

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ ПРОГНОЗОВ СИЛЬНЫХ ЛЕТНИХ ОСАДКОВ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА

Прогноз осадков, наряду с прогнозом температуры воздуха, является важной составляющей общего прогноза погоды. Тем более это относится к сильным осадкам. Как правило, в этом прогнозе синоптик опирается на результаты численных моделей, как отечественных, так и зарубежных. Известно, что особенно непросто давать прогноз сильных летних осадков, возникающих большей частью в результате развития активной конвекции и зачастую очень локальных по территории. Цель статьи – показать, насколько удачно или неудачно такой прогноз рассчитывается разными численными моделями.

В настоящее время в ФГБУ «Гидрометцентр России» поступает довольно большое количество различных метеорологических прогнозов из зарубежных метеорологических центров. Эти прогностические поля передаются в специальном коде, созданном для этих целей – коде GRIB. Наряду с прогнозами барических полей поступают (и они особенно интересуют синоптиков) прогнозы приземных метеоэлементов, в первую очередь температуры воздуха и осадков, а также влажности и ветра. В статье приведены результаты прогнозов осадков только некоторых зарубежных и отечественных моделей, наиболее удачных в прогнозе сильных осадков. Это глобальные модели английского (UKMO) и американского (NCEP) метеоцентров, а также отечественная полулагранжева модель PLAV. Результаты прогнозов ряда моделей, а именно немецкой, японской спектральной (2 варианта) и региональной ФГБУ «Гидрометцентр России», не представлены, так как, как показала проверка, они малоуспешны при прогнозе сильных осадков.

Прогностические поля метеоэлементов UKMO и NCEP поступают в ФГБУ «Гидрометцентр России» на сетках с шагом $1,25^\circ$ и $0,5^\circ$ по широте и долготе, а поля PLAV – в сетке $0,9^\circ \times 0,72^\circ$. Заблаговременность этих глобальных прогнозов до 3–5 суток, а шаг по времени обычно 6 ч. Заметим, что при вычислениях в зарубежных глобальных моделях используется шаг сетки 25–35 км. В них усваивается большое количество наблюдений, в том числе и недоступных в ФГБУ «Гидрометцентр России». Во все численные модели включены совершенные системы учета разнообразных притоков тепла и неадиабатических факторов, что позволяет достаточно успешно давать прогноз вышеперечисленных приземных метеоэлементов.

В последнее время в ФГБУ «Гидрометцентр России» развивается мезомодель Европейского консорциума COSMO (ответственный – Г.С. Ривин) в нескольких вариантах. Для сравнения использовались прогнозы двух из них: 1) COSMO-Ru07 с шагом сетки ~7 км для Европейской территории России (ЕТР) и части Западной Сибири с заблаговременностью до 72 ч; 2) COSMO-Ru2.2 с шагом ~2,2 км для территории Центрального федерального округа (ЦФО) с заблаговременностью до 24 ч. Начальные поля и граничные условия для этих вариантов модели поступают из метеоцентра ФРГ.

Также в ФГБУ «Гидрометцентр России» рассчитываются прогнозы по американской мезомодели WRF-ARW с шагом ~14 км (ответственный – Р.Б. Зарипов) с заблаговременностью до 72 ч. Для этой модели начальные и граничные поля поступают из США.

В оценку включены и прогнозы по ансамблевому прогнозу осадков AnUNC [1], который основан на комплексировании прогнозов UKMO, NCEP и COSMO-Ru07 и показывает неплохие результаты.

В специальных базах данных накапливаются архивы наблюдений на синоптических станциях, в том числе и 12-часовых сумм осадков, и соответствующие им прогностические поля осадков различных моделей. Для всех моделей (кроме COSMO-Ru) значения в пункте вычисляются из прогностических полей осадков путем билинейной интерполяции, а для COSMORU – путем присвоения значения из ближайшего узла сетки.

На данных сформированных архивов и оценивались прогнозы осадков всех моделей. 12-часовые суммы осадков на большинстве станций ЕТР измеряются в 06 и 18 ч ВСВ. Для проверки были выбраны две территории: ЕТР (45–65° с.ш., 27–57° в.д.) для всех моделей, кроме COSMO-Ru2.2, и ЦФО (50,5–59° с.ш., 30,5–44° в.д.). На этих территориях имеется ~640 и ~155 синоптических станций, информация с которых поступает в ФГБУ «Гидрометцентр России».

Оценка проводилась за теплые сезоны 2012–2013 гг. в период с 16 мая по 15 сентября, за 123 дня за сезон. Для оценки необходимо построить таблицу сопряженности (табл. 1) и вычислить характеристики точности прогнозов [3].

Таблица 1

Таблица сопряженности (количество случаев)

Прогноз	Фактическое количество случаев		Сумма
	с явлением	без явления	
Осадки	N11	N12	N10
Без осадков	N21	N22	N20
Сумма	N01	N02	N00

Обозначения, приведенные в таблице, следующие:

N11 – явление прогнозировалось и наблюдалось;

N12 – явление прогнозировалось, но не наблюдалось («ложные тревоги»);

N10 – число случаев с прогнозом явления, $N10=N11+N12$;

N21 – прогнозировалось отсутствие явления, но оно наблюдалось («пропуск цели»);

N22 – прогнозировалось отсутствие явления и оно не наблюдалось;

N20 – число случаев с прогнозом отсутствия явления, $N20=N21+N22$;

N01 – число случаев с явлением, $N01=N11+N21$;

N02 – число случаев с отсутствием явления, $N02=N12+N22$;

N00 – общее число случаев.

Показатели успешности прогноза осадков:

– оправдываемость редкого явления **U**, %:

$$U=N11/(N21+N10);$$

– предупрежденность явления **P**, %:

$$P=N11/N01;$$

– критерий Пирси-Обухова **Pir**:

$$Pir =N11/N01-N12/N02;$$

– критерий ETS:

$$ETS=(N11-ar)/(N11-ar+N12+N21),$$

где $ar=((N11+N12) \times (N11+N21))/N00$;

– критерий Н.А. Багрова **Va** (для редких явлений):

$$Va=(v-v0)/(1-v0),$$

где: $v=(N11+N22)/N00$;

$$v0=(m1+m2)/N00;$$

$$m1=(N10 \times N02)/N00;$$

$$m2=(N20 \times N02)/N00.$$

Для сопоставления приведем сначала оценку прогнозов осадков (включая сильные) на 18 ч ВСВ по ЕТР за сезон 2013 г. В этом случае в качестве фактических данных привлекались все измерения осадков $R_f \geq 0,0$ мм/12 ч (т.е. в том числе и «следы осадков»).

В табл. 2 приведены матрицы сопряженности и характеристики точности прогнозов. Обозначения в таблице: **Z** (%) – оправдываемость прогноза количества осадков, рассчитана по Наставлению, [4, таблица 8]), которая учитывает и факт выпадения осадков, и их количество по грубым градациям. Критерии ETS и Pir относятся только к прогнозу факта осадков (чем величина критериев больше, тем лучше). BIAS и ABS – средняя арифметическая и средняя абсолютная ошибки прогноза количества осадков, мм/12 ч.

Заметим, что из-за отсутствия прогнозов в отдельные дни по техническим причинам для разных моделей нижние строки матрицы сопряженности могут отличаться. Из табл. 2 видно, что все модели достаточно удовлетворительно дают прогноз осадков. Несколько лучшие результаты прогнозов осадков по ансамблю AnUNC, но при этом количество осадков систематически занижается.

Таблица 2

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12ч) на 18 ч ВСВ (счет в 00 ч ВСВ)
по ЕТР (~640 станций) за период с 16 мая по 15 сентября 2013 г.**

Матрица сопряженности			Z	ETS	Pir	BIAS	ABS	Модель
23462	26361	49823	72	0,21	0,44	0,16	1,43	UKMO
1313	25755	27068						
24775	52116	76891						
20244	14120	34364	80	0,33	0,54	-0,06	1,35	NCEP
4734	38428	43162						
24978	52548	77526						
20080	14622	34702	79	0,31	0,52	-0,23	1,31	PLAV
5194	38263	43457						
25274	52885	78159						
17189	11184	28373	79	0,35	0,57	0,35	1,65	WRF14
3604	31896	35500						
20793	43080	63873						
17453	10278	27731	81	0,32	0,50	-0,40	1,30	COSMO-Ru07
7821	42607	50428						
25274	52885	78159						
17231	6583	23814	84	0,39	0,56	-0,61	1,09	AnUNC
8043	46302	54345						
25274	52885	78159						

При оценке прогнозов сильных осадков ≥ 15 мм/12 ч прогноз считался оправдавшимся, если фактические осадки также были ≥ 15 мм/12 ч [3]. Соответствующие матрицы и оценки представлены в табл. 3.

Из матриц сопряженности видно, что сильные осадки – довольно редкое явление. В летний сезон 2013 г. они наблюдались менее чем в 2 % всех случаев. Довольно низка предупрежденность явления. Только для модели WRF14 предупрежденность равна 17 %, для остальных моделей она еще ниже. Отметим, что в случае сильных осадков ансамблевый прогноз AnUNC также показал весьма посредственные результаты.

Прогнозы осадков модели COSMO-Ru07 оценили дополнительно с применением следующей процедуры: взята некоторая окрестность вокруг станции в $0,2^\circ$ (~22 км) и из этой окрестности выбирался узел модели с максимальным значением осадков, затем его сравнивали с Rф. В табл. 3 и далее этот вариант обозначен как COSMO-Ru07(A). В этом случае одни и те же прогностические осадки в узле сетки могут относиться к разным пунктам оценки, если пункты находятся друг от друга не дальше 22 км. Число «ложных

тревог» в этом случае значительно увеличилось, но все остальные оценки качества прогнозов выросли.

Таблица 3

Показатели успешности прогнозов сильных осадков ≥ 15 мм/12ч на 18 ч ВСВ (счет в 00 ч ВСВ) по ЕТР (~640 станций) за период с 16 мая по 15 сентября 2013 г.

Матрица сопряженности			U	P	ETS	Ba	Модель
110	133	243	7	8	0,07	0,13	UKMO
1277	75371	76648					
1387	75504	76891					
134	353	487	8	10	0,07	0,13	NCEP
1273	75766	77039					
1407	76119	77526					
58	74	132	4	4	0,04	0,07	PLAV
1364	76663	78027					
1422	76737	78159					
200	809	1009	10	17	0,09	0,17	WRF14
1008	61856	62864					
1208	62665	63873					
113	392	505	6	8	0,06	0,11	COSMO-Ru07
1309	76345	77654					
1422	76737	78159					
268	1408	1676	9	19	0,08	0,16	COSMO-Ru07 (A)
1154	75329	76483					
1422	76737	78159					
98	166	264	7	7	0,06	0,11	AnUNC
1324	76571	77895					
1422	76737	78159					

На этом же материале и в тех же условиях была проведена оценка метода прогноза сильных летних осадков Э.В. Переходцевой [2]. Он показал довольно высокие показатели предупрежденности явления и его отсутствия, но при этом имеет большое количество «ложных тревог», что сильно обесценивает этот метод.

В табл. 4 те же прогнозы осадков оценены по меньшей территории (ЦФО), но при этом оценены прогнозы осадков модели COSMO-Ru2.2.

В обычном «точечном» варианте оценки COSMO-Ru2.2 оказались не лучше других моделей, но в случае оценки «по окрестности вокруг станции (вариант А)» предупрежденность явления оказалась заметно выше, но возросло и число «ложных тревог».

Насколько хорошо сильные осадки прогнозируют синоптики? В ФГБУ «Гидрометцентр России» из административных центров России в специальном коде КП-68 поступают прогнозы синоптиков с заблаговременностью до 3 суток, в том числе на ближайшую ночь и следующий день. В табл. 5 и 6 приведены оценки соответствующих прогнозов по 17 областным городам ЦФО на ночь и следующий день за лето 2013 года. Были отобраны случаи прогнозов, обозначенные в коде КП-68 как сильные или очень сильные

осадки. Как видно из этих таблиц, все прогнозы по этим городам оказались не очень удачными и у синоптиков (SYNOP).

Таблица 4

Показатели успешности прогнозов сильных осадков ≥ 15 мм/12ч на 18 ч ВСВ (счет в 00 ч ВСВ) по ЦФО (~155 станций) за период с 16 мая по 15 сентября 2013 г.

Матрица сопряженности			U	P	ETS	Ba	Модель
17 386 403	29 18373 18402	46 18759 18805	3	4	0,04	0,07	UKMO
31 389 420	71 18472 18543	102 18861 18963	6	7	0,06	0,11	NCEP
6 415 421	12 18432 18695	18 19098 19116	1	1	0,01	0,03	PLAV
76 310 386	290 15022 15312	366 15332 15698	11	20	0,10	0,18	WRF14
28 393 421	119 18576 18695	147 18969 19116	5	7	0,05	0,09	COSMO-Ru07
79 339 418	459 18084 18541	538 18423 18901	9	19	0,08	0,14	COSMO-Ru07 (A)
28 350 378	220 15841 16061	248 16191 16439	4	7	0,04	0,07	COSMO-Ru2.2
163 203 366	1739 13793 15532	1902 13996 15898	8	45	0,06	0,11	COSMO-Ru2.2 (A)

Таблица 5

Показатели успешности прогнозов сильных осадков ≥ 15 мм/12ч с заблаговременностью 30 ч (счет в 00 ч ВСВ) по ЦФО (17 станций) за период с 16 мая по 15 сентября 2013 г.

Матрица сопряженности			U	P	ETS	Ba	Модель
4 19 23	7 2009 2016	11 2028 2039	13	17	0,13	0,23	UKMO
0 24 24	10 2020 2030	10 2044 2054	0	0	0,00	-0,01	NCEP
6 17 23	13 1648 1661	19 1665 1684	16	26	0,16	0,28	WRF14
3 21 24	14 2033 2047	17 2054 2071	7	13	0,07	0,14	COSMO-Ru07
2 22 24	27 1979 2006	29 2001 2030	3	8	0,03	0,06	SYNOP

Таблица 6

**Показатели успешности прогнозов сильных осадков ≥ 15 мм/12ч
с заблаговременностью 42 ч (счет в 00 ч ВСВ) по ЦФО (17 станций)
за период с 16 мая по 15 сентября 2013 г.**

Матрица сопряженности			U	P	ETS	Ba	Модель
0	4	4	0	0	0,00	0,00	UKMO
41	1990	2031					
41	1994	2035					
0	8	8	0	0	0,00	-0,01	NCEP
41	1986	2027					
41	1994	2035					
2	40	42	2	6	0,01	0,03	WRF14
34	1603	1637					
36	1643	1679					
3	14	17	5	7	0,05	0,09	COSMO-Ru07
38	1981	2019					
41	1995	2036					
4	23	27	8	15	0,07	0,13	SYNOPSIS
23	1482	1505					
27	1505	1532					

В табл. 7–9 приведены аналогичные оценки прогнозов осадков за теплый сезон 2012 г. Качество прогнозов за 2012 года несколько выше, чем за 2013 год. В 2012 г. оценки по модели COSMO-Ru2.2 не представлены ввиду отсутствия архивов прогнозов по этой модели за данный период.

Результаты прогнозов осадков по ЕТР с заблаговременностью 30 и 42 ч не приводятся; они, естественно, хуже, чем с заблаговременностью 18 ч, и в целом малоудовлетворительны.

Таблица 7

**Показатели успешности прогнозов сильных осадков ≥ 15 мм/12ч на 18 ч ВСВ
(счет в 00 ч ВСВ) по ЕТР (~640 станций) за период с 16 мая по 15 сентября 2012 г.**

Матрица сопряженности			U	P	ETS	Ba	Модель
151	146	297	11	13	0,11	0,20	UKMO
1035	74104	75139					
1186	74250	75436					
172	340	512	11	15	0,11	0,19	NCEP
1014	73910	74920					
1186	74250	75436					
146	233	379	10	12	0,10	0,18	PLAV
1033	73392	74425					
1179	73625	74804					
232	1032	1264	11	22	0,10	0,19	WRF14
818	67491	68309					
1050	68523	69573					
171	455	626	10	14	0,10	0,18	COSMO-Ru07
1009	72567	73576					
1180	73022	74202					

Таблица 8

**Показатели успешности прогнозов сильных осадков ≥ 15 мм/12ч
с заблаговременностью 30 ч (счет в 00 ч ВСВ) по ЦФО (17 станций)
за период с 16 мая по 15 сентября 2012 г.**

Матрица сопряженности			U	P	ETS	Ва	Модель
3	7	10	8	11	0,08	0,16	UKMO
24	1984	2008					
27	1991	2018					
6	10	16	16	22	0,16	0,27	NCEP
21	1981	2002					
27	1991	2018					
5	41	46	6	15	0,06	0,11	WRF14
28	1798	1826					
33	1839	1872					
2	19	21	4	8	0,04	0,07	COSMO-Ru07
24	1889	1913					
26	1908	1934					
3	27	30	5	12	0,05	0,10	SYNOP
22	1918	1940					
25	1945	1970					

Таблица 9

**Показатели успешности прогнозов сильных осадков ≥ 15 мм/12ч
с заблаговременностью 42 ч (счет в 00 ч ВСВ) по ЦФО (17 станций)
за период с 16 мая по 15 сентября 2012 г.**

Матрица сопряженности			U	P	ETS	Ва	Модель
3	8	11	6	7	0,06	0,11	UKMO
38	1973	2011					
41	1981	2022					
2	10	12	3	5	0,03	0,07	NCEP
39	1971	2010					
41	1981	2022					
5	41	46	6	15	0,06	0,11	WRF14
28	1798	1826					
33	1839	1872					
3	13	16	5	8	0,05	0,10	COSMO-Ru07
35	1905	1940					
38	1918	1956					
5	17	22	10	17	0,10	0,18	SYNOP
25	1443	1468					
30	1460	1490					

Была сделана попытка провести оценку прогнозов очень сильных осадков ≥ 50 мм/12ч, которые представляют особый интерес. Оценка прогнозов в этом случае, согласно [4], проводится с допуском, т.е. они сравниваются с $R_f \geq 40$ мм/12ч. Случаев с очень сильными осадками при $R_f \geq 40$ мм/12ч, как и следовало ожидать, оказалось очень немного: ~75

случаев в 2012 г. и ~105 случаев в 2013 г. Практически ни одна модель их не спрогнозировала при очень небольшом числе «ложных тревог».

Таким образом, можно сделать вывод, что численные модели пока плохо прогнозируют сильные и очень сильные летние осадки даже с небольшой заблаговременностью. Некоторая надежда имеется на дальнейшее развитие мезомоделей с шагом ~1–2 км, расширением территории прогноза с таким разрешением и увеличением заблаговременности прогнозов. Но и в этом случае области прогностических сильных осадков, скорее всего, будут не очень совпадать с фактическими. Конечно, параллельно необходимо развивать и физико-статистические методы прогноза сильных и очень сильных осадков. При сверхкраткосрочном прогнозе сильных осадков синоптику следует обязательно привлекать данные радиолокационных и спутниковых наблюдений.

Список литературы

1. Багров А.Н., Гордин В.А., Халявин А.В. Ансамблевый прогноз приземной температуры воздуха и количества осадков // Метеоспектр. – 2009. – № 4. – С. 113–115.
2. Переходцева Э.В. Гидродинамико-статистический метод прогноза сильных летних осадков по ЕТР на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России // Информационный сборник № 41. – 2014 (см. настоящий сборник).
3. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 150 с.
4. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. – Обнинск: «ИГ-СОЦИН», 2009. – 50 с.