

**ПРОГНОЗ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА
И СРЕДНЕГО ВЕТРА ДЛЯ РЕГИОНОВ ВНЕТРОПИЧЕСКОЙ ЧАСТИ
СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ
НА ОСНОВЕ ПОЛУЛАГРАНЖЕВОЙ МОДЕЛИ С ПОСТОЯННЫМ
РАЗРЕШЕНИЕМ ПЛАВ–2005 С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО 120 Ч
(авторы М.А. Толстых, Н.Н. Богословский, А.В. Шляева)**

Общие сведения

В Гидрометцентре России совместно с ИВМ РАН была разработана глобальная полулагранжева конечно-разностная модель среднесрочного прогноза погоды ПЛАВ (версия модели с постоянным разрешением по горизонтали, шаг по широте $0,72^\circ$, по долготе $0,9^\circ$, с 28 неравномерно расположенными уровнями по вертикали) [3, 8]. Прогноз полей метеорологических величин осуществлялся с помощью численного решения уравнений гидротермодинамики в сигма – системе координат на сфере. В модель включены параметризации процессов подсеточного масштаба (коротко– и длинноволновая радиация, глубокая и мелкая конвекция, планетарный пограничный слой, торможение гравитационных волн, тепло- и влагообмен с подстилающей поверхностью), разработанные в Метео–Франс для модели оперативного прогноза ARPEGE/IFS.

Решениями Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) от 27.01.2006 г. и 29.11.2007 г. модель рекомендована к внедрению в ГУ «Гидрометцентр России» для прогноза полей метеорологических величин в свободной атмосфере и давления на уровне моря, а также для прогноза осадков [4, 5].

Для повышения успешности прогнозов приземной температуры воздуха на основе модели ПЛАВ, в блоке параметризаций процессов подсеточного масштаба использована параметризация процессов тепло- и влагообмена с почвой ISBA [7]. В параметризации ISBA учитывается влияние растительности на суточный ход испарения, способность растительности перехватывать и испарять поступившие на нее осадки, а также тепловая инерция растительности. В модель включено и расширение этой параметризации, касающееся промерзания и оттаивания почвы [6]. Для работы параметризации ISBA необходимо корректное и согласованное с данной параметризацией задание начальных значений влагосодержания почвы.

В качестве начальных данных модель ПЛАВ использует:

- поля оперативного объективного анализа на стандартных изобарических поверхностях с горизонтальным разрешением 1,25 градуса по долготе и широте;
- поля объективного анализа на модельной сетке температуры и относительной влажности на уровне 2м, температуры и влагосодержания поверхностного и глубинного слоев почвы (разработаны в Лаборатории перспективных численных методов в моделях атмосферы);
- поля температуры поверхности океана и высоты снежного покрова (разработаны в Лаборатории оперативного объективного анализа, автор А.Н. Багров).

Авторами модели ПЛАВ впервые в России реализована технология усвоения почвенных переменных и вариационный алгоритм усвоения приземной температуры [1].

Программный комплекс модели был распараллелен в 2006 году на основе сочетания технологий MPI и OpenMP, достигнута масштабируемость кода на 512 процессорах [2]. Прогностическая модель работает на сервере Xeon4b в оперативном режиме под управлением системы АСООИ и записывает выходную продукцию в базы АСООИ LAG1 и LAG2 на машинах Xeon4b и Xeon4.

Модель ПЛАВ в различных версиях реализована в опытном режиме на новом вычислителе SGI Altix 4700, установленном в ГВЦ Росгидромета. У экспериментальной версии модели, включающей постпроцессинг, с горизонтальным разрешением над Россией порядка 37 км и 50 уровнями по вертикали время расчета суточного прогноза составляет 20 мин.

Методика испытаний

Оперативные испытания прогнозов приземной температуры воздуха и приземного среднего ветра (зональной и меридиональной составляющих) на основе модели ПЛАВ–2005 проводились в сравнении с аналогичными прогнозами оперативной глобальной модели T85L31 и с прогнозами зарубежных метеорологических центров (UKMO, NCEP, DWD) в период с ноября 2007 по октябрь 2008 г.

Оценка прогнозов температуры воздуха, среднего ветра производилась путем сравнения с данными наблюдений на станциях: при оценке успешности прогнозов приземной температуры воздуха рассчитывались средняя абсолютная, среднеквадратическая и относительная ошибки; при оценке успешности прогнозов среднего приземного ветра рассчитывались средняя абсолютная и среднеквадратическая ошибки векторной разности прогностического и фактического ветра.

Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха и среднего

приземного ветра заблаговременностью до 72 ч рассчитывались по исходному сроку 00 ч ВСВ для Центральной части Европейской территории России, территории Урала и Западной Сибири, территории Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Показатели успешности указанных прогнозов заблаговременностью до 120 ч по исходному сроку 12 ч ВСВ рассчитывались для регионов Северное полушарие, Европа, Азия и Центральная часть Европейской территории России (27° – 57° в. д., 45° – 65° с. ш.).

Результаты оперативных испытаний

Результаты оценки успешности прогнозов приземной температуры воздуха заблаговременностью до 72 ч, рассчитанных по исходным данным за 00 ч ВСВ, для Центральной части Европейской территории России, территории Урала и Западной Сибири, территории Восточной Сибири и Дальнего Востока приведены в табл. 1.

Результаты оценки успешности прогнозов приземной температуры воздуха заблаговременностью до 120 ч, рассчитанных по исходным данным за 12 ч ВСВ, для регионов Европа, Азия, Северное полушарие и Центральная часть Европейской территории России приведены на рис. 1.

Данные табл. 1 и рис. 1 свидетельствуют о том, что модель ПЛАВ–2005 имела меньшие абсолютные и среднеквадратические ошибки прогнозов приземной температуры воздуха заблаговременностью 72 и 120 ч соответственно по Центральной части Европейской территории России и по территории Европы, а также при заблаговременности 96 и 120 ч по территории Азии и Северного полушария. Модель Т85L31 – меньшие абсолютные и среднеквадратические ошибки прогнозов приземной температуры воздуха по региону Азия и территории Северного полушария при заблаговременности прогнозов до 72 ч.

Результаты оценки успешности прогнозов приземного ветра по рассматриваемым территориям приведены на рис. 2. Абсолютная и среднеквадратическая ошибки прогноза ветра у модели ПЛАВ–2005 были меньше, чем у спектральной модели на всех рассматриваемых территориях и при всех заблаговременностях прогнозов, кроме прогнозов на 24 ч по Европейской территории России, когда погрешности были практически одинаковы.

Показатели успешности прогнозов ветра в различных диапазонах фактической скорости ветра представлены в табл. 2. Величины среднеквадратической ошибки вектора ветра при скоростях до 15 м/с составляли 1,5–1,8 м/с у модели ПЛАВ–2005 и 1,3–2,3 м/с у модели Т85L31 при заблаговременности 12–72 ч соответственно.

В целом, успешность прогнозов приземной температуры воздуха у испытываемой модели была выше, чем у модели Т85L31 при заблаговременности более 72 ч для большинства территорий России. Успешность прогнозов приземного среднего ветра при скорости ветра более 5 м/с у модели ПЛАВ–2005 была несколько выше, чем у модели Т85L31 по большинству территорий.

Результаты оперативных испытаний показали:

– лучшие показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха при заблаговременности до 72 ч отмечены у модели Т85L31 на большинстве рассматриваемых территорий, при заблаговременности прогнозов 96 ч и более – у модели ПЛАВ–2005;

– в среднем показатели успешности прогнозов среднего приземного ветра у модели ПЛАВ–2005 оказались несколько выше, чем у модели Т85L31;

– дополнительный анализ ошибок прогнозов среднего ветра на территории Центральной части Европейской территории России по модели ПЛАВ–2005 в градациях фактического ветра 0–5, 5–10 и более 10 м/с показал, что модельные прогнозы имели погрешности в указанных градациях соответственно 1–2, 2–3 и 4–6,5 м/с.

После выполненного анализа результатов испытаний прогноза приземной температуры в модель ПЛАВ–2005 были внесены некоторые изменения, направленные на повышения качества прогноза приземной температуры в зимний период:

- уточнение климата температуры и влагосодержания глубинного слоя почвы;
- усовершенствованная схема расчета альбедо снега на растительности;
- параметризация пограничного слоя атмосферы на основе псевдокинетической энергии турбулентности;
- для интерполяции температуры на уровень 2 м применены профили Грачева (BLM2006) в приземном подслое для случаев устойчивой стратификации.

Результаты оперативной эксплуатации модели в период ноябрь 2008 – февраль 2009 г. подтвердили улучшение успешности прогноза приземной температуры воздуха.

Сравнение результатов испытания отечественных глобальных моделей с успешностью аналогичных оперативных прогнозов, поступающих из зарубежных центров (UKMO, NCEP и DWD), показало, что прогнозы приземной температуры воздуха на основе отечественных моделей уступают в успешности прогнозам зарубежных моделей по всем рассматриваемым регионам. Прогнозы приземного ветра по модели ПЛАВ–2005 имели некоторое преимущество перед успешностью модели NCEP на территории Азии.

Рекомендации о внедрении

ЦМКП, рассмотрев полученные результаты на заседании 2 апреля 2009 г., приняла следующее решение:

Одобрить работу, выполненную в ГУ «Гидрометцентр России» по развитию глобальной полулагранжевой конечно-разностной модели ПЛАВ–2005 прогноза полей метеорологических величин в свободной атмосфере и характеристик приземной погоды с использованием технологии усвоения почвенных переменных.

Рекомендовать ГУ «Гидрометцентр России»:

- расширить внедренную технологию прогноза полей метеорологических величин в свободной атмосфере и осадков на основе глобальной модели ПЛАВ–2005 включением прогнозов полей приземной температуры и приземного ветра с заблаговременностью до 120 ч и размещать указанные прогнозы на веб-сайте ГУ «Гидрометцентр России»;

- рассмотреть возможность выпуска прогнозов минимальной и максимальной приземной температуры воздуха (в терминах прогнозов, выпускаемых синоптиками) и сравнения их с синоптическими прогнозами;

- провести дополнительный анализ показателей успешности прогнозов приземной погоды с целью выработки практических рекомендаций для прогнозистов и дополнительные испытания прогнозов ветра на акватории океанов с использованием данных измерений, выполняемых буями;

- продолжить работы по улучшению качества прогнозов на основе модели ПЛАВ с учетом результатов, полученных в период испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богословский Н.Н., Шляева А.В., Толстых М.А.* Усвоение почвенных и приземных переменных в глобальной полулагранжевой модели прогноза погоды // Вычислительные технологии. – 2008. – Т. 13. Спец. выпуск. – С. 111–116.

2. *Володин Е.М., Толстых М.А.* Параллельные вычисления в задачах моделирования климата и прогноза погоды // Вычислительные методы и программирование. – 2007. – Т. 8. – С. 113–122.

3. *Толстых М.А.* Полулагранжева модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 4. – С. 5–16.

4. *Толстых М.А., Булдовский Г.С.* Усовершенствованный вариант глобальной полулагранжевой модели прогноза полей метеоэлементов в версии с постоянным разрешением заблаговременностью до 10 суток (автор М.А. Толстых, Гидрометцентр РФ, Институт вычислительной математики РАН) и результаты его оперативных испытаний //

Информационный сборник № 34. – 2007. – С. 24–48.

5. Толстых М.А., Горлач И.А., Багров А.Н., Веселова Г.К., Малинская Г.В., Шакотько Е.Н. Прогноз осадков по регионам внетропической зоны Северного полушария на срок до 72 часов на основе полулагранжевой модели атмосферы с постоянным разрешением ПЛАВ 2005 (авторы – М.А. Толстых, А.В. Шляева) и результаты его оперативных испытаний по регионам России // Информационный сборник № 36. – 2008. – С. 4–42.

6. Boone A., Masson V., Meyers T., Noilhan J. The Influence of the Inclusion of Soil Freezing on Simulations by a Soil–Vegetation–Atmosphere Transfer Scheme // J. of Applied Meteorology. – 2000. – V. 39. – P. 1544–1569.

7. Noilhan J., Planton S. A simple parameterization of land surface processes for meteorological models // Mon. Wea. Rev. – 1989. – V. 117. – P. 536–549.

8. Tolstykh M. Vorticity-divergence semi-Lagrangian shallow-water model on the sphere based on compact finite differences // J. Comput. Phys. – 2002. – V. 179. – P. 180–200.

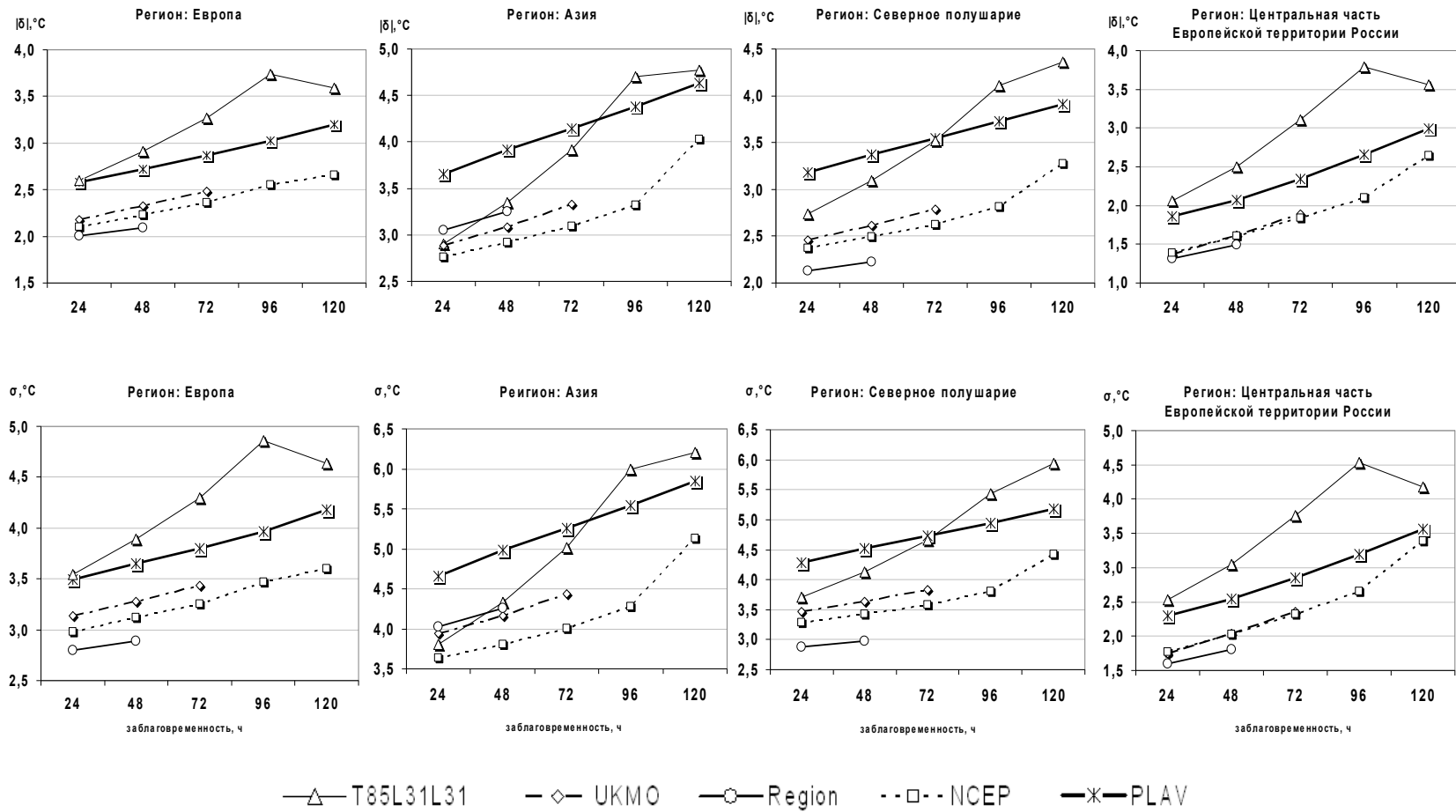


Рис.1. Абсолютная ($|\delta|$) и среднеквадратическая (σ) ошибки прогноза приземной температуры воздуха. Исходный срок 12 ч ВСВ.

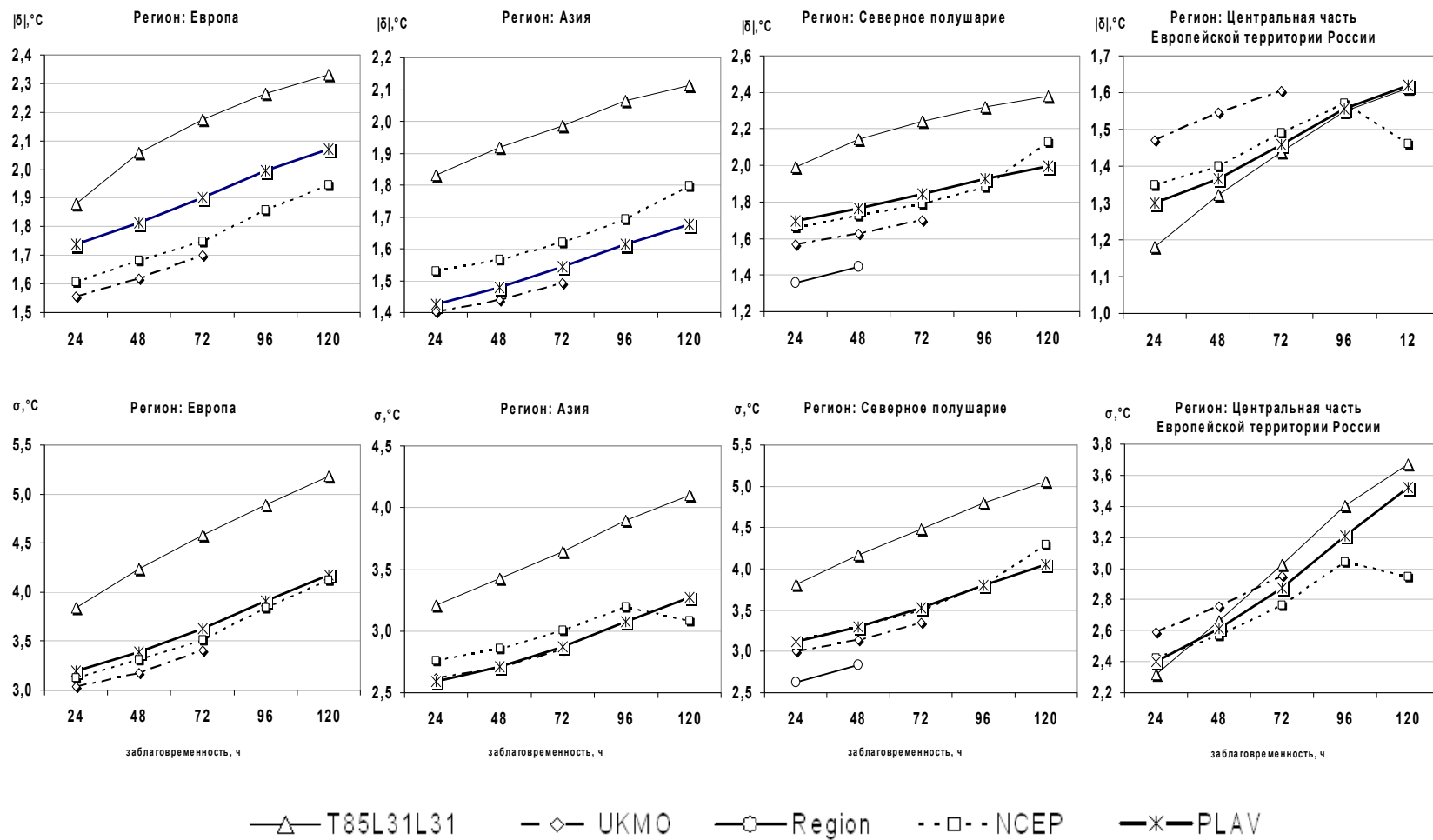


Рис. 2. Абсолютная ($|\delta|$) и среднеквадратическая (σ) ошибки прогноза значений скорости приземного ветра. Исходный срок 12 ч ВСВ.

**Распределение ошибок прогноза приземной температуры воздуха
в период с ноября 2007 по октябрь 2008 г. Исходный срок 00 ч ВСВ.**

Заблаговременность, ч	Модель	RMS	ABS	OTNO	N
Центральная часть Европейской территории России					
12	UKMO	1,98	1,46	0,0	92075
	NCEP	2,24	1,61	0,0	73492
	DWD	2,71	2,06	0,0	91214
	T85L31	2,50	1,91	0,0	90784
	PLAV	2,81	2,06	0,0	92074
24	UKMO	2,24	1,61	0,0	73269
	NCEP	2,54	1,79	0,46	90934
	DWD	2,77	2,15	0,51	90506
	T85L31	3,13	2,44	0,61	91794
	PLAV	3,13	2,27	0,68	91366
36	UKMO	2,23	1,68	0,55	72206
	NCEP	2,50	1,82	0,60	90796
	DWD	2,90	2,22	0,73	89931
	T85L31	3,09	2,40	0,79	91651
	PLAV	3,20	2,37	0,78	91224
48	UKMO	2,39	1,76	0,50	71994
	NCEP	2,76	1,97	0,57	90489
	DWD	2,98	2,30	0,65	89204
	T85L31	3,78	2,94	0,82	91355
	PLAV	3,53	2,55	0,72	90922
60	UKMO	2,50	1,89	0,62	72212
	NCEP	2,83	2,09	0,70	90361
	DWD	3,17	2,43	0,81	88641
	T85L31	3,75	2,92	0,97	91222
	PLAV	3,52	2,63	0,87	13108
72	UKMO	2,65	1,97	0,55	71950
	NCEP	3,08	2,23	0,64	90430
	DWD	3,38	2,60	0,73	88315
	T85L31	4,61	3,58	1,01	90863
	PLAV	3,83	2,81	0,79	13053
Урал и Западная Сибирь					
12	UKMO	2,90	2,17	0,0	37047
	NCEP	3,34	2,55	0,0	45988
	DWD	3,511	2,75	0,0	45773
	T85L31	3,11	2,41	0,0	46426
	PLAV	3,96	3,04	0,0	46207
24	UKMO	3,36	2,54	0,49	37002
	NCEP	3,97	3,02	0,61	45911
	DWD	3,65	2,90	0,57	45698
	T85L31	4,25	3,32	0,64	46348
	PLAV	4,27	3,50	0,69	46130

Заблаговременность, ч	Модель	RMS	ABS	OTNO	N
36	UKMO	3,08	2,32	0,56	36388
	NCEP	3,56	2,73	0,65	45771
	DWD	3,69	2,88	0,71	45339
	T85L31	3,91	3,02	0,73	46208
	PLAV	4,75	3,68	0,88	45989
48	UKMO	3,53	2,65	0,51	36326
	NCEP	4,18	3,18	0,64	45665
	DWD	3,90	3,09	0,60	45016
	T85L31	5,01	3,89	0,75	46101
	PLAV	4,75	3,81	0,74	45882
60	UKMO	3,39	2,57	0,62	36388
	NCEP	3,81	2,92	0,70	45555
	DWD	3,92	3,05	0,75	44683
	T85L31	4,76	3,68	0,90	45986
	PLAV	5,36	4,18	0,99	6596
72	UKMO	3,86	2,90	0,55	36304
	NCEP	4,52	3,41	0,68	45625
	DWD	4,20	3,33	0,63	44535
	T85L31	6,08	4,74	0,90	45840
	PLAV	5,19	4,10	0,78	65783
Восточная Сибирь и Дальний Восток					
18	UKMO	4,25	3,21	0,0	22196
	NCEP	4,71	3,57	0,0	3941
	T85L31	4,09	3,21	0,0	28183
	PLAV	5,04	3,89	0,0	28052
30	UKMO	3,76	3,01	0,73	22672
	NCEP	3,39	2,61	0,61	4014
	T85L31	3,63	2,84	0,69	28817
	PLAV	4,91	3,96	0,97	28566
42	UKMO	4,29	3,28	0,51	21936
	NCEP	4,69	3,58	0,56	3944
	T85L31	4,48	3,53	0,55	28061
	PLAV	5,45	4,18	0,65	27932
54	NCEP	3,54	2,74	0,64	4014
	T85L31	4,19	3,28	0,80	28684
	PLAV	4,93	3,95	0,95	4025
66	NCEP	4,75	3,66	0,58	3941
	T85L31	5,0	3,91	0,61	27923
	PLAV	5,87	4,50	0,70	3941

Таблица 2

Среднеквадратическая ошибка вектора среднего приземного ветра (м/с) в различных диапазонах фактической скорости ветра

0–5 м/с				6–10 м/с				> 10м/с			
Заблаговременность, ч	Модель	RMS	N	Заблаговременность, ч	Модель	RMS	N	Заблаговременность, ч	Модель	RMS	N
12	PLAV	1,5	73498	12	PLAV	2,3	15409	12	PLAV	5,2	632
	T85L31	1,3	74340		T85L31	2,6	15819		T85L31	5,7	657
	UKMO	1,6	74340		UKMO	1,7	15819		UKMO	4,4	657
	NCEP	1,5	67544		NCEP	1,9	14191		NCEP	4,6	582
24	PLAV	1,8	85563	24	PLAV	2,3	3746	24	PLAV	5,4	174
	T85L31	2,0	86730		T85L31	2,3	3857		T85L31	5,9	175
	UKMO	1,9	86730		UKMO	1,8	3857		UKMO	4,5	175
	NCEP	1,8	81753		NCEP	1,9	3736		NCEP	4,4	170
36	PLAV	1,6	73367	36	PLAV	2,6	15521	36	PLAV	5,7	648
	T85L31	1,5	74311		T85L31	2,5	15841		T85L31	5,7	659
	UKMO	1,7	74311		UKMO	1,8	15841		UKMO	4,4	659
	NCEP	1,6	69243		NCEP	2,0	14591		NCEP	4,7	607
48	PLAV	1,8	85489	48	PLAV	2,6	3819	48	PLAV	6,0	174
	T85L31	2,2	86729		T85L31	2,5	3863		T85L31	6,3	174
	UKMO	1,9	86729		UKMO	2,0	3863		UKMO	4,6	174
	NCEP	1,8	81037		NCEP	2,1	3516		NCEP	5,1	165
60	PLAV	1,6	73277	60	PLAV	2,8	15610	60	PLAV	6,2	649
	T85L31	1,7	74339		T85L31	2,6	15819		T85L31	6,0	657
	UKMO	1,8	74339		UKMO	1,9	15819		UKMO	4,7	657
	NCEP	1,7	70747		NCEP	2,2	14799		NCEP	5,1	598
72	PLAV	1,9	85485	72	PLAV	2,9	3841	72	PLAV	6,5	171
	T85L31	2,3	86724		T85L31	2,7	3872		T85L31	6,6	171
	UKMO	2,0	86724		UKMO	2,1	3872		UKMO	5,1	171
	NCEP	1,9	82308		NCEP	2,3	3647		NCEP	5,5	165