

*А. Н. Багров*

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ ПРОГНОЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПОГОДЫ НА ОСНОВЕ РЯДА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА**

Во исполнение решения ЦМКП от 9 ноября 2006 г. в Гидрометцентре России была проведена сравнительная оценка успешности 13 отечественных и зарубежных численных моделей атмосферы для следующих элементов погоды (у поверхности Земли): температуры воздуха, осадков, давления на уровне моря, ветра, влажности воздуха.

Оценка выполнялась для прогнозов заблаговременностью до 3 сут, стартующих в 00 ч ВСВ, по территории России (45–65° с.ш., 27–57° в.д.), соответствующей примерно европейской ее части. Оценка прогнозов проводилась по данным 432 синоптических станций, расположенных на этой территории, данные наблюдений которых поступают в Гидрометцентр России. Большая часть из этих станций – это станции Российской Федерации, но включены также станции Украины, Республики Беларусь и Финляндии. Период оценки для температуры воздуха – с 1 июля по 15 сентября 2007 г., для остальных метеорологических элементов – с 1 июня по 15 сентября 2007 г.

Оценивались следующие модели:

1. Глобальные:

- UKMO (Великобритания, в г. Эксетер находится Метеоцентр Великобритании);
- NCEP (США);
- DWD (ФРГ, в г. Оффенбах находится Метеоцентр ФРГ);
- T85L31 (спектральная модель Гидрометцентра России);
- PLAV – полулагранжева с постоянным разрешением (автор – М.А. Толстых).

## 2. Региональные:

- REGION (автор – В.М. Лосев);
- PLAV2 – полулагранжева с переменным разрешением (автор – М.А. Толстых).

## 3. Мезомасштабные:

- MM5 (ответственный – К.Г. Рубинштейн);
- MM5 (ответственный – Г.Ю. Калугина, Московское гидрометбюро);
- ETA-model (ответственный – И.В. Тросников);
- WRFZ (ответственный – Р.Б. Зарипов);
- WRFJ (ответственный – В.Д. Жупанов);
- Мезомасштабная модель (автор – Д.Я. Прессман).

Прогнозы зарубежных глобальных моделей поступают в Гидрометцентр России в коде GRIB в узлах сетки  $1,25^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $1,5^\circ$  по широте и долготе соответственно для прогнозов UKMO, NCEP и DWD. Следует отметить, что реальная сетка в этих моделях имеет шаг 30–40 км на глобусе. Модель T85L31 имеет пространственный шаг  $\sim 2,5^\circ$  по широте и долготе, модель PLAV  $0,72 \times 0,9^\circ$ , модель PLAV2  $\sim 40$  км, региональная модель  $\sim 75$  км. Для мезомасштабных моделей пространственный шаг составляет от 15 до 20 км, и только в модели Д.Я. Прессмана шаг сетки равен 10 км (эта модель охватывает территорию лишь  $30 \times 30$  узлов сетки, что примерно соответствует территории Московской области, и имеет заблаговременность прогноза только до 36 ч).

Отметим, что во все модели включена довольно совершенная система учета разнообразных притоков тепла и неадиабатических факторов, что позволяет достаточно успешно давать прогноз таких сложных метеоэлементов, как приземная температура воздуха и осадки.

Модели MM5, ETA-model, WRF разработаны в США. При оперативной эксплуатации использовались поля американского объективного анализа и боковые граничные условия из глобальных моделей США, которые передавались по Интернету (соответствующее программное обеспечение встроено в эти модели).

В мезомасштабной модели Д. Я. Прессмана в качестве боковых граничных условий используются прогнозы UKMO. Ответственные за счет мезомасштабных моделей имели возможность варьировать

многочисленные внешние параметры этих моделей с целью достижения лучших результатов прогнозов. Расчет прогнозов проводился на вычислительных системах ГВЦ Росгидромета: Itanium, Tiger, Xeon и др.

Для унификации оценки успешности прогнозов все мезомасштабные модели (кроме модели Д. Я. Прессмана) производили запись прогнозов всех проверяемых метеорологических элементов через 6 ч для вышеуказанной области – Европейской территории России (ЕТР) в сетке точек  $81 \times 121$  узел с шагом  $0,25^\circ$  по широте и долготе. Затем для всех моделей делалась билинейная интерполяция метеорологических элементов из прогностических полей на станции и выполнялось последующее сравнение с фактическими данными наблюдений. Все данные фактических наблюдений прошли через систему контроля в ходе оперативного объективного анализа и не имели грубых ошибок.

Кроме того, была сделана попытка в экспериментальном режиме рассчитать прогнозы приземной температуры воздуха и осадков по методу многомодельного ансамбля. Для реализации этого метода в случае прогноза температуры воздуха необходимо иметь на каждой станции предварительно накопленный архив прогнозов температуры (15–20 ближайших дней) разной заблаговременности по разным моделям.

Тогда расчет прогностического значения метеоэлемента производится по формуле:

$$f = \sum_{j=1}^J w_j (f_j - c_j), \quad (1)$$

где  $f$  – любая прогнозируемая переменная,  $j$  – номер схемы, участвующей в ансамбле,  $J$  – количество схем в ансамбле,  $w_j$  – вес  $j$ -й схемы,  $c_j$  – средняя (систематическая) ошибка  $j$ -й схемы.

Веса в (1) задаются формулой

$$w_j = \frac{\sigma_j^{-2}}{\sum_{j=1}^J \sigma_j^{-2}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_j$  – среднеквадратическая ошибка прогноза  $j$ -й схемы после вычитания ее систематической ошибки. Расчет весов делается по данным архива.

Для расчета прогнозов температуры по методу многомодельного ансамбля были отобраны зарубежные модели UKMO, NCEP и DWD, как дающие лучшие результаты и удовлетворяющие оперативным требованиям. Рассчитывались два варианта ансамблей (UKMO, NCEP) и (UKMO, NCEP, DWD).

Все фактические и прогностические значения метеорологических величин на станциях для сравниваемых моделей записывались в специальную базу данных с длительным сроком хранения, что облегчало дальнейшую оценку.

Оценки проводились отдельно для:

- г. Москвы (станция ВВЦ);
- примерно для территории Московской области (21 станция);
- областным городам Центрального федерального округа (ЦФО): 17 станций, включая ВВЦ, г. Москва;
- по всем 432 станциям выбранной территории (ЕТР).

В приведенных ниже табл. 1–14 представлены оценки прогнозов по всем моделям для температуры воздуха ( $t$ ), давления на уровне моря ( $p$ ), ветра ( $w$ ) и точки росы ( $td$ ). Был рассчитан обычный набор характеристик успешности прогнозов. Обозначения в таблицах (BIAS, RMS, ABS, OTNO,  $\leq 1$ ,  $\leq 2$ ,  $\leq 3$ ,  $> 3$ ) соответствовали средней, среднеквадратической, средней абсолютной и относительной ошибкам, а также проценту обеспеченности прогнозов, имеющих ошибки меньше или больше некоторых пороговых значений: 1, 2, 3°C (1, 2, 3 гПа или 1, 2, 3 м/с).  $N$  – количество оцененных прогнозов. Следует отметить, что по техническим причинам число  $N$  для разных моделей оказалось не одинаковым, что несколько снизило общую достоверность сравнения.

Из данных табл. 1–5 следует, что в среднем успешность прогнозов температуры воздуха на 48 и 72 ч несколько выше, чем на 36 и 60 ч, что объясняется влиянием суточного хода температуры, который недостаточно адекватно учитывается в рассматриваемых моделях атмосферы. Жирным шрифтом отмечены лучшие показатели успешности прогнозов.

В табл. 6–10 представлены показатели успешности прогнозов давления на уровне моря с заблаговременностью от 24 до 72 ч. Из

сравниваемых моделей атмосферы наименьшие погрешности были у моделей UKMO, WRFZ, REGION.

Таблица 1

Оценки прогнозов температуры воздуха (°C) на 24 ч  
по Московской области (21 станция)

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	0,35	1,75	1,35	0,48	49	77	92	8	1612
NCEP	0,08	1,93	1,51	0,54	42	72	89	11	1528
DWD	1,05	2,16	1,73	0,62	36	66	84	16	1591
T85L	-0,49	2,52	1,94	0,70	36	61	79	21	1612
REGION	0,16	2,08	1,63	0,58	40	70	84	16	1591
PLAV	0,80	2,46	1,96	0,71	32	60	79	21	1612
PLAY2	0,98	2,61	2,11	0,76	29	55	75	25	1612
MM5R	-0,13	2,11	1,65	0,58	40	70	86	14	1382
MM5K	-0,12	2,04	1,54	0,55	46	72	86	14	1612
ETA-model	-0,45	2,89	2,17	0,79	34	60	75	25	1067
WRFZ	0,07	<b>1,74</b>	<b>1,34</b>	0,47	50	77	91	9	1507
WRFJ	0,85	1,91	1,47	0,52	44	75	89	11	1152
Pressman	-0,04	1,77	1,37	0,49	48	77	91	9	1612
An (UKMO, NCEP)	0,01	1,49	1,20	0,43	49	83	96	4	1612
An (UKMO, NCEP, DWD)	0,00	<b>1,40</b>	<b>1,11</b>	0,40	52	86	97	3	1612

Таблица 2

**Оценки прогнозов температуры воздуха (°С) на 36 ч  
по Московской области (21 станция)**

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
<b>UKMO</b>	0,04	<b>1,95</b>	<b>1,45</b>	0,42	48	76	89	11	1611
<b>NCEP</b>	0,33	2,29	1,71	0,50	42	69	83	17	1527
<b>DWD</b>	0,80	2,55	1,94	0,55	35	63	80	20	1590
<b>T85L</b>	-0,35	3,37	2,77	0,80	22	43	61	39	1611
<b>REGION</b>	-0,35	2,48	2,06	0,59	27	55	77	23	1590
<b>PLAV</b>	-0,61	3,00	2,45	0,71	24	48	67	33	1611
<b>PLAV2</b>	-2,61	3,73	3,16	0,91	17	33	52	48	1611
<b>MM5R</b>	-2,49	3,48	2,90	0,84	19	39	56	44	1380
<b>MM5K</b>	-2,35	3,36	2,72	0,78	23	44	62	38	1611
<b>ETA-model</b>	1,39	2,82	2,16	0,65	34	59	73	27	1068
<b>WRFZ</b>	-0,81	2,19	1,78	0,51	33	65	85	15	1486
<b>WRFJ</b>	1,15	2,36	1,81	0,50	39	65	81	19	1130
<b>Pressman</b>	0,79	2,20	1,64	0,47	45	70	85	15	1611
<b>An (UKMO, NCEP)</b>	-0,11	<b>1,81</b>	<b>1,37</b>	0,39	48	78	91	9	1611
<b>An (UKMO, NCEP, DWD)</b>	-0,12	1,82	1,41	0,41	44	75	91	9	1611

Таблица 3

**Оценки прогнозов температуры воздуха (°C) на 48 ч  
по ЕТР (432 станции)**

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
<b>UKMO</b>	0,44	<b>2,01</b>	<b>1,56</b>	0,45	42	71	87	13	32886
<b>NCEP</b>	0,65	2,33	1,81	0,52	37	65	82	18	31173
<b>DWD</b>	1,02	2,36	1,86	0,53	35	63	81	19	32464
<b>T85L</b>	-0,26	3,01	2,40	0,68	27	51	69	31	32886
<b>REGION</b>	0,45	2,51	1,99	0,57	33	59	78	22	32457
<b>PLAV</b>	1,46	3,23	2,57	0,73	26	48	65	35	32886
<b>PLAV2</b>	1,48	3,31	2,62	0,75	26	47	65	35	32886
<b>MM5R</b>	-0,68	2,49	1,96	0,56	34	61	79	21	28169
<b>MM5K</b>	-0,39	2,41	1,89	0,54	35	62	80	20	32886
<b>ETA-model</b>	0,03	3,08	2,33	0,69	30	54	72	28	21781
<b>WRFZ</b>	0,17	2,11	1,65	0,47	40	68	85	15	30321
<b>WRFJ</b>	1,44	2,57	2,03	0,58	32	59	77	23	23081
<b>An (UKMO, NCEP)</b>	0,01	1,74	1,37	0,39	45	76	91	9	32886
<b>An (UKMO, NCEP, DWD)</b>	0,00	<b>1,67</b>	<b>1,31</b>	0,38	46	78	93	7	32886

Таблица 4

**Оценки прогнозов температуры воздуха (°C) на 60 ч  
по ЕТР (432 станции)**

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	0,43	<b>2,59</b>	<b>1,89</b>	0,48	40	66	81	19	32919
NCEP	1,00	2,91	2,21	0,57	31	57	75	25	31217
DWD	0,70	2,71	2,02	0,51	36	62	79	21	32491
T85L	-0,35	3,61	2,87	0,73	23	43	60	40	32919
PLAV	-0,92	3,49	2,80	0,72	22	43	61	39	32919
PLAV2	-2,97	4,34	3,63	0,93	15	30	45	55	32919
MM5R	-2,53	3,83	3,20	0,82	17	34	52	48	28242
WRFZ	-0,85	2,67	2,08	0,53	32	57	77	23	29933
WRFJ	1,49	3,05	2,27	0,56	32	57	74	26	22658
An (UKMO, NCEP)	-0,10	2,24	1,64	0,42	43	71	85	15	32919
An (UKMO, NCEP, DWD)	-0,11	<b>2,14</b>	<b>1,59</b>	0,41	42	72	87	13	32919



Таблица 5

**Оценки прогнозов температуры воздуха (°C) на 72 ч  
по ЕТР (432 станции)**

<b>МОДЕЛИ</b>	<b>BIAS</b>	<b>RMS</b>	<b>ABS</b>	<b>OTNO</b>	<b>≤1</b>	<b>≤2</b>	<b>≤3</b>	<b>&gt;3</b>	<b>N</b>
<b>UKMO</b>	0,49	<b>2,24</b>	<b>1,74</b>	0,50	39	66	83	17	32886
<b>NCEP</b>	0,69	2,54	1,98	0,57	35	60	78	22	31173
<b>DWD</b>	1,08	2,56	2,01	0,57	33	59	78	22	32466
<b>T85L</b>	-0,25	3,72	2,99	0,85	22	41	58	42	32886
<b>PLAV</b>	1,56	3,59	2,85	0,81	23	44	60	40	32886
<b>PLAV2</b>	1,59	3,57	2,83	0,81	23	44	61	39	32886
<b>MM5R</b>	-0,83	2,75	2,17	0,61	30	56	74	26	28184
<b>WRFZ</b>	0,11	2,29	1,79	0,50	37	64	82	18	29898
<b>WRFJ</b>	1,49	2,84	2,22	0,64	30	55	73	27	22232
<b>An (UKMO, NCEP)</b>	-0,02	1,93	1,52	0,43	41	71	88	12	32886
<b>An (UKMO, NCEP, DWD)</b>	-0,02	<b>1,86</b>	<b>1,46</b>	0,42	43	73	89	11	32886

Таблица 6

Оценки прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 24 ч  
по ЕТР (432 станции)

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	-0,57	<b>1,13</b>	<b>0,89</b>	0,26	66	94	99	1	45295
NCEP	-0,79	1,33	1,06	0,29	56	89	98	2	43596
DWD	-0,75	1,38	1,08	0,30	57	88	97	3	45295
T85L	-0,08	1,59	1,19	0,38	55	84	94	6	45295
REGION	-0,20	1,18	<b>0,91</b>	0,27	66	92	98	2	44870
PLAV	-0,53	1,65	1,24	0,39	53	82	94	6	45295
PLAV2	-0,23	1,83	1,39	0,42	48	78	91	9	45295
MM5R	0,06	1,25	0,95	0,28	65	91	98	2	40211
MM5K	-0,35	1,18	0,90	0,27	67	93	98	2	44445
ETA-model	-0,50	1,65	1,35	0,37	43	80	95	5	34281
WRFZ	-0,60	<b>1,17</b>	0,92	0,27	65	93	99	1	37260
WRFJ	-0,99	1,50	1,22	0,36	49	84	96	4	34713

Таблица 7

Оценки прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 36 ч  
по ЕТР (432 станции)

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	-0,40	1,25	<b>0,96</b>	0,31	63	90	98	2	45390
NCEP	-0,90	1,57	1,27	0,35	47	82	96	4	43694
DWD	-0,92	1,73	1,33	0,39	49	79	93	7	44540
T85L	0,68	2,27	1,78	0,46	37	65	83	17	45390
REGION	-0,29	1,38	1,07	0,32	58	88	97	3	44965
PLAV	-1,50	2,34	1,87	0,47	33	62	82	18	45390
PLAV2	-0,30	1,85	1,43	0,43	46	76	91	9	45390
MM5R	0,49	1,77	1,37	0,41	48	77	91	9	40302
MM5K	-0,03	1,54	1,18	0,34	54	84	95	5	44539
ETA-model	-0,43	1,93	1,53	0,44	41	73	89	11	34357
WRFZ	0,10	<b>1,29</b>	<b>0,99</b>	0,31	62	90	98	2	36890
WRFJ	-1,03	1,78	1,42	0,43	44	76	92	8	34362

Таблица 8

**Оценки прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 48 ч  
по ЕТР (432 станции)**

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	-0,53	<b>1,59</b>	<b>1,23</b>	0,36	52	82	95	5	45295
NCEP	-1,09	1,95	1,58	0,43	38	71	90	10	43593
DWD	-1,35	2,25	1,76	0,47	37	66	84	16	45295
T85L	-0,09	2,77	2,08	0,53	35	61	77	23	45295
REGION	-0,09	<b>1,65</b>	<b>1,25</b>	0,38	52	82	94	6	44868
PLAV	-0,89	2,45	1,87	0,50	37	64	82	18	45295
PLAV2	0,64	2,60	1,99	0,51	34	62	80	20	45295
MM5R	0,28	2,00	1,51	0,42	45	74	88	12	40205
MM5K	-0,22	1,83	1,39	0,40	48	78	91	9	44448
ETA-model	-0,93	2,31	1,84	0,49	33	63	84	16	34279
WRFZ	-0,79	1,75	1,35	0,39	49	78	92	8	36832
WRFJ	-1,57	2,40	1,95	0,51	30	59	81	19	34294

Таблица 9

**Оценки прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 60 ч  
по ЕТР (432 станции)**

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	-0,20	<b>1,78</b>	<b>1,34</b>	0,39	50	79	92	8	45391
NCEP	-1,07	2,15	1,71	0,46	36	67	86	14	43696
DWD	-1,04	2,44	1,86	0,50	37	65	82	18	44549
T85L	0,55	3,39	2,63	0,58	26	48	66	34	45391
PLAV	-1,81	3,13	2,46	0,56	26	50	69	31	45391
PLAV2	-0,31	2,44	1,84	0,49	38	66	83	17	45391
MM5R	0,68	2,41	1,86	0,50	37	64	81	19	39899
WRFZ	-0,03	<b>1,81</b>	<b>1,37</b>	0,40	49	78	91	9	36466
WRFJ	-1,38	2,51	1,98	0,52	33	60	79	21	33939

Таблица 10

**Оценки прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 72 ч  
по ЕТР (432 станции)**

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	ОТНО	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	0,32	<b>2,24</b>	<b>1,69</b>	0,46	41	69	85	15	45298
NCEP	-1,11	2,48	1,97	0,51	32	60	79	21	43599
DWD	-1,29	3,03	2,31	0,57	30	55	73	27	45298
T85L	-0,25	3,88	2,96	0,62	25	46	62	38	45298
PLAV	-1,51	3,43	2,64	0,59	27	48	66	34	45298
PLAV2	0,34	2,92	2,21	0,55	32	57	75	25	45298
MM5R	0,57	2,73	2,06	0,53	35	60	77	23	39797
WRFZ	-0,69	<b>2,22</b>	<b>1,71</b>	0,46	39	68	85	15	36431
WRFJ	-1,53	2,93	2,31	0,56	28	53	72	28	33886

Прогноз приземного ветра и влажности в некоторых моделях не предвычисляется. В случае наличия прогнозов ветра оценивалась векторная ошибка скорости ветра. Из табл. 11 и 12 следует, что все модели систематически завышают скорость ветра (средняя ошибка ветра равна абсолютной ошибке у всех моделей).

Таблица 11

**Оценки прогнозов ветра (w м/с) на 24 ч по ЦФО (17 станций)**

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	ОТНО	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	2,12	2,37	2,12	0,49	15	49	80	20	1788
NCEP	1,89	2,12	1,89	0,46	17	59	88	12	1723
DWD	2,28	2,52	2,28	0,52	11	41	78	22	1754
T85L	2,03	2,27	2,03	0,47	14	51	85	15	1788
PLAV	2,00	2,32	2,00	0,46	22	55	81	19	1788
PLAV2	1,95	2,26	1,95	0,45	23	56	83	17	1788
MM5R	2,78	3,08	2,78	0,65	10	30	57	43	1586
MM5K	2,36	2,62	2,36	0,54	12	39	71	29	1755
ETA-model	2,46	2,78	2,46	0,60	12	39	70	30	1353
WRFZ	2,33	2,63	2,33	0,56	12	44	76	24	1472
WRFJ	2,22	2,50	2,22	0,55	13	47	80	20	1373

Таблица 12

## Оценки прогнозов ветра (w м/с) на 36 ч по ЦФО (17 станций)

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	2,37	2,74	2,37	0,35	15	44	72	28	1774
NCEP	2,31	2,69	2,31	0,34	15	48	75	25	1708
DWD	2,53	2,96	2,53	0,37	13	43	68	32	1742
T85L	2,47	2,90	2,47	0,36	15	44	71	29	1774
PLAV	2,47	2,88	2,47	0,36	14	44	70	30	774
PLAV2	2,31	2,69	2,31	0,34	15	48	74	26	1774
MM5R	2,66	3,07	2,66	0,37	13	39	64	36	1575
MM5K	2,60	3,01	2,60	0,39	12	39	67	33	1741
ETA-model	3,07	3,57	3,07	0,43	9	31	55	45	1342
WRFZ	3,09	3,54	3,09	0,44	8	29	54	46	1441
WRFJ	2,98	3,41	2,98	0,41	9	30	55	45	1341

Ошибки при прогнозе влажности (температуры точки росы) оказались заметно выше, чем при прогнозе температуры воздуха (табл. 13 и 14).

Таблица 13

## Оценки прогнозов влажности (td°C) на 24 ч по ЦФО (17 станций)

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	1,90	2,94	2,24	0,59	31	56	74	26	1679
NCEP	-1,51	2,51	1,93	0,55	36	62	79	21	1614
PLAV	0,56	2,39	1,82	0,48	39	65	81	19	1679
PLAV2	2,05	3,01	2,45	0,65	24	46	67	33	1679
MM5R	-0,56	1,87	1,45	0,38	46	74	90	10	1476
MM5K	-0,72	2,04	1,57	0,41	43	71	87	13	1645
ETA-model	-2,84	4,27	3,24	0,81	27	43	56	44	1239
WRFZ	0,06	1,63	1,24	0,33	52	80	93	7	1378
WRFJ	0,23	<b>1,58</b>	<b>1,21</b>	0,34	53	81	94	6	1277

Оценки прогнозов влажности (td°C) на 36 ч по ЦФО (17 станций)

МОДЕЛИ	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	N
UKMO	0,87	<b>2,38</b>	<b>1,81</b>	0,46	39	66	81	19	1682
NCEP	-1,06	2,64	2,07	0,52	32	58	77	23	1614
PLAV	2,94	4,69	3,77	0,96	15	32	48	52	1682
PLAV2	3,68	4,80	3,96	1,01	14	28	43	57	1682
MM5R	-0,09	2,58	1,98	0,51	35	61	79	21	1479
MM5K	-0,04	2,48	1,91	0,49	36	61	79	21	1650
ETA-model	-0,67	2,67	1,95	0,48	38	63	80	20	1240
WRFZ	0,54	2,46	1,93	0,49	34	62	78	22	1364
WRFJ	1,08	2,46	1,96	0,50	32	60	78	22	1261

Попытка сделать удовлетворительный ансамблевый прогноз осадков по формулам (1) и (2) оказалась малоуспешной. Поэтому для прогноза осадков был применен многомодельный ансамблевый метод, основанный на байесовском подходе, предложенный сотрудником Гидрометцентра России В. А. Гординым. Он же предложил метод оценки успешности прогнозов количества осадков. Пусть  $x$  – фактическое количество выпавших осадков, измеренных на станции (мм), а  $y$  – прогностическое количество осадков для той же станции. Погрешность предлагается оценивать следующей эмпирически подобранной безразмерной величиной:

$$F(x, y) = \frac{(x - y)^2}{(x + y)^{3/2}} (1 \text{ мм})^{-1/2}. \quad (3)$$

Критерий (3) подобран так, что абсолютная погрешность прогноза менее значима, когда и прогноз, и фактическое значение больше. На следующем этапе была построена байесовская схема прогноза количества осадков, когда известны два предиктора (пока наилучшая версия – использование UKMO, NCEP). Оптимизация параметров схемы производилась численно по критерию (3), на архиве данных 2800 станций за второе полугодие 2006 г. Последующая проверка показала, что в результате оптимизации параметров схемы прогноза осадков она улучшается и в смысле других, использовавшихся ранее

критериев оценки прогноза количества осадков. Это в свою очередь подтверждает разумность критерия (3).

Недостаток байесовского подхода – необходимость сравнительно большого ансамбля для обучения. Поэтому в ансамбль приходится включать различные географические зоны, различные сезоны и, возможно, прогнозы по схемам, претерпевшим какие-то изменения.

Для осадков оценивался факт выпадения осадков по известным критериям (обозначения в таблицах):  $U$ ,  $U_{oc}$ ,  $U_{\dot{o}o}$ ,  $P_{oc}$ ,  $P_{\dot{o}o}$ ,  $Pir$ , т.е. общая оправдываемость, оправдываемость прогноза «осадки» и «без осадков», предупрежденность случаев с осадками, без осадков (все эти значения в %) и критерий качества Пирси–Обухова. При оценке прогноза количества осадков были рассчитаны средняя ( $cr/os$ ) и средняя абсолютная ошибки ( $ab/os$ ) в мм/12 ч.  $N$ , как и ранее, – количество оцененных прогнозов. Оценка успешности прогнозов осадков проводилась для заблаговременностей 18, 30, 42, 54 и 66 ч, т.к. на ЕТР измерения полусуточных осадков производятся в 6 и 18 ч ВСВ, т.е. производятся сравнения осадков за синхронные сроки. В табл. 15–19 представлены характеристики успешности прогнозов осадков по станциям ЦФО и ЕТР.

Таблица 15

Оценки прогнозов осадков (мм) на 18 ч по ЦФО (17 станций)

МОДЕЛИ	$U$	$U_{oc}$	$U_{\dot{o}o}$	$P_{oc}$	$P_{\dot{o}o}$	$Pir$	$cr/os$	$ab/os$	$N$
UKMO	57,7	35,5	<b>98,1</b>	<b>97,2</b>	45,4	0,43	1,50	2,09	1793
NCEP	75,8	49,1	93,0	82,0	73,8	0,56	0,53	1,46	1725
DWD	77,8	52,3	89,4	69,1	80,5	0,50	–0,42	<b>1,04</b>	1793
T85L	79,9	58,2	85,7	52,6	88,3	0,41	–0,30	1,09	1793
REGION	80,2	60,8	84,4	46,1	90,8	0,37	–0,26	1,18	1777
PLAV	69,7	42,9	93,1	84,4	65,2	0,50	–0,14	1,16	1793
PLAV2	59,6	36,3	96,1	93,6	49,1	0,43	1,57	2,41	1793
MM5R	77,3	50,9	92,8	80,7	76,3	0,57	0,08	1,18	1574
MM5K	77,2	51,2	94,4	85,9	74,5	0,60	0,42	1,48	1759
ETA-model	78,3	53,9	88,6	66,5	82,0	0,48	<b>0,01</b>	1,25	1354
WRFZ	78,9	52,7	95,4	87,8	76,2	<b>0,64</b>	0,18	1,16	1490
WRFJ	75,5	52,7	91,4	81,1	73,5	0,55	–0,42	1,18	1369
An (UKMO, NCEP)	<b>81,5</b>	<b>58,8</b>	90,8	72,4	<b>84,3</b>	0,57	0,83	1,59	1793

Таблица 16

## Оценки прогнозов осадков (мм) на 30 ч по ЦФО (17 станций)

МОДЕЛИ	$U$	$U_{oc}$	$U_{60}$	$P_{oc}$	$P_{60}$	$Pir$	$cr/os$	$ab/os$	$N$
UKMO	73,5	44,0	94,5	84,9	70,4	0,55	0,51	1,55	1789
NCEP	76,3	47,5	94,0	82,9	74,4	0,57	<b>0,02</b>	1,37	1721
DWD	73,4	42,7	89,8	69,1	74,6	0,44	-0,27	1,27	1789
T85L	78,9	50,9	87,0	53,2	85,9	0,39	-0,13	1,41	1789
REGION	77,4	48,0	86,1	50,5	84,9	0,35	-0,48	1,24	1772
PLAV	66,2	36,7	91,6	79,0	62,7	0,42	-0,29	1,33	1789
PLAV2	56,2	32,1	<b>96,0</b>	<b>93,0</b>	46,1	0,39	1,22	2,36	1789
MM5R	75,9	45,9	89,2	65,2	78,9	0,44	-0,09	1,39	1571
MM5K	74,4	44,7	91,3	74,3	74,4	0,49	-0,33	<b>1,15</b>	1755
ETA-model	82,6	60,0	89,3	62,6	88,2	0,51	-0,34	1,18	1350
WRFZ	82,0	55,5	93,1	76,8	83,4	<b>0,60</b>	-0,19	<b>1,15</b>	1469
WRFJ	79,2	56,2	88,8	67,7	82,9	0,51	-0,80	1,23	1365
An (UKMO, NCEP)	<b>84,0</b>	<b>61,1</b>	91,7	70,9	<b>87,6</b>	0,59	0,30	1,42	1789

Таблица 17

## Оценки прогнозов осадков (мм) на 42 ч по ЕТР (432 станции)

МОДЕЛИ	$U$	$U_{oc}$	$U_{60}$	$P_{oc}$	$P_{60}$	$Pir$	$cr/os$	$ab/os$	$N$
UKMO	61,5	38,0	<b>96,5</b>	<b>94,1</b>	51,1	0,45	1,24	2,09	44673
NCEP	76,0	50,6	92,3	80,9	74,4	<b>0,55</b>	0,48	1,64	42997
DWD	76,6	51,5	85,9	57,3	82,8	0,40	-0,32	1,30	44659
T85L	75,1	48,8	86,5	61,1	79,6	0,41	<b>-0,01</b>	1,50	44675
REGION	75,4	49,0	84,8	53,4	82,4	0,36	-0,24	1,37	44255
PLAV	64,7	39,2	91,8	83,6	58,7	0,42	0,12	1,53	44675
PLAV2	57,8	35,4	93,9	90,4	47,4	0,38	1,61	2,61	44675
MM5R	73,3	47,7	90,0	75,7	72,5	0,48	0,07	1,46	39654
MM5K	73,7	46,6	89,2	71,1	74,4	0,46	0,27	1,58	43839
ETA-model	77,6	54,0	88,2	67,1	81,1	0,48	-0,04	1,41	33792
WRFZ	75,5	48,1	93,0	81,4	73,7	<b>0,55</b>	0,24	1,40	36314
WRFJ	73,6	50,7	90,0	78,3	71,9	0,50	-0,43	<b>1,24</b>	33796
An (UKMO, NCEP)	<b>78,5</b>	<b>54,8</b>	87,4	62,1	<b>83,7</b>	0,46	0,43	1,56	44673



Таблица 18

## Оценки прогнозов осадков (мм) на 54 ч по ЕТР (432 станции)

МОДЕЛИ	$U$	$U_{oc}$	$U_{60}$	$P_{oc}$	$P_{60}$	$Pir$	$cr/os$	$ab/os$	$N$
UKMO	<b>79,6</b>	<b>51,2</b>	89,3	61,9	<b>84,3</b>	0,46	0,50	1,57	44095
NCEP	73,9	43,3	92,4	77,6	72,9	<b>0,51</b>	0,19	1,32	42432
DWD	74,4	42,6	88,7	63,1	77,4	0,40	<b>0,03</b>	1,36	44061
T85L	75,1	43,0	87,3	56,5	80,0	0,37	0,19	1,46	44097
PLAV	62,7	33,6	91,4	79,5	58,2	0,38	0,18	1,40	44097
PLAV2	57,0	31,3	<b>93,5</b>	<b>87,2</b>	48,9	0,36	1,36	2,31	44097
MM5R	74,4	44,1	88,1	62,6	77,7	0,40	0,05	1,41	37896
WRFZ	78,1	47,7	91,1	69,4	80,4	0,50	-0,03	1,14	35847
WRFJ	76,2	48,9	86,7	58,8	81,4	0,40	-0,45	<b>1,10</b>	32973
An (UKMO, NCEP)	78,6	49,4	89,8	64,8	82,3	0,47	0,26	1,41	44095

Таблица 19

## Оценки прогнозов осадков (мм) на 66 ч по ЕТР (432 станции)

МОДЕЛИ	$U$	$U_{oc}$	$U_{60}$	$P_{oc}$	$P_{60}$	$Pir$	$cr/os$	$ab/os$	$N$
UKMO	65,8	40,3	91,8	83,4	60,1	0,44	1,80	2,72	44262
NCEP	74,5	48,5	90,6	76,2	73,9	0,50	0,47	1,71	43005
DWD	75,1	49,1	84,3	52,5	<b>82,4</b>	0,35	-0,34	1,35	44603
T85L	72,2	44,6	85,0	58,0	76,8	0,35	<b>0,08</b>	1,65	44683
PLAV	60,2	35,7	88,7	78,5	54,3	0,33	0,23	1,69	44683
PLAV2	55,9	34,3	<b>92,1</b>	<b>87,9</b>	45,6	0,34	1,56	2,65	44683
MM5R	71,6	46,2	87,6	70,1	72,1	0,42	0,11	1,59	38020
WRFZ	73,5	46,2	91,1	77,1	72,4	0,49	0,27	1,49	35941
WRFJ	71,4	48,0	87,2	71,6	71,3	0,43	-0,43	<b>1,30</b>	33397
An (UKMO, NCEP)	<b>76,1</b>	<b>50,7</b>	90,0	73,7	76,8	<b>0,51</b>	0,96	2,10	44262

При анализе таблиц оправдываемости прогнозов  $t$  и  $p$  довольно легко определить наиболее успешные модели. При прогнозе осадков это сделать значительно труднее ввиду большого числа критериев оценки.

В общем, результаты сравнения показали следующее:

– показатели успешности прогнозов температуры воздуха у всех моделей оказались практически сравнимы друг с другом, не выявив заметного преимущества мезомасштабных и региональных моделей перед глобальными;

– из представленных мезомасштабных моделей наилучшие показатели успешности прогнозов имела модель WRFZ (ответственный – Р.Б. Зарипов);

– высокие показатели успешности прогнозов отдельных метеорологических величин имели две отечественные модели (мезомасштабная модель Д.М. Прессмана, региональная модель В.М. Лосева, Гидрометцентр России) и мезомасштабная модель MM5 (ответственный – Г.Ю. Калугина, Московское гидрометбюро);

– экспериментальные прогнозы температуры воздуха Гидрометцентра России на основе ансамбля двух или трех глобальных оперативных моделей (UKMO, NCEP, DWD) имели лучшие результаты по всем оцениваемым территориям и для всех заблаговременностей прогнозов;

– экспериментальные прогнозы осадков с использованием ансамблевого подхода также имели высокую оправдываемость.

Таким образом, можно считать, что полученные результаты являются предварительными и не могут дать однозначного ответа, какая мезомасштабная модель является лучшей.

Поэтому ЦМКП в решении от 22 октября 2007 г. рекомендовала Гидрометцентру России:

- продолжить сравнительную оценку прогнозов метеорологических величин по моделям в другие сезоны года (до июля 2008 г.) с целью определения базовой региональной/мезомасштабной модели, удовлетворяющей требованиям высокого качества выходной продукции, оперативности, технологичности и возможности эксплуатации моделей в региональных центрах Росгидромета; результаты представить на заседание ЦМКП;

- считать целесообразным развивать ансамблевый подход в рамках международной кооперации, прежде всего по проекту ТОРПЕКС.