

И.А. Горлач, Г.К. Веселова, Е.Н. Шакоотько, Г.В. Малинская

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПРАВДЫВАЕМОСТИ
ПРОГНОЗОВ ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА,
ПОЛУЧАЕМЫХ НА ОСНОВЕ РЕКОМЕНДОВАННЫХ
К ВНЕДРЕНИЮ МЕТОДОВ И СОСТАВЛЯЕМЫХ
ПРОГНОЗИСТАМИ-СИНОПТИКАМИ
ПО ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ
ТЕРРИТОРИИ РОССИИ,
МОСКВЕ И МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

В Гидрометцентре России в течение полугодия (с февраля по июль 2007 г.) проводилась сравнительная оценка успешности прогнозов температуры воздуха и осадков на 24, 36 и 48 ч, получаемых оперативно с помощью рекомендованных к внедрению моделей и методов прогнозов, а также составляемых прогнозистами-синоптиками. Работа выполнялась в соответствии с решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) от 9 ноября 2006 г.

Методика сравнения

Методика сравнения прогностических значений метеорологических величин (срочной, экстремальной температуры воздуха и осадков), полученных на основе внедренных гидродинамических моделей атмосферы различного масштаба (от глобальных до мезомасштабных) и технологии расчета элементов погоды (РЭП), предусматривала расчет показателей успешности прогнозов в пунктах на территориях центральной части европейской территории России (50–61° с.ш., 27,7–45° в.д.), Центрального федерального округа (ЦФО), Московской области и Москвы.

В табл. 1 дан перечень моделей и методов, прогнозирующих приземную температуру воздуха по срокам, экстремальную температуру воздуха и осадки на соответствующей территории оценки. Прогнозы рассчитывались в оперативном режиме по исходным данным наблюдений за 00 ч ВСВ. Оценивались прогнозы срочной и экстремальной температуры воздуха, а также прогнозы факта выпадения осадков (наличие или отсутствие) и количество полусуточных сумм осадков.

Таблица 1

Сравнительная оценка успешности модельных и методических прогнозов на различных территориях

Модели и методы	Территория оценки		
	ЕТР (50–61° с.ш., 27,7–45° в.д.)	ЦФО	Москва, Московская область
Приземная температура воздуха по срокам			
T85L31	+	+	+
Ансамбль (UKMO–NCEP)	+	+	+
Комплексная схема		+	+ (ВВЦ)
Мезомасштабная модель			+
T85L31	+	+	+
Экстремальная приземная температура			
Ансамбль (UKMO–NCEP)	+	+	+
РЭП	+	+	+ (ВВЦ – 48 ч)
Прогноз синоптиков			+
О с а д к и			
T85L31	+	+	+
T85L31 – интерпретация			+
Региональная модель	+	+	+
Прогноз синоптиков		+	+
Комплексная схема		+	+ (ВВЦ)
Мезомасштабная модель			+

Примечание. Знаком + обозначены модель (метод) и соответствующая территория оценки прогнозов.

В сравнительной оценке участвовали следующие отечественные гидродинамические модели атмосферы, внедренные в оперативную практику:

- глобальная модель T85L31 (ответственный – И.А. Розинкина) – прогнозы срочной температуры воздуха и осадков;

- методическая интерпретация выходной продукции модели T85L31 в прогноз осадков (автор – И.В. Акимов) – по Москве и Московской области;

- региональная модель (автор – В.М. Лосев) – прогноз осадков;

- мезомасштабная модель (автор – Д.Я. Прессман) – срочная температура воздуха и осадки по Москве и Московской области.

Для сравнения привлекалась поступающая в коде ГРИБ аналогичная прогностическая продукция глобальных гидродинамических моделей зарубежных центров: UKMO (Великобритания) и NCEP (США); а также прогностическая продукция мезомасштабной модели MM5 (МГМБ), в опытном порядке эксплуатируемой в Московском гидрометбюро (ответственный – Г.Ю. Калугина) с использованием полей американского объективного анализа и боковых граничных условий из глобальных моделей США, которые передавались посредством Интернет.

В экспериментальном порядке в сравнении участвовали также:

- схема прогноза температуры воздуха на основе ансамбля (автор – А.Н. Багров) двух глобальных оперативных моделей UKMO и NCEP [1].

- комплексная схема (автор – Л.В. Беркович) прогноза температуры воздуха – по Москве и 17 городам ЦФО, прогноза осадков – по Москве, Московской области и 17 городам ЦФО.

Методика сравнения предусматривала также оценку успешности краткосрочных методических и синоптических прогнозов максимальной и минимальной температур воздуха по Москве. Методические прогнозы максимальной и минимальной температур воздуха по Москве (ВВЦ) рассчитывались на основе технологии РЭП (расчет элементов погоды, автор – П.П. Васильев), на основе ансамблевого подхода, а также прогнозистами-синоптиками Московского гидрометбюро и Гидрометцентра России.

Расчет показателей успешности прогнозов производился с помощью автоматизированной технологии Гидрометцентра России по

единой методике. При оценке прогнозов температуры воздуха рассчитывались систематическая ошибка (BIAS), абсолютная ошибка (ABS), относительная ошибка (OTNO), среднеквадратическое отклонение (RMS), обеспеченность (%) заданной абсолютной ошибки величиной $\leq 1^\circ\text{C}$, $\leq 2^\circ\text{C}$ и $\leq 3^\circ\text{C}$. Результаты выполненного сравнения прогнозов срочной температуры воздуха представлены в табл. 2–5, а экстремальной температуры воздуха – в табл. 6 и 7. Для дополнительного контроля сравнимости полученных результатов во всех таблицах в отдельной графе указано рассмотренное число прогнозов.

Результаты сравнения успешности прогнозов срочной температуры воздуха

Таблица 2

Оценки прогнозов температуры воздуха по Москве

Заблаговременность, ч	Модель	Ошибка				Обеспеченность при абсолютной ошибке				Кол-во прогнозов
		систематическая	абсолютная	относительная	среднеквадратическая	$\leq 1^\circ$	$\leq 2^\circ$	$\leq 3^\circ$	$>3^\circ$	
24	T85L31	-1,51	2,42	0,90	3,03	26	49	67	33	165
	Мезомасштабная	-1,54	1,85	0,69	2,23	31	65	79	21	165
	Комплексная схема	-1,29	1,70	0,66	2,17	41	66	83	17	157
	UKMO	-1,28	1,59	0,59	2,04	41	70	86	14	165
	NCEP	-1,11	1,54	0,58	1,94	42	68	90	10	164
	MM5(МГМБ)	0,30	1,43	0,54	1,83	49	73	87	13	155
	Ансамбль (UKMO–NCEP)	0,12	1,13	–	1,49	55	85	96	4	165

Окончание табл. 2

36	T85L31	-1,20	3,25	1,11	4,12	24	42	53	47	165
	Мезомасштабная	0,03	1,75	0,59	2,22	38	64	84	16	165
	Комплексная схема	0,83	2,22	0,75	3,10	36	59	76	24	157
	UKMO	-0,38	1,58	0,54	2,17	45	73	86	14	165
	NCEP	-0,95	2,05	0,70	2,62	32	60	77	23	164
	MM5 (МГМБ)	-1,35	2,11	0,73	2,65	32	57	77	23	155
	Ансамбль (UKMO–NCEP)	0,13	1,42	–	1,92	51	76	88	12	165
48	T85L31	1,45	2,76	0,80	3,49	22	43	65	35	165
	Комплексная схема	0,07	2,10	0,63	2,85	33	62	77	23	157
	UKMO	-1,18	1,69	0,49	2,11	37	66	83	17	165
	NCEP	-1,22	1,80	0,52	2,22	31	65	83	17	164
	MM5 (МГМБ)	0,36	1,75	0,51	2,16	35	60	83	17	155
	Ансамбль (UKMO–NCEP)	0,07	1,25	–	1,62	51	82	92	8	165

Из данных табл. 2 видно, что среди внедренных отечественных гидродинамических моделей наименьшие погрешности прогнозов срочной температуры воздуха **по г. Москве** имеет мезомасштабная модель при заблаговременности 36 ч и экспериментальная комплексная схема при заблаговременности 24 и 48 ч. При этом прогнозы срочной температуры воздуха на 36 ч по мезомасштабной модели имеют более высокие показатели успешности ($ABS=1,75^{\circ}C$; $RMS=2,22^{\circ}C$), чем аналогичные прогнозы по модели NCEP ($ABS=2,05^{\circ}C$; $RMS=2,62^{\circ}C$) и по модели MM5 (МГМБ) ($ABS=2,11^{\circ}C$; $RMS=2,65^{\circ}C$). Однако при других заблаговременностях прогнозы сравниваемых отечественных моделей несколько уступают в успешности зарубежным гидродинамическим моделям по всем рассматриваемым критериям успешности. При заданной абсолютной ошибке $\leq 3^{\circ}C$ прогнозы всех заблаговременностей у отечественных моделей имеют обеспеченность

в среднем 70–83 %, а у зарубежных моделей – 77–90 %. Число рассмотренных прогнозов срочной температуры воздуха по Москве у разных моделей находилось в пределах 155–165.

Самые лучшие характеристики успешности (ABS в пределах от 1,13 до 1,42 °С) имели экспериментальные прогнозы срочной температуры воздуха на основе ансамбля из двух глобальных оперативных моделей UKMO и NCEP. Показатели успешности этих прогнозов превышали аналогичные показатели лучших зарубежных глобальных и мезомасштабных моделей.

Количество рассмотренных прогнозов срочной температуры воздуха по территории **Московской области** (табл. 3) составило от 2739 до 2913. В данном сравнении моделей отмечено преимущество в успешности прогнозов срочной температуры воздуха у отечественной мезомасштабной модели, имеющей абсолютные ошибки величиной 1,62 и 1,84 °С при заблаговременности прогнозов 24 и 36 ч соответственно, а также преимущество (6–12 %) в обеспеченности прогнозов с абсолютной ошибкой менее 3 °С. Указанной модели уступали в успешности прогнозы отечественной глобальной модели T85L31, прогнозы мезомасштабной модели MM5 (МГМБ) при заблаговременности 24 и 36 ч и прогнозы глобальной модели NCEP при заблаговременности 36 ч. Однако экспериментальные прогнозы с использованием ансамблевого подхода по Московской области, как и по Москве, по всем показателям успешности были лучше отечественных и зарубежных моделей.

По **ЦФО** (табл. 4) количество рассмотренных прогнозов срочной температуры воздуха было сопоставимо с количеством аналогичных прогнозов по территории Московской области. Результаты сравнения свидетельствуют, что при заблаговременности 24 ч, прогнозы температуры воздуха по комплексной схеме и модельные прогнозы зарубежных центров UKMO и NCEP имеют практически одинаковые показатели успешности (ABS, RMS и обеспеченность прогнозов с ошибкой менее 3 °С, равную 87 %). Прогнозы температуры воздуха с заблаговременностью 36 и 48 ч зарубежных центров имели оправдываемость на 10–12 % выше, чем комплексная схема. Успешность прогнозов температуры воздуха на данной территории на основе

Таблица 3

Оценки прогнозов температуры воздуха по срокам для Московской области

Заблаговременность, ч	Модель	Ошибка				Обеспеченность при абсолютной ошибке				Кол-во прогнозов
		систематическая	абсолютная	относительная	среднеквадратическая	$\leq 1^\circ$	$\leq 2^\circ$	$\leq 3^\circ$	$> 3^\circ$	
12	T85L31	0,66	2,37	0,82	2,97	26	51	70	30	2913
	Мезомасштабная	-0,51	1,62	0,56	2,05	40	69	86	14	2913
	UKMO	-0,23	1,51	0,52	1,94	43	73	89	11	2913
	NCEP	-0,09	1,56	0,54	2,00	42	71	88	12	2897
	MM5 (МГМБ)	0,15	1,71	0,60	2,21	39	68	84	16	2739
	Ансамбль (UKMO–NCEP)	0,10	1,34	–	1,84	49	79	93	7	2913
24	T85L31	-0,93	3,18	1,09	4,05	23	42	56	44	2913
	Мезомасштабная	0,31	1,84	0,63	2,37	37	64	82	18	2913
	UKMO	-0,06	1,70	0,58	2,24	42	68	85	15	2913
	NCEP	-0,42	2,07	0,71	2,63	32	58	76	24	2897
	MM5 (МГМБ)	-1,64	2,34	0,81	2,91	27	51	70	30	2739
	Ансамбль (UKMO–NCEP)	0,11	1,55	–	2,07	46	72	87	13	2913
36	T85L31	-0,60	2,69	0,71	3,44	24	45	65	35	2913
	Мезомасштабная	-0,14	1,62	0,43	2,06	40	69	86	14	2913
	UKMO	-0,22	1,66	0,44	2,12	38	69	86	14	2897
	NCEP	0,08	1,95	0,52	2,51	36	61	78	22	2739
	MM5 (МГМБ)	0,05	1,38	–	1,80	47	77	92	8	2913

Таблица 4

Оценки прогнозов температуры воздуха по Центральному федеральному округу

Заблаговременность, ч	Модель	Ошибка				Обеспеченность при абсолютной ошибке,				Кол-во прогнозов
		систематическая	абсолютная	относительная	среднеквадратическая	$\leq 1^\circ$	$\leq 2^\circ$	$\leq 3^\circ$	$> 3^\circ$	
24	T85L31	-0,89	2,42	0,90	3,04	27	51	69	31	2556
	Комплексная схема	-0,12	1,61	0,63	2,12	42	71	87	13	2429
	УКМО	0,70	1,63	0,60	2,14	42	70	86	14	2556
	НСЕР	-0,39	1,57	0,58	2,02	41	71	88	12	2541
	ММ5 (МГМБ)	0,00	1,78	0,67	2,29	37	66	83	17	2403
	Ансамбль (УКМО–НСЕР)	-0,09	1,38	–	2,07	49	79	93	7	2556
36	T85L31	-0,65	2,99	1,02	3,82	24	42	60	40	2556
	Комплексная схема	1,21	2,50	0,86	3,33	28	52	70	30	2430
	УКМО	0,28	1,78	0,61	2,31	37	66	84	16	2556
	НСЕР	0,04	2,04	0,70	2,63	33	60	77	23	2541
	ММ5 (МГМБ)	-0,89	2,09	0,72	2,67	32	58	76	24	2403
	Ансамбль (УКМО–НСЕР)	0,05	1,58	–	2,20	44	72	88	12	2556
48	T85L31	-0,83	2,77	0,80	3,48	23	43	62	38	2556
	Комплексная схема	0,81	2,42	0,73	3,38	30	55	72	28	2427
	УКМО	-0,57	1,73	0,50	2,23	38	67	84	16	2542
	НСЕР	-0,54	1,70	0,49	2,19	38	69	85	15	2541
	ММ5 (МГМБ)	-0,05	1,89	0,56	2,44	35	62	81	19	2403
	Ансамбль (УКМО–НСЕР)	-0,10	1,48	–	2,15	45	77	90	10	2542

ансамблевого подхода по всем рассмотренным характеристикам превышала успешность прогнозов зарубежных моделей.

Показатели успешности прогнозов срочной температуры воздуха на **центральной части Европейской территории России (ЕТР)** приведены в табл. 5. Из данных этой таблицы видно, что количество рассмотренных прогнозов для данной территории на порядок больше рассмотренных прогнозов по остальным территориям. При этом наиболее высокие характеристики успешности прогнозов срочной температуры воздуха для заблаговременностей 24, 36 и 48 ч ($ABS = 1,50; 1,63; 1,60^{\circ}C$ и обеспеченность прогнозов с ошибкой менее $3^{\circ}C$ в пределах 87–90 %) оказались у метода, базирующегося на основе использования ансамблевого подхода, превысив характеристики успешности всех зарубежных моделей и отечественной глобальной модели T85L31.

Таблица 5

**Оценки прогнозов температуры воздуха
для центральной части Европейской территории России**

Заблаговременность, ч	Модель	Ошибка				Обеспеченность при абсолютной ошибке				Кол-во прогнозов
		систематическая	абсолютная	относительная	среднеквадратическая	$\leq 1^{\circ}$	$\leq 2^{\circ}$	$\leq 3^{\circ}$	$> 3^{\circ}$	
24	T85L31	-0,50	2,30	0,82	2,94	29	53	71	29	27459
	UKMO	-0,14	1,60	0,57	2,13	43	71	86	14	27459
	NCEP	0,09	1,60	0,58	2,12	42	71	87	13	27286
	MM5 (МГМБ)	0,21	1,80	0,66	2,38	38	65	83	17	25756
	Ансамбль (UKMO–NCEP)	-0,08	1,50	–	2,35	46	76	90	10	27459

Продолжение табл. 5

36	T85L31	-0,66	2,89	1,00	3,72	25	45	62	38	27459
	UKMO	0,26	1,76	0,61	2,32	38	67	84	16	27459
	NCEP	0,13	2,05	0,71	2,66	33	59	78	22	27286
	MM5 (МГМБ)	-0,95	2,13	0,74	2,73	32	57	75	25	25756
	Ансамбль (UKMO–NCEP)	0	1,63	–	2,46	44	72	87	13	27459
48	T85L31	-0,80	2,67	0,75	3,37	24	45	64	36	27455
	UKMO	-0,08	1,72	0,49	2,26	39	67	84	16	27311
	NCEP	-0,03	1,74	0,49	2,29	38	67	84	16	27282
	MM5 (МГМБ)	0,13	1,95	0,56	2,57	35	62	79	21	25752
	Ансамбль (UKMO–NCEP)	-0,07	1,60	–	2,34	43	72	88	12	27311

Результаты сравнения успешности прогнозов экстремальной температуры воздуха

Сравнительная оценка прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха производилась по Москве (станция ВВЦ), 21 станции Московской области и предусматривала сравнение методических прогнозов, рассчитанных оперативно на основе технологии РЭП, на основе ансамблевого подхода и прогнозов, составленных прогнозистами-синоптиками. Полученные результаты сравнения приведены в табл. 6 и 7.

Из данных табл. 6 видно, что средняя абсолютная ошибка прогнозов минимальной температуры воздуха у всех рассмотренных методов в среднем не превышает 1,4°C и находится в пределах 1,2–1,4°C. Оправдываемость прогнозов минимальной температуры воздуха достаточно высокая у всех методов и составляет в среднем 90–98%. Преимущество в оправдываемости прогнозов минимальной температуры на 24 и 48 ч (в 2–3%), по сравнению с прогнозами синоптиков, имелось у экспериментальных прогнозов по методу ансамбля. Прогнозы минимальной температуры с заблаговременностью 48 ч по технологии РЭП оправдываются лучше, чем синоптические прогнозы, в среднем на 2%, а в феврале и апреле – на 3–7%. Различие с успешностью ансамблевых

Таблица 6

Оценка прогнозов минимальной температуры воздуха по Москве – T_{\min}

Метод прогноза	Заблаговременность, ч	Абсолютная ошибка							Оправдываемость, %						
		II	III	IV	V	VI	VII	II-VII	II	III	IV	V	VI	VII	II-VII
Синоптики	24	1,5	1,3	1,3	1,4	1,4	0,9	1,3	89	97	100	97	97	97	96
	48	1,9	1,5	1,5	1,4	1,4	0,9	1,4	82	97	90	100	100	97	94
РЭП	24	1,9	1,3	2,0	1,0	1,0	0,9	1,4	89	87	87	100	100	97	93
	48	1,9	1,3	1,8	1,1	1,1	1,0	1,4	89	97	93	100	100	97	96
Ансамбль (УКМО–НСЕР)	24	1,2	0,9	1,2	1,4	1,2	1,1	1,2	97	97	100	97	97	97	98
	48	1,2	1,0	1,4	1,3	1,5	1,1	1,3	100	100	90	97	96	97	97

Таблица 7

Оценка прогнозов максимальной температуры воздуха по Московской области – T_{\max}

Метод прогноза	Заблаговременность, ч	Абсолютная ошибка							Оправдываемость, %						
		II	III	IV	V	VI	VII	II-VII	II	III	IV	V	VI	VII	II-VII
Синоптики	24	1,6	1,8	1,3	1,2	1,2	1,4	1,4	93	90	93	97	97	97	95
	48	2,2	2,1	1,8	1,5	1,5	1,8	1,8	79	84	87	97	97	94	90
РЭП	24	2,1	2,1	1,6	1,8	1,8	1,4	1,8	85	90	83	90	90	94	90
	48	2,0	2,1	1,7	1,6	1,6	1,7	1,8	85	90	83	90	90	90	88
Ансамбль (УКМО–НСЕР)	24	2,0	1,2	1,8	1,2	1,0	1,2	1,4	91	100	94	100	97	93	96
	48	1,8	1,3	1,8	1,2	1,2	1,7	1,5	100	100	90	97	97	87	95

прогнозов в среднем составляет $0,1^{\circ}\text{C}$ по абсолютной ошибке и 1 % в оправдываемости прогнозов.

Успешность прогнозов максимальной температуры воздуха (табл.7) у всех сравниваемых методов несколько ниже, чем успешность прогнозов минимальной температуры воздуха. В целом за полугодие синоптические прогнозы максимальной температуры воздуха на 24 и 48 ч имели оправдываемость на 2–5 % выше, чем прогнозы на основе технологии РЭП. Однако более высокая оправдываемость была у ансамблевых прогнозов, как суточных, так и на 48 ч.

При детальном сравнении успешности прогнозов по месяцам (см. рис.) заметны колебания в распределении абсолютной ошибки и оправдываемости прогнозов. Самые большие различия в величинах абсолютной ошибки наблюдались в феврале и апреле, когда фактическая изменчивость экстремальной температуры воздуха в 2007 г. была наибольшей. В июле при небольшой изменчивости температуры и преобладании погоды антициклонального типа на территории Москвы и Московской области абсолютная ошибка по разным методам составляет не более $1,4$ – $1,8^{\circ}\text{C}$. Наименьшей ($1,2^{\circ}\text{C}$) абсолютная ошибка была у экспериментальных ансамблевых прогнозов при заблаговременности 24 ч, она увеличилась до $1,7^{\circ}\text{C}$ у T_{\max} при заблаговременности прогнозов до 48 ч, как и у других методов.

В целом можно заключить, что успешность прогнозов экстремальной температуры воздуха заблаговременностью до 48 ч у методических и синоптических прогнозов достигала высокого уровня и в среднем превышает 90 %.

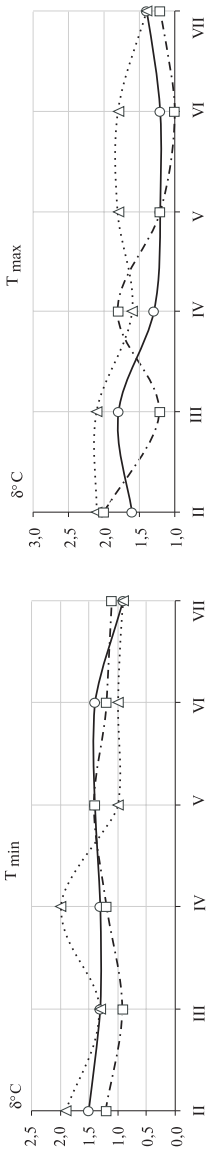
Методика сравнительной оценки качества прогнозов осадков

Методика сравнительной оценки качества прогнозов осадков предусматривала расчет общепринятых характеристик успешности:

– по факту их выпадения: общая оправдываемость (U), оправдываемость прогнозов наличия (U_{oc}) и отсутствия осадков (U_{60}), предупрежденность наличия (P_{o}) и отсутствия осадков (P_{60}), критерий качества Пирси–Обухова (Pir), критерий надежности Багрова–Хайдке (HSS);

– статистические показатели, характеризующие успешность прогноза количества осадков: средние (cr/os) и абсолютные ошибки (ab/os);

Прогноз на первые сутки



Прогноз на вторые сутки

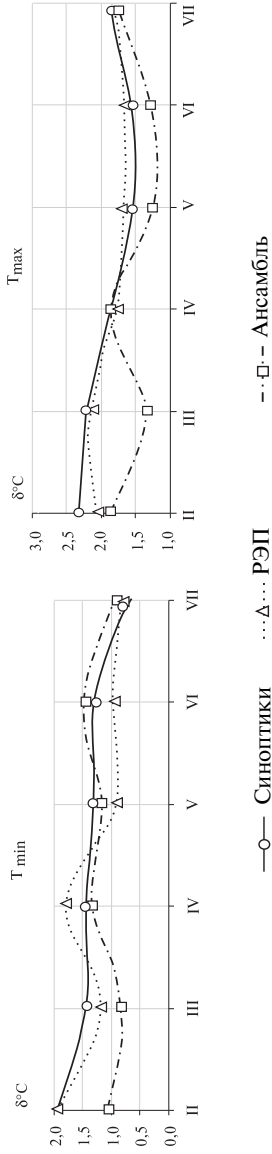


Рис. Абсолютная ошибка методических и синоптических прогнозов экстремальной температуры воздуха по месяцам в период с февраля по июль 2007 г.

– оправдываемость прогнозов количества осадков согласно действующему Наставлению [2] по территории Москвы и Московской области.

Сравнение прогностических 12-часовых сумм осадков, рассчитанных с заблаговременностью 24, 36, 48 ч, проводилось с данными измерений за соответствующие сроки на метеорологических станциях по центральной части Европейской территории России, Центрального федерального округа, Московской области и Москвы (табл. 1). При этом за прогностическое значение осадков на станции принималось значение, полученное с помощью билинейной интерполяции от значения ближайшего узла сетки модели.

Успешность прогнозов осадков отечественных гидродинамических моделей сравнивалась с успешностью аналогичных прогнозов зарубежных моделей (табл. 8–11) и отдельно проводилось сравнение успешности методических прогнозов на основе внедренных моделей и методов с успешностью оперативных прогнозов синоптиков (табл. 12 и 13).

Результаты сравнения прогнозов осадков по отечественным и зарубежным гидродинамическим моделям

В табл. 8 представлены характеристики успешности прогнозов осадков по центральной части Европейской территории России за период с 16 февраля по 31 июля 2007 г. Количество рассчитанных прогнозов в указанный период составляло от 25755 до 27458, что свидетельствовало о статистической значимости результатов сравнительной оценки. Полученные результаты показали, что прогнозы осадков на основе сравниваемых отечественных и зарубежных моделей практически значимы. Величины критерия качества Пирси–Обухова (P_{ir}) находятся в пределах 0,42–0,54 при заблаговременности 24 ч и в пределах 0,36–0,46 при заблаговременности 48 ч. Критерий надежности Багрова–Хайдке (HSS) близок по величине к критерию Пирси–Обухова. Другие показатели характеризуют разные стороны сравниваемых моделей. Так, зарубежные глобальные модели (NCEP, UKMO) чаще (86 %) предупреждают факт выпадения осадков в прогнозах на 24 и 36 ч, а отечественные глобальная модель T85L31 при этих заблаговременностях – их отсутствие (85 %). В то же время оправдываемость прогнозов наличия осадков у сравниваемых моделей различается на

Таблица 8

Показатели успешности прогнозов осадков по моделям для центральной части европейской территории России

Заблаговременность, ч	Модель	Общая оправдываемость, %	Оправдываемость осадков, %	Оправдываемость без осадков, %	Предупрежденность осадков	Предупрежденность без осадков	Критерий Багрова–Хайде	Критерий Парси–Обухова	Ошибка		Количество прогнозов
									средняя (мм)	абсолютная (мм)	
24	T85L31	76,3	62,1	81,8	57,3	84,7	0,43	0,42	0,06	2,31	27458
	Региональная	69,3	49,8	85,9	75	66,8	0,37	0,42	0,12	1,78	27293
	UKMO	73,2	53,8	91,9	86,5	67,3	0,46	0,54	0,76	1,87	27283
	NCEP	71,8	52	91,6	86,1	65,6	0,44	0,52	0,50	1,73	27285
	MM5 MГМБ	75	57,4	86,5	73,4	75,7	0,46	0,49	0,22	2,05	25755
36	T85L31	72,3	60,9	80,5	69,0	74,3	0,42	0,43	0,14	2,14	27458
	Региональная	71	61,4	75,7	55,7	79,8	0,36	0,35	−0,02	2,26	27293
	UKMO	71,2	57,2	88,9	86,6	62,3	0,44	0,49	0,53	1,91	27458
	NCEP	74,3	60,6	88,7	84,8	68,2	0,49	0,53	0,9	2,19	27285
	MM5 MГМБ	73	62,6	79,6	65,7	77,2	0,42	0,43	0,02	2,13	25755
48	T85L31	70,4	51,6	81,3	61,6	74,3	0,34	0,36	0,36	2,43	27453
	UKMO	77,8	66,9	81,5	55,3	87,8	0,45	0,43	−0,59	2,05	27453
	NCEP	72,5	54	85,3	71,9	72,7	0,41	0,45	−0,42	1,69	27280

4–10 % в пользу модели T85L31. Региональная отечественная модель и мезомасштабная модель MM5 (MГМБ) реже дают прогнозы без осадков, но имеют более высокую их оправдываемость (86 %). Общая оправдываемость прогнозов факта наличия и отсутствия осадков у всех сравниваемых моделей в пределах 70–76 %. В суточных прогнозах меньшие погрешности в количестве осадков имели глобальная модель

NCER, региональная отечественная и глобальная модель UKMO (соответственно, 1,73; 1,78; 1,87 мм/12 ч). С увеличением заблаговременности только у модели UKMO абсолютная ошибка прогноза количества осадков оставалась близкой 2 мм/12 ч, у других моделей указанная погрешность возросла до 2,2–2,4 мм/12 ч.

В целом можно заключить, что отечественные и зарубежные гидродинамические модели прогноза осадков имеют вполне сопоставимый уровень успешности прогнозов.

Для территории ЦФО (табл. 9) количество оцененных прогнозов по каждой модели было в пределах 2403–2556. Соотношение характеристик качества прогнозов осадков на основе отечественных и зарубежных моделей практически идентично описанному выше. Однако среди всех сравниваемых моделей на рассматриваемой территории лучшие прогнозы количества осадков с абсолютной ошибкой 1,23 и 1.46 мм/12 ч при заблаговременностях 24 и 36 ч продемонстрировала экспериментальная комплексная схема (автор – Л.В. Беркович). Имея самую высокую предупрежденность выпадения осадков (94 и 97 %) и оправдываемость прогнозов без осадков (95 и 96 %), комплексная схема на 5–10 % уступала в общей оправдываемости прогнозов факта наличия и отсутствия осадков другим отечественным и зарубежным моделям. Наибольшие значения общей оправдываемости прогнозов осадков, предупрежденности без осадков имели прогнозы модели T85L31 при заблаговременности 24 ч. Предупрежденность случаев без осадков наиболее высокой была у региональной модели (78,8 %) при заблаговременности 36 ч, по сравнению с зарубежными моделями превышение составило 3–18,3 %.

В табл. 10 приведены показатели успешности прогнозов осадков сравниваемых моделей по Московской области. Объем указанной выборки составил 2739–2913 прогнозов по каждой модели. Из представленных результатов видно, что наиболее высокие значения общей оправдываемости прогнозов и предупрежденности случаев без осадков имела глобальная модель T85L31 при заблаговременности 24 ч. В целом, соотношение различных характеристик качества прогнозов факта выпадения осадков у отечественных и зарубежных моделей было аналогичным описанному соотношению на территории центральной

Таблица 9

Показатели успешности прогнозов осадков по моделям для ЦФО

Заблаговременность, ч	Модель	Общая оправдываемость, %		Оправдываемость без осадков, %	Предупрежденность осадков	Предупрежденность без осадков	Критерий Багрова – Хайке	Критерий Пирси – Обухова	Ошибка		Количество прогнозов
		Оправдываемость, %	Оправдываемость осадков, %						средняя (мм)	абсолютная (мм)	
24	T85L31	75,4	61,6	80,8	55,4	84,4	0,41	0,40	-0,06	2,12	2556
	Региональная	69,8	51,1	84,3	71,8	68,8	0,37	0,41	-0,05	1,64	2543
	Комплексная схема	65	46,5	95,1	94	52,3	0,36	0,46	-0,07	1,23	2432
	UKMO	72,2	53,3	90,5	84,4	66,7	0,44	0,51	0,51	1,66	2539
	NCEP	70,8	51,6	89	81,5	66,1	0,41	0,48	0,38	1,63	2541
	MM5 MГмБ	74,8	57,6	86,4	74	75,2	0,46	0,49	0,2	1,92	2403
36	T85L31	71,9	60,1	80,9	70,9	72,4	0,42	0,43	0,17	1,79	2556
	Региональная	69,3	59,4	74,2	53,1	78,8	0,33	0,32	-0,03	1,90	2543
	Комплексная схема	61,1	48,7	95,6	96,9	40,1	0,31	0,37	0,4	1,46	2432
	UKMO	70,9	56,8	90,0	88,6	60,5	0,44	0,49	0,52	1,69	2556
	NCEP	73,6	60,0	87,8	83,7	67,7	0,47	0,51	1,07	2,06	2541
	MM5 MГмБ	72,2	61,4	79,2	65,7	75,9	0,41	0,42	0,07	1,79	2403
48	T85L31	68,2	49,1	80,1	60,5	71,7	0,30	0,32	0,14	2,23	2556
	UKMO	77,9	67,6	81,4	55,3	88	0,46	0,43	-0,62	2,04	2556
	NCEP	71,8	53,6	84,3	70,2	72,5	0,39	0,43	-0,5	1,71	2541

части Европейской территории России и ЦФО. Однако статистические характеристики прогнозов количества осадков у региональной и мезомасштабной отечественных моделей стали лучше.

Наименьшие абсолютные ошибки прогноза количества осадков при заблаговременности прогнозов 24 и 36 ч имели, соответственно, региональная модель В.М. Лосева (1,35мм/12 ч) и мезомасштабная модель Д.Я. Прессмана (1,54 мм/12 ч) при сравнении отечественных и зарубежных моделей.

При заблаговременности прогнозов 48 ч (сравнивались только глобальные модели) большинство характеристик успешности оказалось

Таблица 10

Показатели успешности прогнозов осадков по моделям для Московской области

Заблаговременность, ч	Модель	Общая оправдываемость, %	Оправдываемость осадков, %	Оправдываемость без осадков, %	Предупрежденность осадков	Предупрежденность без осадков	Критерий Багрова – Хайде	Критерий Пирси – Обухова	Ошибка		Количество прогнозов
									средняя (мм)	абсолютная (мм)	
24	T85L31	74,5	60,3	79,5	51,2	84,9	0,38	0,36	–0,09	1,69	2913
	Региональная	70,6	51,7	86,4	76,1	68,1	0,39	0,44	0,11	1,35	2895
	Мезомасштабная	72,5	56,2	78,6	49,8	82,6	0,33	0,32	–0,22	1,79	2913
	UKMO	72,5	53,5	91,2	85,6	66,7	0,45	0,52	0,73	1,50	2896
	NCEP	70,8	51,3	90,9	85,4	64,3	0,42	0,5	0,55	1,41	2897
	MM5 MГмБ	73,3	55,1	86,6	75,2	72,4	0,43	0,48	0,24	1,49	2739
36	T85L31	69,5	57,6	78,6	67,5	70,7	0,37	0,38	0,05	1,75	2913
	Региональная	65,9	54,7	71,5	49,1	75,8	0,25	0,25	–0,05	1,89	2895
	Мезомасштабная	62,9	50,1	67,5	35,8	78,9	0,16	0,15	–0,81	1,54	2913
	UKMO	70,4	56,9	87,1	84,4	62,1	0,42	0,47	0,64	1,73	2913
	NCEP	70,7	56,7	88,3	86	61,7	0,43	0,48	1,27	2,15	2897
	MM5 MГмБ	72,5	61,9	79,7	67,2	75,6	0,42	0,43	0,03	2,09	2739
48	T85L31	68,8	50,2	79,5	58,7	73,4	0,31	0,32	0,01	1,61	2913
	UKMO	77,0	67,7	79,9	51,4	88,8	0,43	0,40	–0,30	1,75	2913
	NCEP	69,5	51	84,1	71,9	68,4	0,36	0,40	–0,22	1,38	2897

выше у прогнозов зарубежных моделей; у модели T85L31, по сравнению с моделью UKMO, была несколько выше предупреденность осадков и меньше величина абсолютной ошибки прогноза количества осадков.

Оценка прогнозов осадков по Москве (табл. 11) осуществлялась по станции ВВЦ из-за отсутствия автоматизированного поступления в базу данных метеорологических наблюдений с других станций. Число сравниваемых прогнозов по каждой модели составляло от 155 до 165.

Таблица 11

Показатели успешности прогнозов осадков по моделям для Москвы (ВВЦ)

Заблаговременность, ч	Модель	Общая оправдываемость, %		Оправдываемость без осадков, %	Предупрежденность осадков	Предупрежденность без осадков	Критерий Багрова – Хайде	Критерий Пирси – Обухова	Ошибка		Количество прогнозов
		Оправдываемость	Оправдываемость осадков, %						средняя (мм)	абсолютная (мм)	
24	T85L31	76,4	61,2	82,8	60	83,5	0,44	0,43	-0,02	1,50	165
	Региональная	71,3	51,9	88,5	80	67,5	0,41	0,48	0,13	1,27	164
	Комплексная схема	59,2	41,5	96,1	95,7	44,1	0,29	0,40	0,16	1,00	157
	Мезомасштабная	72,1	54,2	79,5	52	80,9	0,33	0,33	-0,10	1,68	165
	UKMO	69,5	50,0	91	86	62,3	0,40	0,48	0,61	1,23	164
	NCEP	69,5	49,4	92,2	87,8	61,7	0,40	0,49	0,70	1,35	164
	MM5 MГМБ	71	52,5	83	66,7	72,9	0,37	0,40	0,16	1,10	155
36	T85L31	69,1	58,2	79,1	71,9	67,3	0,38	0,39	-0,10	1,54	165
	Региональная	59,8	48,1	65,5	40,6	72,0	0,13	0,13	-0,27	1,65	164
	Комплексная схема	63,7	51,3	97,6	98,3	42,3	0,35	0,41	0,26	1,31	157
	Мезомасштабная	58,8	46,0	64,3	35,9	73,3	0,10	0,09	-0,74	1,53	165
	UKMO	69,7	57,4	85,9	84,4	60,4	0,41	0,45	0,55	1,53	165
	NCEP	69,5	57,1	84,9	82,5	61,4	0,41	0,44	1,18	1,92	164
	MM5 MГМБ	74,2	65,2	80,9	71,7	75,8	0,47	0,47	0,36	2,02	155
48	T85L31	70,3	50,8	83	66	72,2	0,35	0,38	0,06	1,40	165
	UKMO	76,4	62,2	81,7	56	85,2	0,42	0,41	-0,24	1,59	165
	NCEP	70,1	50,7	85,7	74	68,4	0,38	0,42	0,03	1,48	164

Сравнение успешности суточных прогнозов осадков на основе отечественных моделей показало, что все они при оценке факта выпадения осадков имеют те или иные высокие показатели: глобальная модель T85L31 (общая оправдываемость, оправдываемость прогнозов осадков и предупреденности случаев без осадков, соответственно, 76,4 %, 61,2 %, 83,6 %), региональная модель (предупрежденность осадков – 80 %, оправдываемость прогнозов без осадков – 88,5 % и самый

высокий критерий качества Пирси–Обухова), комплексная схема (предупрежденность осадков – 95,71 %, оправдываемость прогнозов без осадков – 96,1), мезометеорологическая модель (предупрежденность без осадков – 80,9 %, общая оправдываемость прогнозов – 72,1 %). Наименьшие значения абсолютной ошибки прогноза количества осадков были у комплексной схемы (1,00 мм/12 ч) и региональной модели (1,27 мм/12 ч). При заблаговременности прогнозов 36 ч наиболее высокие значения оправдываемости прогнозов без осадков и предупрежденности наличия осадков (97,6 % и 98,3 %), а также наименьшую абсолютную ошибку прогноза количества осадков имела экспериментальная комплексная схема Л.В. Берковича

Следует отметить, что приведенные характеристики успешности прогнозов осадков на основе отечественных моделей в общем вполне сопоставимы с качеством прогнозов осадков зарубежных центров, различаясь только по отдельным показателям. Данный вывод относится и к сопоставлению прогнозов осадков на 48 ч на основе сравниваемых глобальных моделей T85L31, UKMO и NCEP.

Результаты сравнения успешности методических и синоптических прогнозов осадков по Москве и Московской области

Характеристики успешности прогнозов осадков с заблаговременностью 24, 36 и 48 ч по **Москве и Московской области**, приведенные в табл. 12 и 13, свидетельствуют о том, что в рассматриваемый период оперативные синоптические прогнозы имели преимущество перед методическими прогнозами по большинству представленных показателей: общая оправдываемость прогнозов осадков, согласно Наставлению, по Москве составляет, соответственно, 82, 84 и 78 %, по Московской области – 85, 86 и 78 %. Абсолютная ошибка прогнозов количества осадков у синоптиков колеблется в пределах от 0,6 до 1,7 мм/12 ч, величина критерия качества Пирси–Обухова составляет 0,51–0,54 при заблаговременности прогнозов 24 ч, 0,43 – при заблаговременности 36 ч и 0,36–0,37 – при заблаговременности 48 ч.

Методические прогнозы (комплексная схема Л.В. Берковича и интерпретация выходной продукции модели T85L31) имеют аналогичные ошибки количества осадков, комплексная схема существенно

Таблица 12

Показатели успешности методических и синоптических прогнозов осадков по Москве

Заблаговременность, ч	Метод и модели прогноза	Оправдаемость по Наставлению, %	Ошибка		Критерий Пирси – Обухова	Оправдаемость по факту, %	Предупрежденность осадков	Предупрежденность без осадков	Количество прогнозов
			систематическая (мм)	абсолютная (мм)					
24	Синоптический	82	0,1	0,6	0,51	72	84	67	181
	T85L31	77	0,0	1,5	0,46	64	63	84	165
	Интерпретация T85L31	75	-0,1	0,8	0,12	66	49	63	181
	Региональная	71	0,1	1,3	0,48	52	80	68	164
	Комплексная схема	59	0,2	1,0	0,40	42	96	44	181
	Мезомасштабная	72	-0,1	1,7	0,46	58	48	83	165
36	Синоптический	84	0,0	0,7	0,43	72	76	67	181
	T85L31	71	-0,1	1,5	0,44	62	75	68	165
	Интерпретация T85L31	75	-0,2	1,0	0,16	64	46	70	181
	Региональная	60	-0,3	1,7	0,41	48	41	72	164
	Комплексная схема	64	0,3	1,3	0,41	51	98	42	181
	Мезомасштабная	59	-0,7	1,5	0,07	47	33	74	165
48	Синоптический	75	1,6	1,7	0,37	63	85	52	181
	T85L31	71	0,1	1,4	0,37	53	65	72	165
	Интерпретация T85L31	73	-0,1	0,8	0,11	63	51	60	181

Таблица 13

Показатели успешности методических и синоптических прогнозов осадков по Московской области

Заблаговременность, ч	Метод и модели прогноза	Оправдаемость по Наставлению, %	Ошибка		Критерий Пирси—Обухова	Оправдаемость по факту, %	Предупрежденность осадков	Предупрежденность без осадков	Количество прогнозов
			систематическая (мм)	абсолютная (мм)					
24	Синоптический	85	0,1	0,6	0,54	74	85	69	2534
	T85L31	75	-0,1	1,7	0,36	60	51	85	2913
	Интерпретация T85L31	75	-0,2	0,8	0,13	65	50	63	2534
	Региональная	71	0,1	1,4	0,44	52	76	68	2895
	Комплексная схема	75	0,1	0,7	0,42	64	90	52	2534
	Мезомасштабная	73	-0,2	1,8	0,32	56	50	83	2913
36	Синоптический	86	0,0	0,7	0,43	72	75	68	2534
	Интерпретация T85L31	75	-0,2	1,0	0,17	65	47	70	2534
	Региональная	66	-0,1	1,9	0,25	55	49	76	2895
	Комплексная схема	72	0,2	1,0	0,40	64	96	45	2534
	Мезомасштабная	63	-0,8	1,5	0,15	50	36	79	2913
48	Синоптический	78	1,4	1,7	0,36	63	83	52	2534
	Интерпретация T85L31	73	-0,1	0,9	0,10	63	51	59	2534
	T85L31	69	0,0	1,6	0,32	50	59	73	2913

лучше предупреждает факт выпадения осадков, а мезомасштабная модель и региональная модель лучше предупреждают факт отсутствия осадков. При заблаговременности 48 ч различия в успешности прогнозов осадков у моделей и синоптиков становятся менее выраженными.

Выводы

Результаты выполненного сравнения методических и синоптических прогнозов были доложены на заседании ЦМКП 2 октября 2007 г.

Комиссия отметила, что решение ЦМКП от 9 ноября 2006 г. по проведению сравнительного анализа оправдываемости оперативных краткосрочных прогнозов температуры воздуха и осадков, получаемых с помощью внедренных методов и моделей, а также составляемых прогнозистами-синоптиками, Гидрометцентром России выполнено.

Сравнительный анализ результатов показал высокий уровень оправдываемости прогнозов срочной температуры воздуха (выше 85 %) и практически значимое качество прогнозов осадков (критерий качества Пирси–Обухова выше 0,40) по всем сравниваемым методам и моделям. Существующий разброс в оценках качества сравниваемых методов свидетельствует о том, что разные модели и методы достаточно хорошо адаптированы для различных типов процессов и синоптических ситуаций.

В целом прогнозы температуры и осадков по отечественным моделям в сравнении с зарубежными моделями показали достаточно близкие оценки успешности. Тем не менее эти оценки несколько уступают оценкам качества зарубежных моделей.

Прогнозы экстремальной температуры воздуха у синоптиков и по схеме РЭП имели достаточно высокие и близкие характеристики успешности. Прогнозы осадков по Москве и Московской области у синоптиков имели более высокие оправдываемости, чем у методических прогнозов.

Проведенный эксперимент по прогнозированию приземной температуры воздуха с использованием ансамблевого подхода показал уровень успешности, превосходящий успешность прогнозов по лучшим зарубежным моделям.

ЦМКП одобрила выполненную Гидрометцентром России работу по сравнительной оценке качества прогнозов на основе внедренных прогностических схем и моделей. Комиссия рекомендовала Гидрометцентру России использовать в оперативной практике в качестве основных:

– технологию выпуска регионального гидродинамического прогноза полей давления на уровне моря, геопотенциала изобарических поверхностей до 100 гПа, температуры и ветра в тропосфере, а также осадков на сроки до 48 ч (автор – В.М. Лосев);

– технологию выпуска глобальных гидродинамических прогнозов полей давления на уровне моря, высоты геопотенциала основных изобарических поверхностей, температуры воздуха и ветра в тропосфере с заблаговременностью 12–24 ч, а также прогнозы осадков в холодные периоды года для заблаговременности 24–72 ч на базе спектральной модели T85L31;

– технологию РЭП (автор – П.П. Васильев) в части прогнозирования экстремальной температуры воздуха по Москве на 2–3 суток и по Московской области – на 1–5 суток.

В качестве вспомогательной рекомендовано использовать в оперативной практике технологию расчета гидродинамического локального прогноза приземной температуры воздуха, давления, скорости ветра, а также осадков в холодный период года по территории Москвы и Московской области с заблаговременностью 36 ч на основе мезомасштабной модели (автор – Д.Я. Прессман).

ЦМКП предложила продолжить опытное использование экспериментальной комплексной схемы (автор – Л.В. Беркович) в течение года.

Комиссия рекомендовала Гидрометцентру России создавать новые виды прогностической продукции в вероятностной форме.

Список литературы

1. Багров А.Н. Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды на основе ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба. – (См. настоящий сборник.)

2. РД 52.88.629 – 2002. Наставления по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. – 42 с.