех физических механизмах, которые приводят к систематическому завышению модельных сумм осадков по сравнению с фактическими осадками. На основе результатов оперативных испытаний предложенный метод может быть использован в автоматизированной технологии для системы интерпретации выходной продукции модели определенного круга задач. А в будущем – реализовать механизм «самоастройки» метода на текущих прогнозах, чтобы не зависеть от замены версий модели.

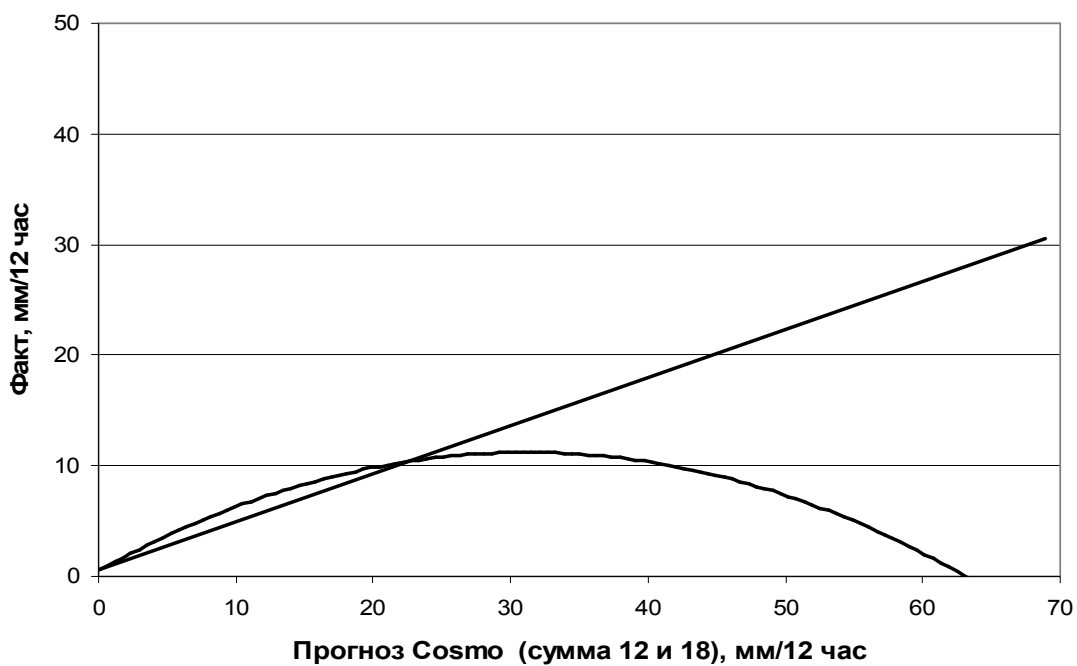
Список использованных источников

1. Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А. Система COSMO-RU негидростатического мезомасштабного прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 8. – С. 5–20.
2. Песков Б.Е. Влияние различных термодинамических и синоптических условий на развитие гроз и ливней // Труды Центрального института прогнозов. – 1966. – Вып. 149. – С. 46–58.
3. Песков Б.Е., Алексеева А.А., Никифорова А.Е. Усовершенствование метода прогноза летних осадков // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 10. – С. 52–60.
4. Песков Б.Е., Дмитриева Т.Г. Уточнение мезомасштабного численного прогноза сильных ливней // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 9. – С. 5–16.
5. Песков Б.Е. Расчет максимальной высоты верхней границы кучево-дождевых облаков с учетом вовлечения в различных синоптических условиях // Труды Высокогорного геофизического института. – 1968. – Вып. 11. – С. 109–119.
6. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.

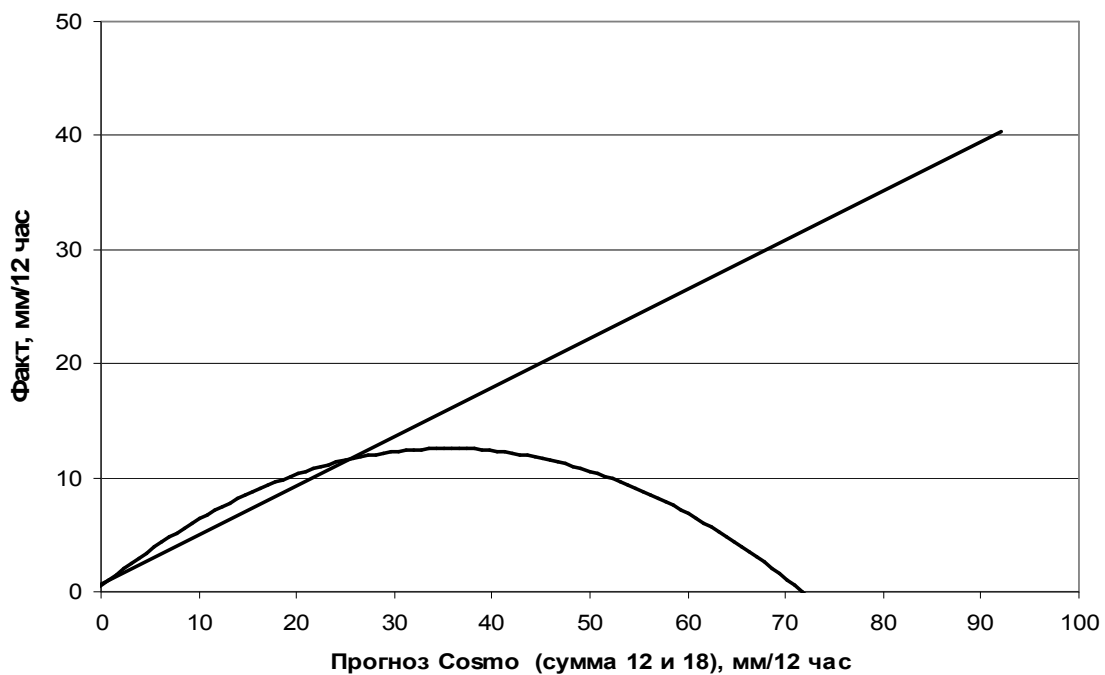
Поступила в редакцию 28.04.2014 г.



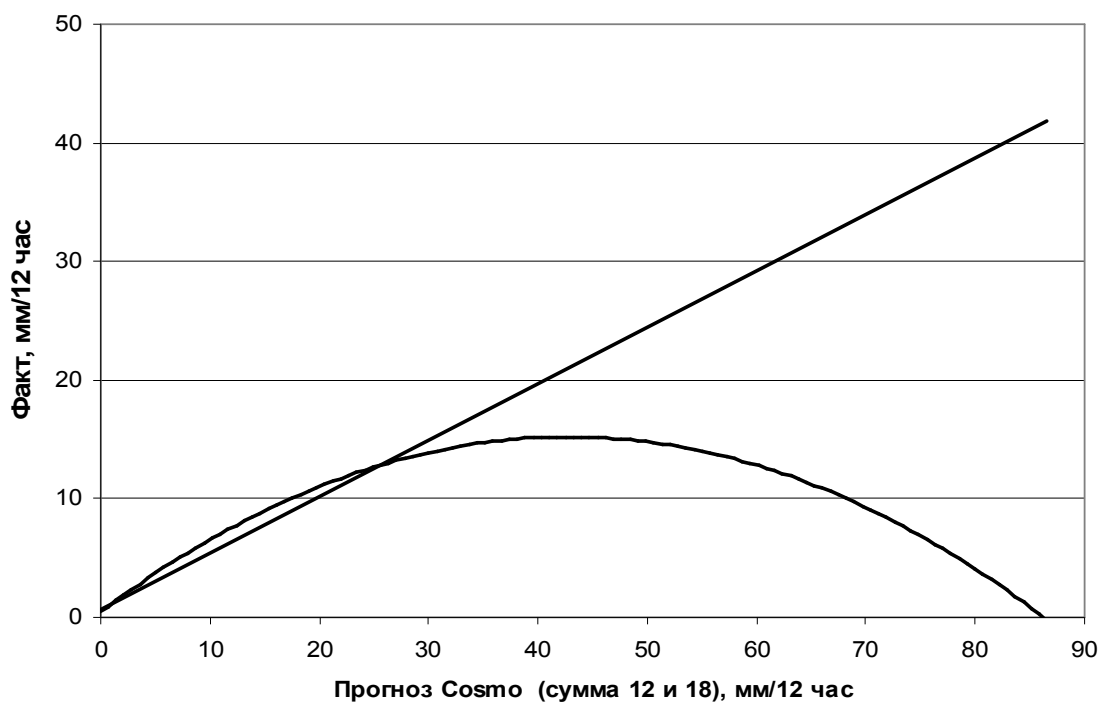
а) Май: $y = 0,5422x + 0,3798$ $R^2 = 0,2162$;
 $y = -0,0109x^2 + 0,6928x + 0,3225$ $R^2 = 0,2239$.
 Сентябрь: $y = 0,5379x + 0,4158$ $R^2 = 0,2764$;
 $y = -0,0089x^2 + 0,7151x + 0,3032$ $R^2 = 0,2966$.



б) Июнь: $y = 0,4333x + 0,6722$ $R^2 = 0,1365$;
 $y = -0,011x^2 + 0,6857x + 0,5253$ $R^2 = 0,1589$.



в) Июль: $y = 0,4305x + 0,6564$ $R^2 = 0,1072$;
 $y = -0,0096x^2 + 0,6786x + 0,5232$ $R^2 = 0,1311$.



г) Август $y = 0,4762x + 0,5882$ $R^2 = 0,2078$;
 $y = -0,0081x^2 + 0,6893x + 0,4629$ $R^2 = 0,2323$.

Рисунок. Регрессионная связь прогностических x по модели COSMO-Ru7 и фактических y осадков в мае и сентябре (а), июне (б), июле (в), августе (г) 2010–2012 г.