

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«СИБИРСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
(ФГБУ «СибНИГМИ»)

УДК 551.509.1/5
N гос.регистрации 01201166559
Инв. N

УТВЕРЖДАЮ
Директор
ФГБУ «Гидрометцентр России»
доктор технических наук
_____ Вильфанд Р.М.
«__» _____ г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Создание технологии глобальных прогнозов метеорологических полей на срок до 10 суток с шагом сетки не грубее 40км для детерминированных и 70 км для вероятностных прогнозов на основе спектральной модели атмосферы Гидрометцентра России и развитие методов ансамблевого прогнозирования.

(заключительный)

1.1.2.2


часть 2

Технология комплексирования выходной продукции различных моделей
для прогнозирования погоды по территории Западной Сибири

Научный руководитель темы
зав. лабораторией ЛГСПП ФГБУ «Гидрометцентр России»,
кандидат физико-математических наук

И.А. Розинкина

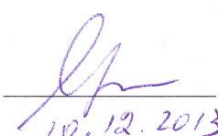
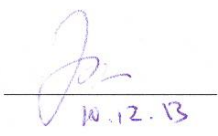
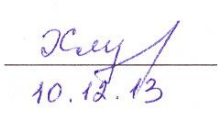
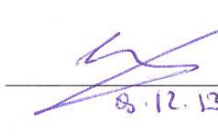
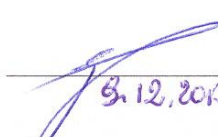
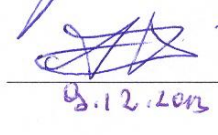

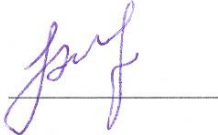
Ответственный исполнитель темы
зав. ЛАСПГ ОИиНИТ СибНИГМИ,
канд. геогр. наук


10.12.2013

М.Я. Здерева

Новосибирск 2013

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Зав. лабораторией канд. геогр. наук (СибНИГМИ)	 10.12.2013	М.Я. Здерева научное руководство, постановка задач, разработка алгоритмов и технологий, написание программ, написание отчета
Зав. отделом ИиНИТ (СибНИГМИ)	 10.12.13	В.М. Токарев научное руководство, разработка алгоритмов
Научный сотрудник (СибНИГМИ)	 10.12.13	Н.А. Хлучина участие в разработке алгоритмов, написание программ, оформление отчета
Ведущий инженер-программист (СибНИГМИ)	 8.12.13	М.С. Котов разработка и отладка ПО выборки данных из SQL-базы, программы форматирования рабочих файлов, настройка технологической линии расчета прогнозов
Зав. лабораторией канд. тех. наук (СибНИГМИ)	 9.12.2013	А.Б. Колкер Программы веб-представления результатов
Зав. группой (СибНИГМИ)	 12.12.2013	А.В. Гочаков Поддержка локальной сети и разработка сетевых программных обеспечений для обмена и хранения данных
Вед. инженер-синоптик («ЗС УГМС»)	 8.12.2013	Н.А.Бабошина Представление результатов оперативных испытаний
Нормоконтролер		Т.П.Панькова

РЕФЕРАТ

Отчет с. 55, ч. 4, рис.21, табл. 10, источников 25.

MOS-ИНТЕРПРЕТАЦИЯ, COSMO, КЛАССИФИКАЦИЯ СИТУАЦИЙ, ПЕРЕБОР ПРИЗНАКОВ

Метод и технология комплексации результатов гидродинамических прогнозов построены на базе выпусков глобальной модели UKMO (Exeter), полулагранжевой модели Гидрометцентра РФ ПЛАВ и негидростатической мезомодели международного консорциума COSMO-RU_SIB14. Проанализировано качество прогнозов приземной температуры воздуха, скорости ветра и осадков по исходным моделям на территории Западной Сибири. Применен алгоритм коррекции гидродинамических прогнозов на базе коэффициентов линейной регрессии с фактическими данными по ограниченной выборке. Описаны эксперименты учета дополнительных параметров-предикторов в уравнениях регрессии и учета классификации синоптических ситуаций на базе алгоритма распознавания образов, построенного на критерии оценки разброса условных вероятностей при переборе признаков. Приведены результаты комплексации откорректированных прогнозов по трем моделям на базе взвешенного осреднения. Описаны оценки оперативных испытаний технологии на независимом материале.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Постановка задачи	5
2	Верификация моделей	11
2.1	Оценки прогнозов приземной температуры воздуха	11
2.2	Оценки прогнозов осадков	16
2.3	Оценки прогнозов ветра	21
3	Интерпретация модельных прогнозов приземной температуры воздуха	24
3.1	Обзор подходов	24
3.2	Байес-коррекция на базе линейных уравнений	24
3.3	Интерпретация прогнозов с учетом классификации синоптических ситуаций	29
3.3.1	Выбор подхода к классификации	29
3.3.2	Исходные параметры для DW	30
3.3.3	DW – решения	34
3.4	Эксперименты интерпретации модельных прогнозов температуры с различными предикторами	36
4	Комплексация прогнозов	39
4.1	Комплексация прогнозов температуры	39
4.2	Технологические блоки комплексации	42
4.3	Результаты оперативного испытания метода и технологии комплексации прогнозов температуры	44
4.4	Исследования возможностей комплексации прогнозов осадков и ветра	48
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	54

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Несмотря на то, что сегодня выходная продукция численных прогнозов предлагает широкий спектр элементов погоды, физико-статистический пост-процессинг по-прежнему остается актуальным. Сами модели - это только имитация атмосферы, и их точность ограничена тем, насколько верно представлены в них сложные атмосферные процессы. В процессе прогноза накапливается некоторая неопределенность, причиной ее возникновения является хаотичное поведение, присущее атмосфере, ограниченность наших возможностей в области наблюдений за атмосферой и моделирования ее состояния, а также наша интерпретация данных наблюдений и результатов моделей [1]. Этот факт натолкнул исследователей на развитие систем прогнозирования по ансамблям, генерируемым различными приемами. И тем не менее многолетними проведениями расчетов доказано, что применение к выходным результатам численных моделей и к ансамблям в том числе систем интерпретации повышает качество прогнозирования.

Возрастающий поток прогностической информации с одной стороны увеличивает количество информативного материала, с другой — требует анализа доверия к той или другой продукции. Различия в математических подходах, в параметризации физических процессов в разных гидродинамических моделях ведут к отличиям в результатах прогнозирования. Это привело к разработкам, нацеленным на комплексацию модельных результатов. В последние годы добавилась приставка C – CMOS, означающая "consensus" и содержащая комбинацию или среднее значение от MOS двух и более моделей. В работе американских ученых [2] показано, что результаты прогнозов по CMOS, вычисляемые как средние по четырем моделям -AVN (AMOS), Eta (EMOS), MRF (MMOS), NGM (NMOS), лучше, чем по MOS для каждой отдельной модели, при этом оценки прогнозов по CMOS сравнимы с прогнозами синоптиков.

Подход CMOS принят за основу в данном исследовании. В качестве базовых модельных полей служат выпуски глобальной модели UKMO (Exeter), полулагранжевой модели Гидрометцентра РФ ПЛАВ (SLAV) [3] и негидростатической мезомодели международного консорциума COSMO [4]. Выбор определен началом расчетов прогнозов в 2011 году по моделям COSMO и ПЛАВ. К этому времени в Западно-Сибирском региональном информационно-вычислительном центре (ЗСРИБЦ - Новосибирск) налажена система получения начальных и граничных данных, запуск расчетных блоков по моделям, вывод результатов в картографическом, текстовом и GRIB форматах. Пространственный шаг в модификации COSMO, запущенной в ЗСРИБЦ (COSMO-SIB14), составляет 14 км или 0.125 градусов. Территория интегрирования показана на рисунке 1.

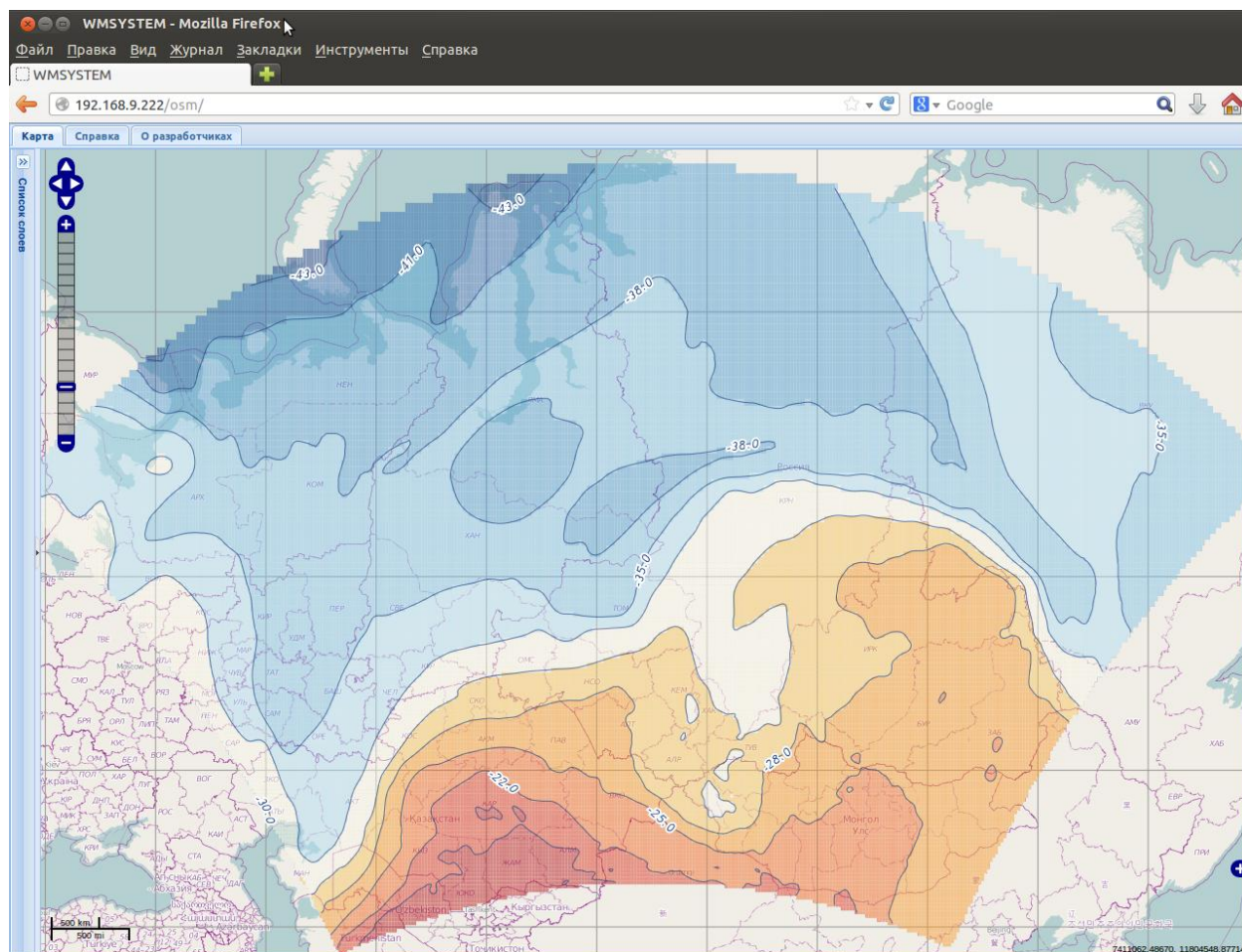


Рисунок 1 - Зона охвата прогнозов по модели COSMO-SIB14

Счет по COSMO-SIB14 проводится 2 раза в сутки на основании информации, предоставляемой Немецким Национальным Бюро Погоды через московский ftp-сервер (<ftp://193.7.160.246/pub>) за 00 и 12 сроки. Заблаговременность расчета 78 часов.

В качестве начальных данных модель ПЛАВ-2008 использует поля оперативного объективного анализа на стандартных изобарических поверхностях с горизонтальным разрешением 1,25 градуса по долготе и широте, а также объективные анализы на модельной сетке: поля температуры и относительной влажности на уровне 2 м, температуры и влагосодержания поверхностного и глубинного слоев почвы, разработанные в Лаборатории перспективных численных методов в моделях атмосферы ГУ "Гидрометцентр России", поля температуры поверхности океана (ТПО) и высоты снежного покрова, разработанные А.Н. Багровым (информация с базы PROMETEI).

17 ноября 2012г. Толстых внедрил анализ снега и ТПО из данных NCEP с 6-часовой задержкой (<http://ftpprd.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/gfs>), что заметно улучшило результаты. В случае отсутствия NCEP'овских данных по снегу и ТПО производится попытка чтения их за предыдущий срок (т.к. эти поля меняются относительно медленно),

если же и предыдущих данных нет - читаются анализы Багрова, как раньше. Зона охвата прогнозов на картах составляет $50^{\circ} - 110^{\circ}$ восточной долготы и $40^{\circ} - 60^{\circ}$ северной широты, шаг по широте - 0.56249, а по долготе - 0.26197 градуса. Выпуски модели UKMO поступают по официальным каналам ВМО, шаг сетки составляет $2.5^0 * 2.5^0$.

Задачи данного исследования:

- проанализировать качество прогнозов основных метеоэлементов по моделям на территории Западной Сибири;
- подобрать алгоритмы интерпретации, повышающие уровень прогнозов по каждой модели;
- разработать алгоритм комплексации прогнозов по трем моделям, ведущий к дальнейшему повышению их качества;
- подготовить программное обеспечение для всех технологических блоков от получения базовой информации до распространения результатов и их оценок

Исходные параметры для исследований: температура воздуха у земли ($T_{2м}$), скорость приземного ветра ($F_{10м}$), количество полусуточных сумм осадков.

Заблаговременность прогнозов: 0-72 часа, выпуски COSMO имеют временной шаг 3 часа, выпуски ПЛАВ – 6 часов, выпуски UKMO -12 часов. Исходные данные конвертируются в формат GRIB и декодируются с помощью CDO -операторов.

В таблице 1 приведен перечень метеостанций исследуемого региона. Их номер в списке в дальнейшем будет использован в данном отчете.

Таблица 1 – Список метеорологических станций на территории Западной Сибири

№	Индекс	Наименование	Геогр. широта	Геогр. долгота
ХАНТЫ-МАНСИЙСКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ - ЮГРА				
001	23471	НИЖНЕВАРТОВСКИЙ	60.8	76.6
002	23527	САРАН-ПАУЛЬ	64.3	60.9
003	23625	СОСЬВА	63.6	62.0
004	23629	ИГРИМ	63.2	64.5
005	23631	БЕРЕЗОВО	63.9	65.0
006	23632	КАЗЫМ	64.7	67.2
007	23635	ЮИЛЬСК	63.7	69.6
008	23724	НЯКСИМВОЛЬ	62.4	60.9
009	23734	ОКТЯБРЬСКОЕ	62.4	66.0
010	23741	НИЖНЕСОРТЫМСК	62.8	71.7
011	23748	КОГАЛЫМ	62.2	74.5
012	23758	РАДУЖНЫЙ	62.1	77.3
013	23823	ВОНЬЕГАН	61.7	64.3
014	23847	СЫТОМИНО	61.3	71.2
015	23848	НЕФТЕЮГАНСК	61.0	72.4
016	23849	СУРГУТ	61.2	73.5
017	23862	КОРЛИКИ	61.8	82.2
018	23867	ЛАРЬЯК	61.3	80.0
019	23929	ШАИМ	60.3	64.2
020	23933	ХАНТЫ-МАНСИЙСК	61.0	69.1
021	23939	АЛТАЙ	60.3	70.0
022	23946	УГУТ	60.5	74.0
023	23953	ВАХОВСК	61.0	78.8
024	28064	ЛЕУШИ	59.6	65.8
025	28066	КОНДИНСКОЕ	59.6	67.4
026	28097	ТАУРОВО	59.5	73.3
027	28165	КУМИНСКАЯ	58.8	66.0
ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ				
028	23955	АЛЕКСАНДРОВСКОЕ	60.4	77.9
029	23966	ВАНЖИЛЬ-КЫНАК	60.3	84.1
030	29016	ПРОХОРКИНО	59.5	79.5
031	29023	НАПАС	59.9	82.0
032	29037	БЕРЕЗОВКА	59.3	82.6
033	29111	СРЕДНИЙ ВАСЮГАН	59.2	78.2
034	29122	КАРГАСОК	59.0	80.9
035	29128	ПАРАБЕЛЬ	58.7	81.5
036	29149	СТЕПАНОВКА	58.7	86.8
037	29154	УСТЬ-ОЗЕРНОЕ	58.9	87.8
038	29203	НОВЫЙ ВАСЮГАН	58.5	76.5
039	29209	МАЙСК	57.8	77.3
040	29224	СТАРИЦА	58.2	80.6
041	29231	КОЛПАШЕВО	58.3	82.9
042	29237	ПОДГОРНОЕ	57.8	82.7
043	29247	БАТУРИНО	57.8	85.1
044	29313	ПУДИНО	57.5	79.4
045	29328	БАКЧАР	57.1	81.9
046	29332	МОЛЧАНОВО	57.6	83.8
047	29348	ПЕРВОМАЙСКОЕ	57.1	86.2
048	29355	ТЕГУЛЬДЕТ	57.3	88.1
049	29430	ТОМСК	56.4	85.0
050	29532	КОЖЕВНИКОВО	56.3	84.0

Продолжение таблицы 1

№	Индекс	Наименование	Геогр. широта	Геогр. долгота
НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ				
051	29405	КЫШТОВКА	56.6	76.6
052	29418	СЕВЕРНОЕ	56.3	78.3
053	29500	УСТЬ-ТАРКА	55.6	75.7
054	29508	ВЕНГЕРОВО	55.7	76.8
055	29524	КРЕЩЕНКА	55.8	80.0
056	29539	БОЛОТНОЕ	55.7	84.4
057	29602	ЧАНЫ	55.3	76.8
058	29605	ТАТАРСК	55.2	76.0
059	29612	БАРАБИНСК	55.4	78.4
060	29613	УБИНСКОЕ	55.3	79.6
061	29614	КВАШИНО	55.0	77.9
062	29623	Н-СК ЕЛЬЦОВКА	55.0	83.0
063	29624	КАРГАТ	55.2	80.3
064	29625	ЧУЛЫМ	55.1	81.0
065	29626	КОЧЕНЕВО	55.0	82.2
066	29630	ТОЛМАЧЕВО-АМЦ	55.0	82.7
067	29631	КОЛЫВАНЬ	55.3	82.8
068	29632	МОШКОВО	55.3	83.6
069	29635	ОБСКАЯ ГМО	54.8	82.9
070	29636	ТОГУЧИН	55.2	84.4
071	29637	УЧЕБНАЯ ГМС	55.0	82.9
072	29638	ОГУРЦОВО	54.9	83.0
073	29702	ЧИСТООЗЕРНОЕ	54.7	76.6
074	29706	КУПИНО	54.4	77.3
075	29708	БАГАН	54.1	77.7
076	29712	ЗДВИНСК	54.7	78.7
077	29716	ДОВОЛЬНОЕ	54.5	79.7
078	29722	УЖАНИХА	54.7	81.1
079	29723	О.ДАЛЬНИЙ	54.5	82.3
080	29724	КОЧКИ	54.3	80.5
081	29726	ОРДЫНСКОЕ	54.4	81.9
082	29730	ИСКИТИМ	54.6	83.3
083	29735	ПОСЕВНАЯ	54.3	83.4
084	29736	МАСЛЯНИНО	54.3	84.2
085	29813	КРАСНООЗЕРСК	54.0	79.2
086	29814	КАРАСУК	53.7	78.1
087	29823	СУЗУН	53.8	82.3
КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ				
088	29536	ЮРГА	55.7	84.8
089	29540	ЯЯ	56.2	86.5
090	29541	ТАЙГА	56.1	85.6
091	29548	БАРЗАС	55.7	86.3
092	29551	МАРИЙНСК	56.2	87.8
093	29552	ТЯЖИН	56.1	88.5
094	29553	БОГОТОЛ	56.2	89.6
095	29641	ТОПКИ	55.3	85.6
096	29642	КЕМЕРОВО-АМСГ	55.4	86.1
097	29644	ПРОМЫШЛЕННАЯ	54.9	85.7
098	29645	КЕМЕРОВО	55.3	86.2
099	29649	КРАПИВИНО	55.0	86.8
100	29654	ЦЕНТР. РУДНИК	55.2	87.6
101	29741	КРАСНОЕ	54.6	85.4
102	29745	БЕЛОВО	54.3	85.9

Продолжение таблицы 1

№	Индекс	Наименование	Геогр. широта	Геогр. долгота
103	29749	КИСЕЛЕВСК	54.0	86.6
104	29846	НОВОКУЗНЕЦК-АМСГ	53.7	87.2
105	29849	КУЗДЕЕВО	53.3	87.2
106	29854	МЕЖДУРЕЧЕНСК	53.7	88.1
АЛТАЙСКИЙ КРАЙ				
107	29946	КОНДОМА	52.8	87.3
108	29954	ТАШТАГОЛ	52.8	87.8
109	29955	УСТЬ-КАБЫРЗА.	52.8	88.4
110	29816	ХАБАРЫ	53.6	79.5
111	29822	КАМЕНЬ-НА-ОБИ	53.8	81.3
112	29827	БАЕВО	53.3	80.8
113	29832	ТАЛЬМЕНКА	53.8	83.9
114	29836	ЗАРИНСК	53.8	84.9
115	29837	ШЕЛАБОЛИХА	53.4	82.6
116	29838	БАРНАУЛ-АМСГ	53.3	83.7
117	29848	ТОГУЛ	53.5	85.9
118	29915	СЛАВГОРОД	53.0	78.6
119	29916	БЛАГОВЕЩЕНКА	52.8	79.8
120	29923	РЕБРИХА	53.1	82.3
121	29928	МАМОНТОВО	52.7	81.6
122	29936	ТРОИЦКОЕ	53.0	84.7
123	29937	АЛЕЙСКАЯ	52.5	82.8
124	29939	БИЙСК-ЗОНАЛЬНАЯ	52.7	84.9
125	29941	ЦЕЛИННОЕ	53.1	85.8
126	29947	БИЙСК-АМСГ	52.5	85.4
127	36020	РОДИНО	52.5	80.2
128	36021	КЛЮЧИ	52.3	79.1
129	36022	ВОЛЧИХА.	52.0	80.4
130	36024	КУЛУНДА	52.5	78.9
131	36028	УГЛОВСКОЕ	51.4	80.2
132	36032	ПОСПЕЛИХА	52.0	81.5
133	36033	ШИПУНОВО	52.2	82.3
134	36034	РУБЦОВСК	51.5	81.2
135	36036	КРАСНОЦЕКОВО	51.6	82.7
136	36038	ЗМЕИНОГОРСК	51.1	82.2
137	36041	УСТЬ-ЧАРЫШСКОЕ	52.4	83.7
138	36044	УСТЬ-КАЛМАНКА	52.1	83.4
139	36045	СОЛОНЕШНОЕ	51.7	84.3
140	36047	ЧАРЫШСКОЕ	51.4	83.6
ГОРНЫЙ АЛТАЙ				
141	36052	ГОРНО-АЛТАЙСК	52.0	86.0
142	36055	КЫЗЫЛ-ОЗЕК	51.9	86.0
143	36057	ШЕБАЛИНО	51.3	85.7
144	36058	ЧЕМАЛ	51.4	86.0
145	36061	ТУРОЧАК	52.3	87.2
146	36064	ЯЙЛЮ	51.8	87.6
147	36213	УСТЬ-КАН	50.9	84.8
148	36229	УСТЬ-КОКСА	50.3	85.6
149	36231	ОНГУДАЙ	50.8	86.1
150	36237	КАТАНДА.	50.2	86.2
151	36259	КОШ-АГАЧ	50.0	88.7
152	36442	КАРА-ТЮРЕК	50.0	86.4

2 ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

Верификация модельных выпусков определяет качественный уровень модельных выпусков и служит подготовительным шагом при разработке методов интерпретации.

Оценки качества прогнозов производились относительно наблюдений на 152 метеорологических станциях Ханты-Мансийского округа, Новосибирской, Томской, Кемеровской областям, Алтайскому краю и Горному Алтаю (таблица 1). По каждой станции и в среднем по территориям областей получен полный набор расчетных параметров оценки эффективности согласно «Методическим указаниям по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов» (РД 52.27.284-91) [5], «Наставлению по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения» (РД 52.27.724-2009) [6]. Сравнение оценок произведено для трех моделей: глобальной модели UKMO центра Экзетер, мезомодели COSMO и модели SLAV с учетом начала расчетов по последним двум моделям в Западно-Сибирском вычислительном центре. Накопление архивов модельных параметров COSMO начато в июне 2011 года, а параметров SLAV – в ноябре 2011 года.

2.1 Оценки прогнозов приземной температуры воздуха

Для сравнения прогнозов с фактическими наблюдениями данные модельных выпусков переводятся в нерегулярные точки пространства по координатам метеостанций. В начале исследования проведен сравнительный анализ изменения качества прогнозов в результате применения следующих вариантов представления модельных данных на станциях:

- билинейная интерполяция по четырем окружающим узлам;
- выбор данных по ближайшему узлу.
- осреднение по 5 окружающим узлам.

Поле температуры достаточно гладкое, поэтому вариации в качестве несущественные, тем не менее, небольшое преимущество показал первый вариант интерполяции, который в дальнейшем будет использован как основной.

Первые оценки модели COSMO за летний период 2011 года показали ярко выраженный суточный и зональный ход в ошибках прогноза температуры. Средние алгебраические (систематические или bias) ошибки в дневные часы (9-15 ВСВ, 33-39 ВСВ, 57-63 ВСВ от расчета 00 ВСВ) отрицательны на севере территории, приближаются к нулю в Кемеровской области и возрастают к Алтайским широтам (рисунок 2). В ночное время суток

прогнозы завышают температуру практически на всей равнинной части, при этом превышение возрастает с севера на юг. Довольно высокий уровень оправдываемости для дневных часов (85-95%) в ночные сроки падает до 60% в Алтайском крае (рисунок 3). В горных районах модель показывает систематическое занижение температуры, в дневные часы в среднем до -3°C , а на отдельных станциях до -7 -8°C . Соответственно сильно падает уровень оправдываемости.

В том же летнем периоде прогнозы температуры по глобальной модели UKMO показали более низкие отклонения от наблюдаемых значений в ночные сроки (24ч) и сопоставимые с COSMO – в дневные (36ч) (рисунки 4-5). Систематические ошибки ночью также преимущественно положительны, за исключением северной части Ханты-Мансийского округа, горных станций Кемеровской области (№104-106) и Горного Алтая (№140-151). В дневные часы прогнозы UKMO в отличие от прогнозов COSMO завышены на всей территории Западной Сибири за исключением отдельных станций в Горном Алтае

Подключенная к анализу в зимнем периоде модель SLAV показывает существенные завышения температуры, часто превышающие 10°C .

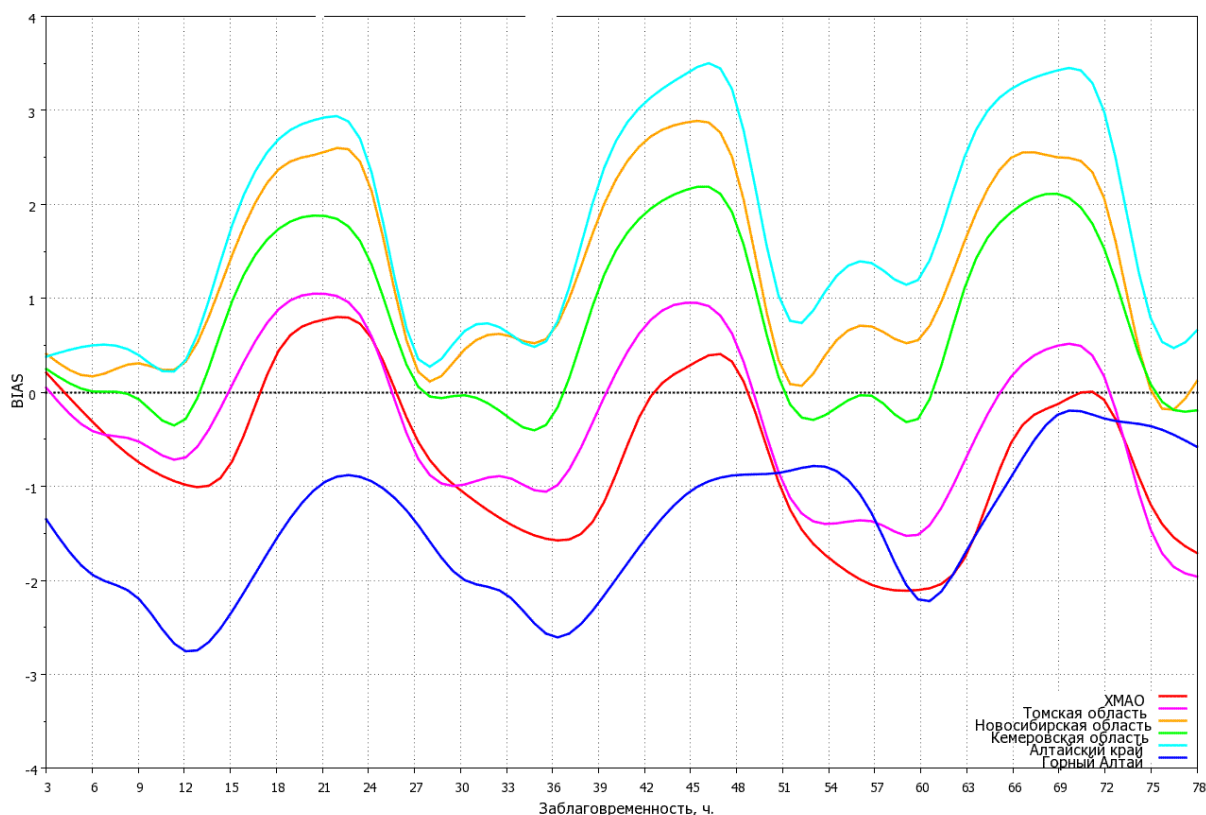


Рисунок 2 – Средние систематические ошибки прогнозов температуры по модели COSMO за июль-август 2011 года

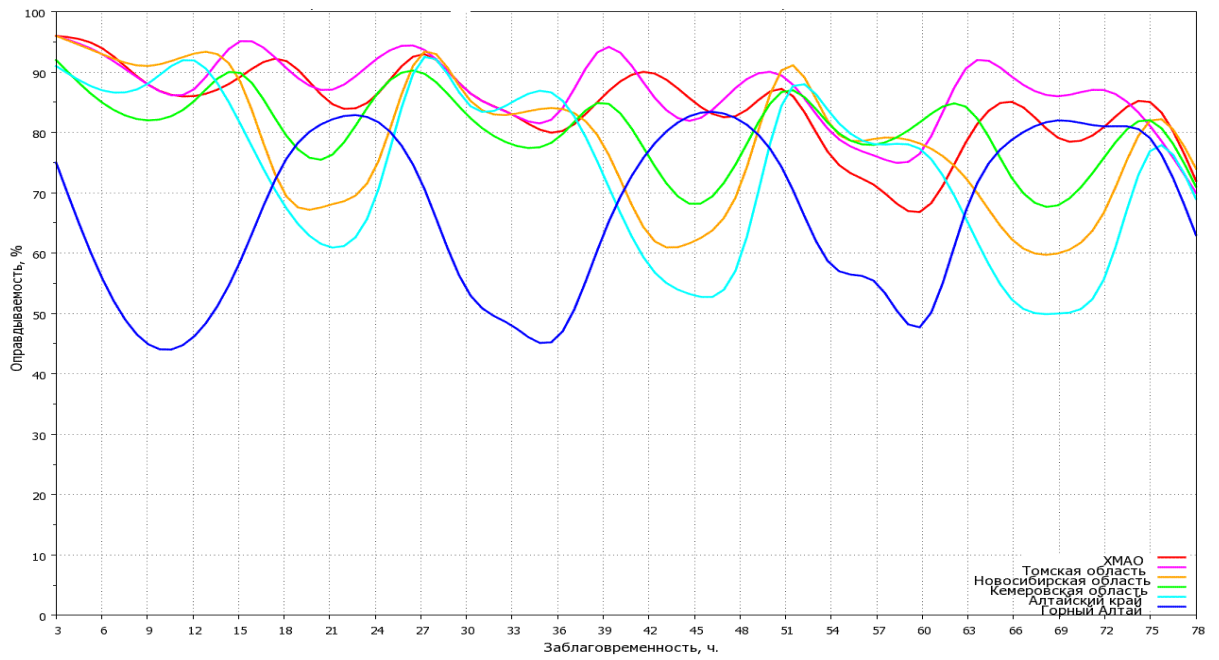


Рисунок 3 – Оправдываемость прогнозов температуры по модели COSMO за июль-август 2011 года

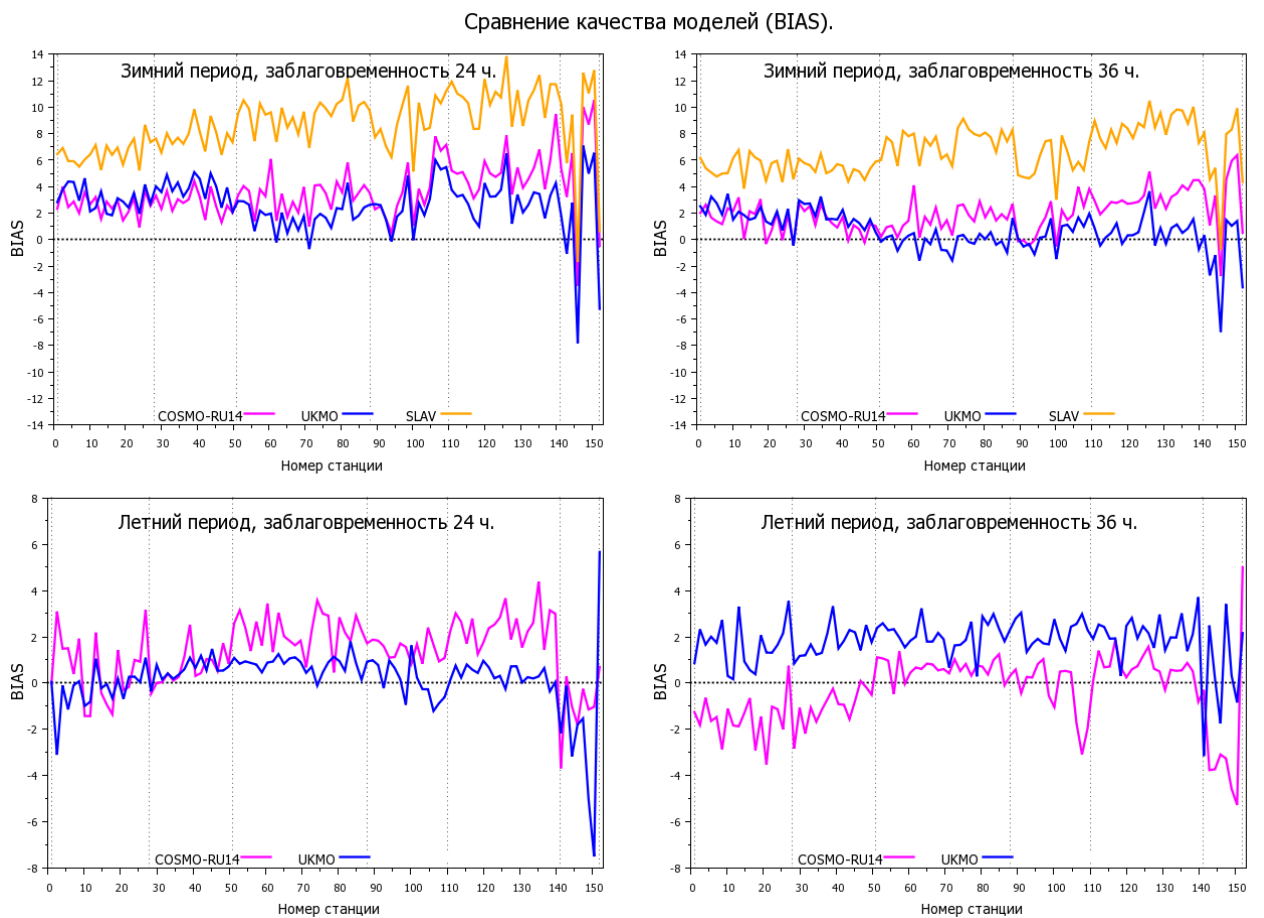


Рисунок 4 – Сравнение систематических ошибок модельных прогнозов температуры воздуха

Сравнение качества моделей (RMSE)

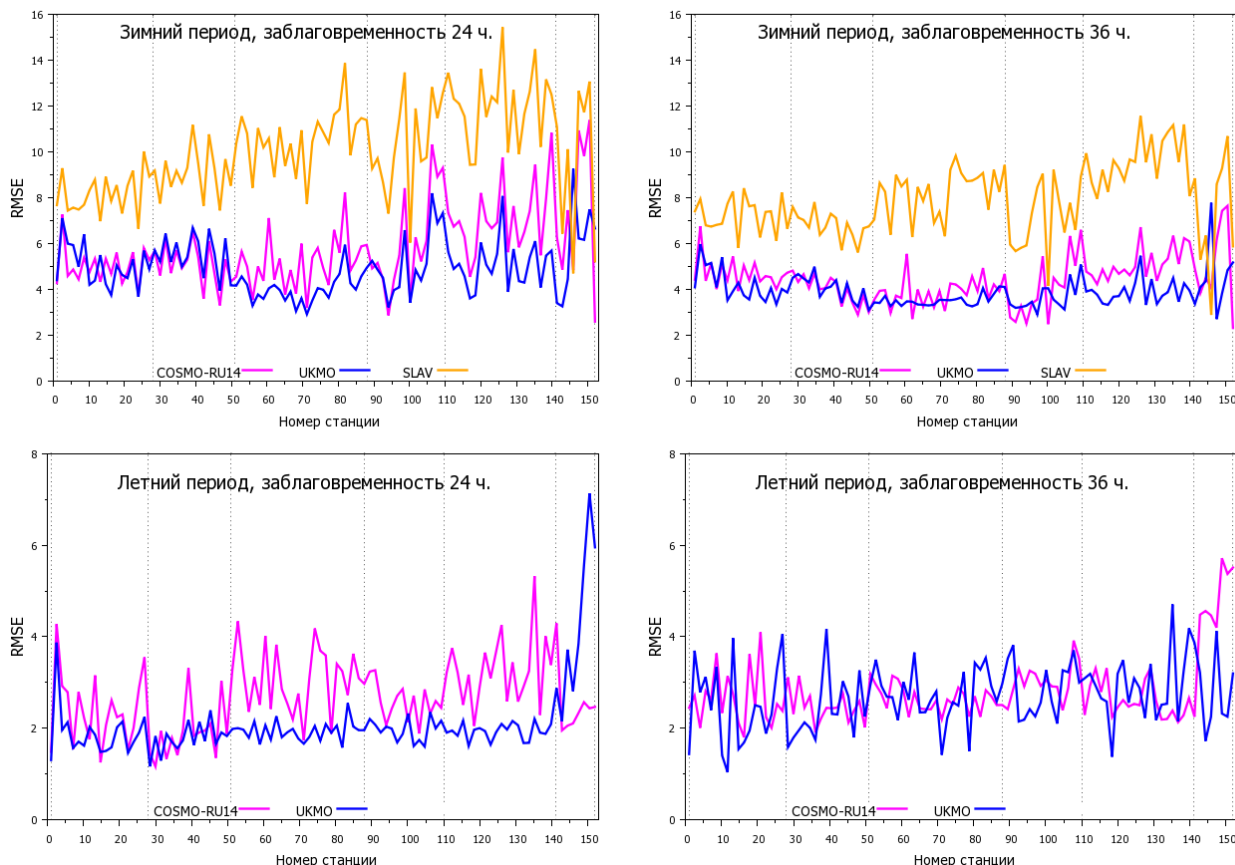


Рисунок 5 – Сравнение среднеквадратических ошибок модельных прогнозов температуры воздуха

Основные выводы по оценкам прогнозов температуры:

- модели имеют систематические ошибки, в летнем периоде они положительные по COSMO на ночные сроки, а по UKMO — на дневные. В зимнее время все модели завышают ночную температуру;
- в зимнем периоде качество прогнозов по моделям UKMO и COSMO сопоставимо, прогнозы по модели SLAV значительно больше завышают температуру;
- ошибки возрастают от теплого периода к холодному;
- по пространству рост ошибок наблюдается от севера к югу, особенно для ночных сроков заблаговременности;
- по периоду расчета систематические ошибки меняются незначительно, небольшой рост от суток к суткам на юге территории, а абсолютные ошибки понижаются.

Дополнительные результаты по качеству прогнозов температуры внутри суток получены по оценкам прогностических тенденций температуры по модели COSMO. Ожидаемые по модели изменения температуры сравнены с фактическими по тем же параметрам оценок, что и для температуры.

Просчитаны оценки трехчасовых изменений (03-00, 06-03, 09-06 и т.д.) и шестичасовых изменений (06-00, 09-03, 12-06 и т.д.) (рисунок 6).

Выводы по оценкам тенденций:

качество прогноза межинтервальных изменений имеет суточный ход, но мало изменяется от суток к суткам в отличие от хода самой прогностической температуры: к 78 часам оправдываемость температуры плавно снижается, оправдываемость трехчасовых изменений остается примерно на уровне первых суток, шестичасовых – уменьшается незначительно;

оправдываемость тенденций выше оправдываемости температуры (в силу меньшей изменчивости);

наиболее низкие оценки прогноза изменений приходятся на 06 ВСВ каждых суток. Второй минимум меньшей амплитуды попадает на 18 ВСВ каждых суток. Максимум точных изменений наблюдается на 12 ВСВ;

по прогностическим изменениям температуры более устойчивое качество на севере территории.

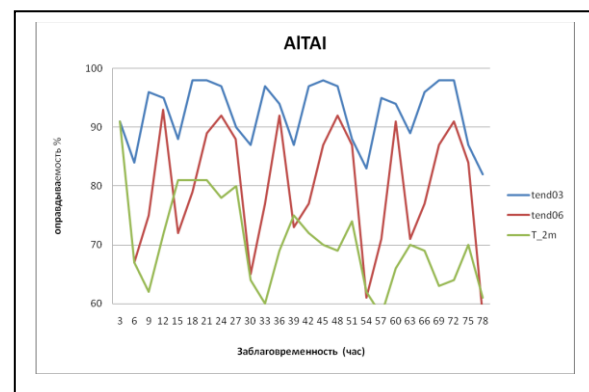
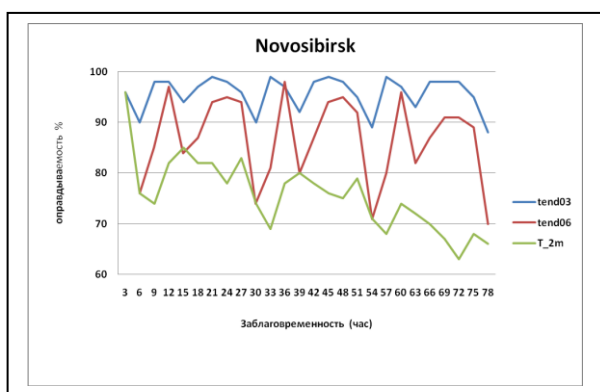
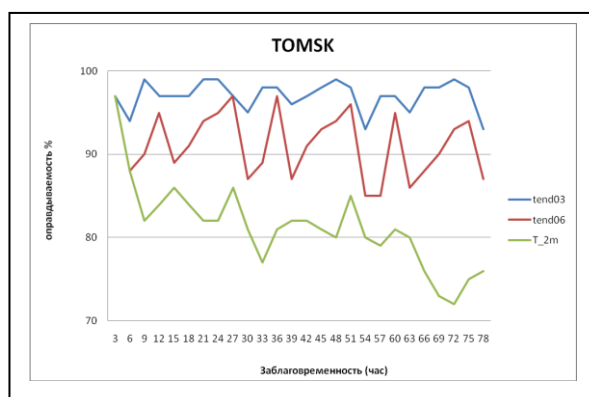
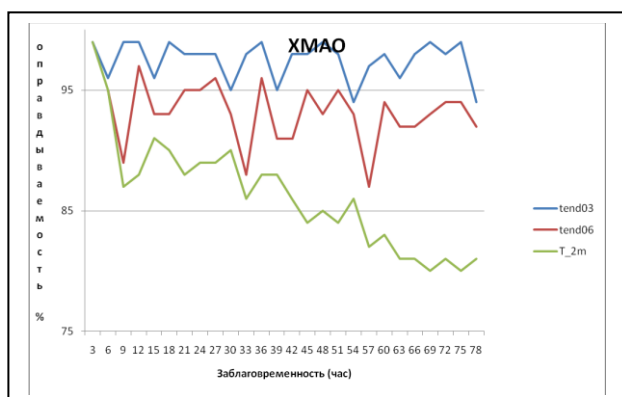


Рисунок 6 – Оправдываемость прогностических тенденций приземной температуры на каждые три (tend03) и шесть часов (tend06) в сравнении с оправдываемостью прогнозов температуры. Модель COSMO. Октябрь 2012г.

2.2 Оценки прогнозов осадков

Получены оценки прогнозов осадков по моделям COSMO и ПЛАВ по месяцам 2012-2013 года по каждой станции региона и в среднем по областям. Отдельно оценена предупреденность и оправдываемость сильных осадков. Примеры результатов по периодам года сведены в таблицы: за зимний - таблицы 2-3, за летний – таблицы 4-5.

В зимнем периоде модель ПЛАВ показала чрезвычайно низкие оценки предупреденности наличия осадков, на севере в ночные сроки практически выпадение осадков не прогнозируется. Соответственно ситуации без осадков почти полностью совпадают, при этом почти в половине из прогнозируемых случаев на севере территории наблюдались осадки: оправдываемость по факту 47-60%. Модель COSMO, напротив, чаще прогнозирует осадки, при этом в 65-70% совпадая с фактом. По удачным прогнозам количества модели поделили территорию: COSMO лучше прогнозирует на севере региона, а ПЛАВ – на Алтайской равнине и в горах, в Новосибирской области оправдываемости существенно не отличаются. Этот вывод подтверждают результаты прогнозов сильных (>6 мм) осадков (таблица 3): единичные прогнозы сильных осадков на юго-востоке региона по модели ПЛАВ практически совпадают с фактом, модель COSMO лучше всего предупреждает о сильных осадках на территории Ханты-Мансийского округа, на остальной территории около 80% составляют «ложные» тревоги. На территории Новосибирской и Томской областей прогнозы «проваливаются» по обеим моделям

Практически противоположная картина в летнем периоде: COSMO чаще прогнозирует без осадков и имеет высокую предупреденность этой категории, ПЛАВ – также удачно попадает в класс «осадки», при этом по обеим моделям предупреденность другого класса на уровне 30-40%. Результаты имеют суточный ход: в ночное время (24, 48, 72 ч) число прогнозируемых случаев с осадками по модели ПЛАВ понижается, по модели COSMO – растет. Можно предположить, что последняя модель хуже «ловит» осадки дневной конвекции. В целом в летнем периоде оправдываемость прогнозов как по факту выпадения осадков, так и по их количеству выше по модели COSMO. Что касается сильных (>15 мм) осадков (таблица 5), модель ПЛАВ предупреждает и оправдывает их лучше в дневные часы (12, 36, 60ч), в ночное время обе оценки как по COSMO, так и по ПЛАВ варьируют на уровне 20-35%. Отметим, что в гористой местности Алтая прогнозы сильных осадков имеют высокую предупреденность по модели ПЛАВ на первые двое суток (в районе 45-55%) при достаточно высоком уровне оправдываемости (40-60%).

Таблица 2 - Оценки прогнозов осадков по моделям COSMO(CO) и ПЛАВ (ПЛ).

Зимний период (февраль - март 2013г.)

Область	Bias		Предупр. наличия(%)		Предупр. отсутст.(%)		Оправдываемость факта (%)		Оправдываемость количества (%)	
	CO	ПЛ	CO	ПЛ	CO	ПЛ	CO	ПЛ	CO	ПЛ
Заблаговременность 12 часов										
XMAO	0.2	-	82	8	69	97	75	55	79	72
TOMSK	0.5	-	82	24	62	95	74	53	71	68
NOVOS	-	-	51	34	79	94	65	65	70	76
KEMER	0.5	-	64	37	66	93	65	60	65	71
ALTAI	-	-	56	53	78	93	70	79	73	81
GORNY	0.6	0.0	63	65	77	76	73	73	77	79
Заблаговременность 24 часа										
XMAO	0.2	-	91	2	62	98	77	52	80	69
TOMSK	0.1	-	89	5	48	95	71	47	70	64
NOVOS	0.2	-	75	17	62	93	67	63	72	77
KEMER	0.1	-	81	23	48	93	65	58	66	68
ALTAI	0.6	-	59	35	69	87	66	72	70	80
GORNY	0.2	-	71	69	62	86	65	81	69	85
Заблаговременность 36 часов										
XMAO	0.3	-	91	7	51	98	70	56	76	73
TOMSK	0.6	-	92	22	44	95	72	53	69	69
NOVOS	0.0	-	68	36	75	89	72	62	74	75
KEMER	0.6	-	80	42	59	82	71	59	67	71
ALTAI	-	-	68	64	76	86	73	79	74	82
GORNY	0.6	0.0	69	67	72	74	71	72	74	79
Заблаговременность 48 часов										
XMAO	0.3	-	91	3	54	99	73	51	78	68
TOMSK	0.3	-	94	6	34	97	66	50	66	65
NOVOS	0.2	-	79	12	58	94	66	62	74	77
KEMER	0.4	-	91	24	40	87	66	55	66	67
ALTAI	0.8	-	71	55	66	85	68	72	70	80
GORNY	0.4	-	63	67	59	82	60	78	64	82
Заблаговременность 60 часов										
XMAO	0.4	-	88	8	54	99	70	55	75	71
TOMSK	0.3	-	92	22	46	95	73	54	72	69
NOVOS	0.1	-	70	30	67	91	68	61	71	74
KEMER	0.7	-	82	33	58	82	72	54	69	69
ALTAI	-	-	72	64	75	84	74	77	74	81
GORNY	1.0	0.0	69	56	66	75	67	69	72	79
Заблаговременность 72 часа										
XMAO	0.5	-	89	1	55	100	72	50	75	68
TOMSK	0.3	-	92	4	31	98	62	51	64	67
NOVOS	0.4	-	83	10	58	97	67	65	74	78
KEMER	0.4	-	85	22	46	87	66	55	65	66
ALTAI	0.4	-	69	41	64	85	66	72	71	78
GORNY	0.2	-	73	53	60	80	64	72	68	78

Таблица 3 - Предупрежденность (П) и оправдываемость (О) прогнозов сильных осадков по моделям COSMO(CO) и ПЛАВ (ПЛ). Зимний период (февраль - март 2013г.)

Область	Nфакт	П (%)		COSMO		ПЛАВ	
		CO	ПЛ	Nпрог	O(%)	Nпрог	O(%)
Заблаговременность 12 часов							
XMAO	9	33	0	14	21	0	-
TOMSK	9	11	0	36	3	0	-
NOVOS	17	0	0	12	0	0	-
KEMER	25	32	8	40	20	5	60
ALTAI	32	0	2	1	0	11	64
GORNY	3	67	25	8	25	6	14
Заблаговременность 24 часа							
XMAO	6	50	0	12	25	0	-
TOMSK	25	0	0	14	0	0	-
NOVOS	16	0	44	14	0	12	0
KEMER	33	24	16	20	40	5	100
ALTAI	21	5	0	38	3	0	-
GORNY	12	17	36	14	14	5	100
Заблаговременность 36 часов							
XMAO	10	50	0	16	31	0	-
TOMSK	9	11	0	43	2	0	-
NOVOS	7	6	0	15	7	0	-
KEMER	25	36	3	48	19	5	100
ALTAI	32	6	26	2	100	14	78
GORNY	4	50	25	12	17	7	17
Заблаговременность 48 часов							
XMAO	6	67	0	22	18	0	-
TOMSK	27	30	0	26	31	0	-
NOVOS	16	13	0	12	17	1	-
KEMER	33	24	3	34	24	1	67
ALTAI	21	5	0	58	2	0	-
GORNY	12	17	17	20	10	2	50
Заблаговременность 60 часов							
XMAO	9	33	0	26	12	0	-
TOMSK	9	11	0	25	4	0	-
NOVOS	17	0	0	27	0	0	-
KEMER	22	55	18	53	23	4	100
ALTAI	33	12	22	17	24	9	78
GORNY	3	67	33	19	11	6	17
Заблаговременность 72 часа							
XMAO	4	25	0	27	4	0	-
TOMSK	23	22	0	25	20	0	-
NOVOS	18	44	0	28	29	0	-
KEMER	33	24	6	34	24	3	67
ALTAI	21	0	0	34	0	16	0
GORNY	12	8	8	10	10	2	50

Таблица 4 - Оценки прогнозов осадков по моделям COSMO(CO) и ПЛАВ (ПЛ).

Летний период (июль - август 2013г.)

Область	Bias		Предупр. наличия(%)		Предупр. отсутст.(%)		Оправдываемость факта (%)		Оправдываемость количества (%)	
	CO	ПЛ	CO	ПЛ	CO	ПЛ	CO	ПЛ	CO	ПЛ
Заблаговременность 12 часов										
XMAO	-	1.0	37	91	91	42	73	59	77	59
TOMSK	-	1.0	46	92	90	45	75	61	77	59
NOVOS	-	1.1	45	94	84	35	68	58	69	51
KEMER	1.6	0.1	40	94	85	36	64	63	64	55
ALTAI	-	1.2	40	95	85	31	67	55	70	48
GORNY	-	1.3	54	99	80	18	65	62	62	49
Заблаговременность 24 часа										
XMAO	-	0.3	57	83	79	44	73	54	77	65
TOMSK	0.3	0.3	63	86	75	51	71	62	73	70
NOVOS	0.0	0.1	69	88	68	42	68	59	68	63
KEMER	0.0	-	74	88	61	39	66	57	63	62
ALTAI	-	0.1	62	90	66	38	64	54	67	60
GORNY	0.0	0.9	80	92	51	24	66	57	63	58
Заблаговременность 36 часов										
XMAO	-	1.1	37	89	90	35	72	54	76	55
TOMSK	-	1.5	44	94	88	37	72	58	74	53
NOVOS	-	1.0	44	97	83	34	67	59	69	51
KEMER	-	0.3	46	94	86	36	66	64	65	54
ALTAI	-	1.6	39	97	82	28	65	53	68	47
GORNY	-	2.5	56	99	75	15	64	60	62	44
Заблаговременность 48 часов										
XMAO	-	0.1	57	80	80	40	74	51	77	64
TOMSK	0.3	0.1	60	84	75	43	70	56	73	65
NOVOS	-	-	63	86	69	46	67	60	68	63
KEMER	0.0	-	70	85	62	42	65	58	65	62
ALTAI	-	0.0	65	86	68	37	67	52	68	60
GORNY	0.3	0.0	84	93	58	24	71	57	64	59
Заблаговременность 60 часов										
XMAO	-	1.1	39	87	89	32	71	52	76	54
TOMSK	-	1.2	45	93	87	38	72	57	73	52
NOVOS	-	0.9	41	95	85	39	67	60	69	53
KEMER	-	0.9	41	96	85	34	64	62	65	50
ALTAI	-	1.8	41	95	86	28	69	51	70	47
GORNY	-	2.0	60	98	80	20	69	61	66	48
Заблаговременность 72 часа										
XMAO	0.0	0.2	57	73	80	44	74	52	77	63
TOMSK	-	0.0	52	78	76	49	69	58	73	67
NOVOS	-	-	59	77	70	50	66	60	67	62
KEMER	-	0.4	65	83	66	44	65	58	66	60
ALTAI	-	0.2	56	84	72	43	67	55	68	60
GORNY	0.4	0.4	77	90	65	35	71	61	62	59

Таблица 5 - Предупрежденность (П) и оправдываемость (О) прогнозов сильных осадков по моделям COSMO(CO) и ПЛАВ (ПЛ). Летний период (июль - август 2013г.)

Область	Nфакт	П (%)		COSMO		ПЛАВ	
		CO	ПЛ	Nпрог	O(%)	Nпрог	O(%)
Заблаговременность 12 часов							
XMAO	83	22	53	49	37	161	25
TOMSK	96	23	51	44	50	138	35
NOVOS	223	17	55	114	33	280	41
KEMER	168	7	30	43	28	84	52
ALTAI	180	18	47	101	32	237	32
GORNY	76	18	52	44	32	106	37
Заблаговременность 24 часа							
XMAO	56	23	34	43	30	47	38
TOMSK	75	35	37	102	25	50	44
NOVOS	195	28	30	189	29	135	38
KEMER	113	27	15	123	25	39	36
ALTAI	153	16	26	100	25	110	30
GORNY	76	34	46	65	40	74	42
Заблаговременность 36 часов							
XMAO	85	24	46	54	37	149	25
TOMSK	100	17	45	58	29	164	27
NOVOS	226	14	41	97	32	248	35
KEMER	169	16	27	65	42	116	35
ALTAI	176	10	36	92	20	193	30
GORNY	81	33	57	58	47	129	32
Заблаговременность 48 часов							
XMAO	56	23	25	58	22	46	30
TOMSK	78	31	21	84	29	48	29
NOVOS	188	26	23	138	36	135	30
KEMER	118	32	22	123	31	64	33
ALTAI	145	12	19	115	15	97	25
GORNY	75	45	41	85	40	55	60
Заблаговременность 60 часов							
XMAO	87	22	33	55	35	145	19
TOMSK	103	16	29	61	26	122	21
NOVOS	219	11	29	73	32	231	25
KEMER	167	14	28	68	35	152	26
ALTAI	175	15	37	94	29	263	22
GORNY	75	25	49	51	37	105	30
Заблаговременность 72 часа							
XMAO	61	26	30	71	23	60	28
TOMSK	75	16	23	65	18	55	27
NOVOS	184	15	18	137	20	114	27
KEMER	109	29	27	113	28	89	28
ALTAI	137	12	16	107	15	104	18
GORNY	72	28	38	88	23	59	44

2.3 Оценки прогнозов ветра

Сравнение оценок прогнозов скорости среднего ветра приведено на рисунках 7-8. Видно, что в летнем периоде прогнозы ПЛАВ в среднем ближе к факту по всей территории, но разница систематической ошибки с COSMO составляет меньше 1 м/с. Зимой возрастает неравномерность распределения ошибок по пространству прогнозов ПЛАВ: в околоторных районах (Новосибирская область, Алтайский край) появляются пики завышения скоростей. В результате прогнозы COSMO для этих районов качественнее (на 5-8%).

Прогнозы сильного (>15 м/с) ветра оценены только по модели COSMO. Результаты для зимнего периода показали очень высокий уровень как предупрежденности, так и оправдываемости на сроки до 60 часов (таблица 6). Лучшие средние оценки для территории Алтайского края – предупрежденность 92-97% при оправдываемости 62-72%. Хуже прогнозировались сильные ветры в Томской области – оправдываемость и предупрежденность 56-77% и на территории Горного Алтая – оправдываемость и предупрежденность на уровне 43-74%. Нужно отметить сопоставимое число фактических и прогностических случаев с наличием явления по всей территории.

В летнем периоде само явление имеет ярко выраженный суточный ход, обусловленный наложением конвективной составляющей в дневное время. Если для ночных сроков модель дает сопоставимое с фактом число случаев с наличием явления, то для дневных сроков возрастает число «ложных» тревог, снижая оправдываемость. Наилучшее соотношение предупреждения и оправдываемости - на территории Алтайского края и Новосибирской области, наихудшее - в Томской области.

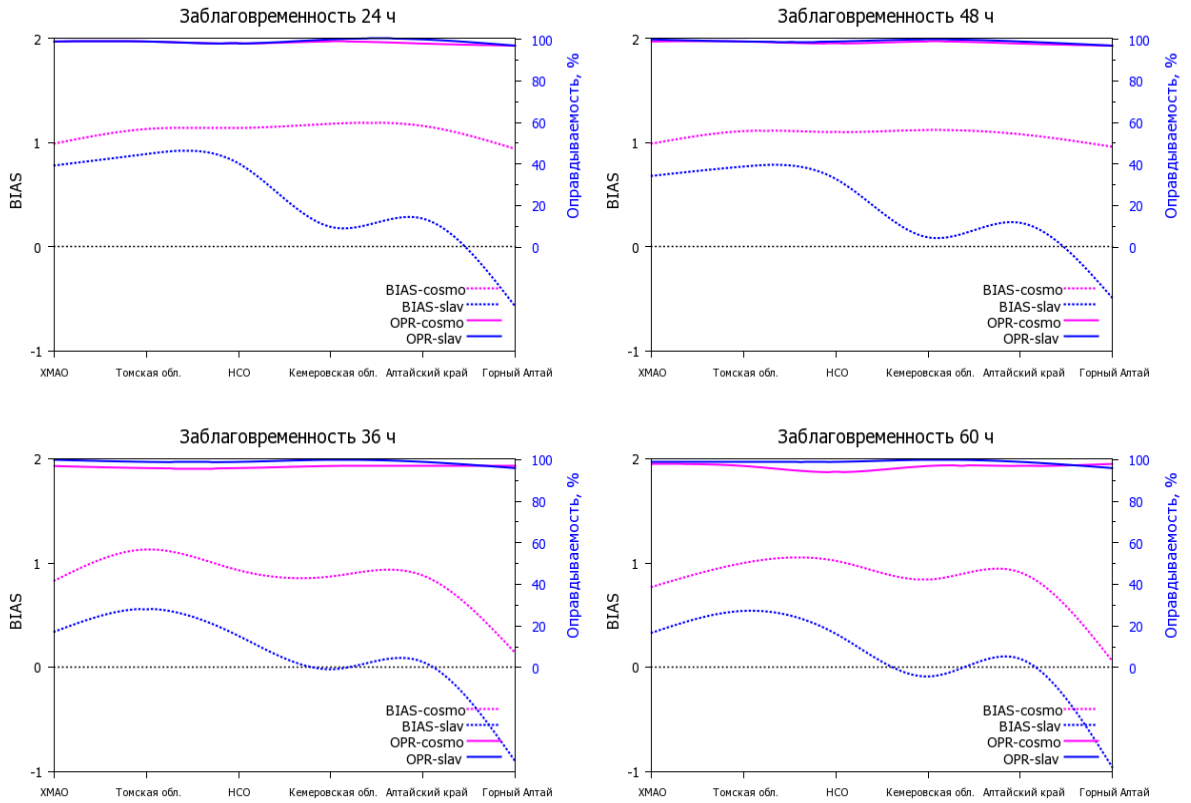


Рисунок 7 – Оценки прогнозов среднего ветра. Летний период (июль-август 2013г.).

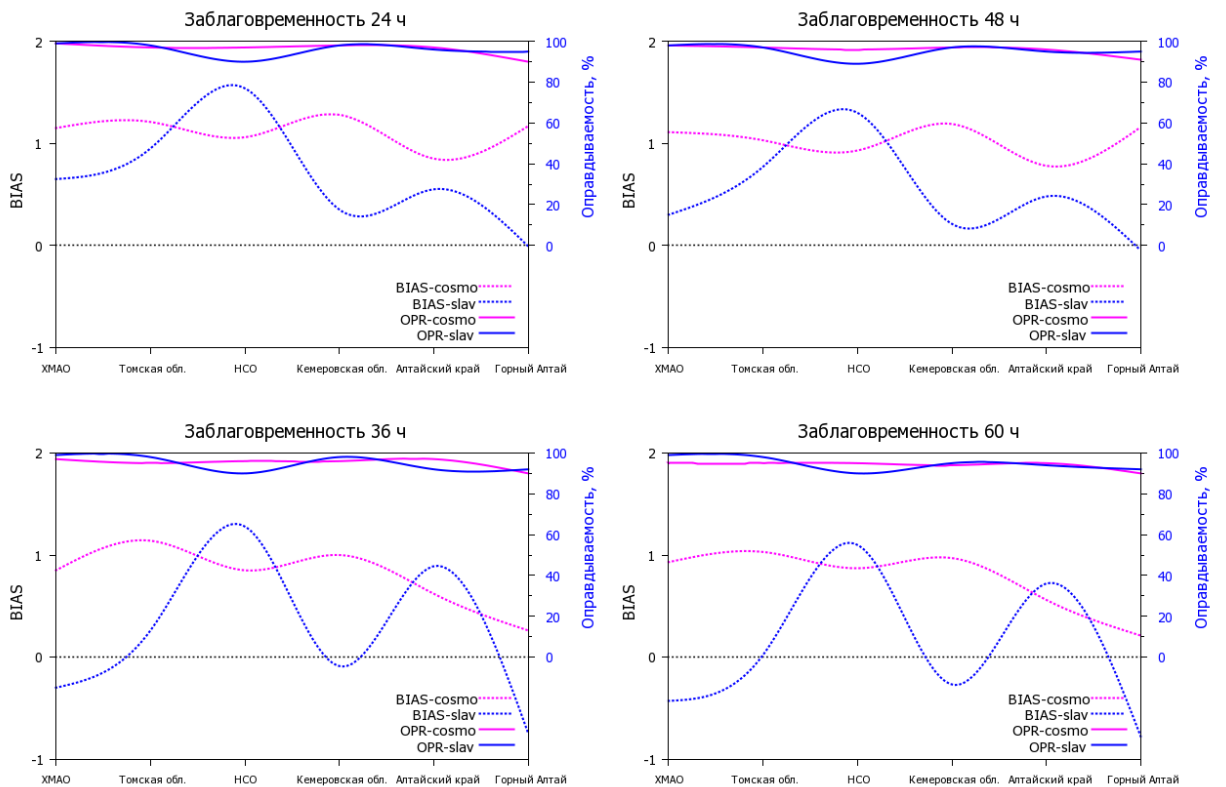


Рисунок 8 – Оценки прогнозов среднего ветра. Зимний период (февраль-март 2013г.).

Таблица 6 - Предупрежденность (П) и оправдываемость (О) прогнозов сильного ветра (>15 м/с) по модели COSMO.

Область	Лето (июль-август 1013)				Зима (февраль-март 2013)			
	Nфакт	П(%)	Nпрог	О(%)	Nфакт	П(%)	Nпрог	Op(%)
Заблаговременность 12 часов								
XMAO	39	59	86	26	39	84	35	94
TOMSK	23	30	47	14	80	80	83	77
NOVOS	72	51	70	52	209	91	216	88
KEMER	43	32	45	31	157	83	145	90
ALTAI	117	70	151	55	190	82	168	92
GORNY	31	29	17	52	40	75	49	61
Заблаговременность 24 часа								
XMAO	16	12	16	12	29	86	34	73
TOMSK	6	0	4	0	39	74	44	65
NOVOS	55	60	41	80	128	73	99	94
KEMER	15	0	0	-	92	85	91	86
ALTAI	66	53	53	66	146	69	101	100
GORNY	13	15	7	28	26	69	39	46
Заблаговременность 36 часов								
XMAO	39	48	74	25	45	86	46	84
TOMSK	23	26	55	10	72	70	70	72
NOVOS	64	46	91	33	162	79	153	83
KEMER	46	39	48	37	135	74	120	83
ALTAI	105	64	161	42	157	72	119	95
GORNY	33	33	26	42	31	74	43	53
Заблаговременность 48 часов								
XMAO	17	23	19	21	33	87	39	74
TOMSK	6	0	3	0	37	59	39	56
NOVOS	33	27	25	36	120	64	86	89
KEMER	15	0	8	0	89	56	59	84
ALTAI	52	46	45	53	153	66	104	97
GORNY	15	26	10	40	24	62	33	45
Заблаговременность 60 часов								
XMAO	33	48	59	27	48	87	55	76
TOMSK	18	5	46	2	64	57	56	66
NOVOS	62	43	134	20	150	60	106	85
KEMER	43	44	58	32	134	65	109	80
ALTAI	83	61	128	39	170	68	131	89
GORNY	33	48	29	55	31	67	39	53
Заблаговременность 72 часа								
XMAO	15	6	10	10	31	74	37	62
TOMSK	6	0	1	0	36	58	29	72
NOVOS	34	11	25	16	111	58	73	89
KEMER	18	33	18	33	88	56	64	78
ALTAI	52	30	26	61	142	47	74	90
GORNY	13	7	8	12	22	45	26	38

3 ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МОДЕЛЬНЫХ ПРОГНОЗОВ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

3.1 Обзор подходов

В мировой практике известны два подхода для обработки модельных выпусков с целью получения или уточнения параметров погоды: PP (Perfect Prognose) и MOS (Model Output Statistics). В первом случае решения, полученные на фактических связях предиктантов и предикторов, переносятся на прогностические значения входящих параметров. Во втором подходе рабочая выборка строится непосредственно на модельных выпусках предикторов [7, 8, 9].

При каждом подходе существует множество вариантов статистической коррекции модельных прогнозов, из которых можно выделить следующие группы:

- варианты по выбору и включению предикторов (схемы с одним или несколькими предикторами);
- варианты по способу формирования рабочих выборок (учет сезонного и суточного хода, с предварительной классификацией погоды или синоптических ситуаций и т. д.);
- варианты по способу построения решений (линейные или нелинейные зависимости, фильтр Калмана и др.).

Приведем лишь некоторые примеры. Вислоки и Фритц, например, подключают к производству автоматизированных краткосрочных прогнозов исходные наблюдения как за предиктантом, так и за предикторами [10]. Целая серия работ посвящена построению нелинейных зависимостей между переменными [11, 12]. В ответ на необходимость построения каждый раз новых уравнений при изменениях в базовых моделях, Вильсон и Вали разработали адаптированную версию MOS, в которой при обучении оптимальным образом сочетаются «новые» и «старые» данные [13]. А Вислоки и Янг добавляют PP как постпроцессинг к MOS [14]. Примеры применения фильтра Калмана и метода аналогов в работе [15].

2.2 Байес-коррекция на базе линейных уравнений

Наличие систематических ошибок, имеющих суточный и зональный ход, особенно заметный в летнем периоде, позволяет применить алгоритм коррекции на базе линейных уравнений, построенных на минимизации ошибки:

$$T_{\text{fact}} = a + bT_{\text{mod}}, \quad 1$$

где T_{fact} и T_{mod} - фактическая и модельная температуры.

Считается, что эффективность MOS интерпретации напрямую связана с величиной рабочей выборки. В нашем случае стабильные расчеты по моделям COSMO и SLAV стартовали во второй половине 2011г. Кроме того, отдельные блоки модели SLAV подвергались оптимизация в ходе наших разработок. В силу этих причин рабочие выборки для подходов интерпретации были ограничены. Циклически заполняемые выборки из 30-40 предшествующих текущему дню пар прогноз-факт позволили провести первые эксперименты. Коэффициенты уравнений рассчитывались для каждой станции и для каждого срока заблаговременности каждый раз на вновь сформированной выборке. Первоначальные расчеты поправок для прогнозов температуры по модели COSMO на материале июнь-август 2011 продемонстрировали эффективность даже такого простого варианта MOS для летних месяцев: арифметические ошибки прогноза приблизились к нулю во всех областях региона и для всего периода заблаговременности, исчезла синусоида в величине оправдываемости с повышением её в ночные сроки (рисунок 9). Особо заметны результаты на территории Алтая. Даже на горных станциях, на которых статистические или физико-статистические объективные прогнозы, как правило, не показывают удовлетворительные результаты, обеспеченность ошибок больше 3°C в дневные сроки уменьшилась на 30-35%, так что оправдываемость прогнозов в сложно-орографическом районе достигла уровня равнинной части - 80-90%.

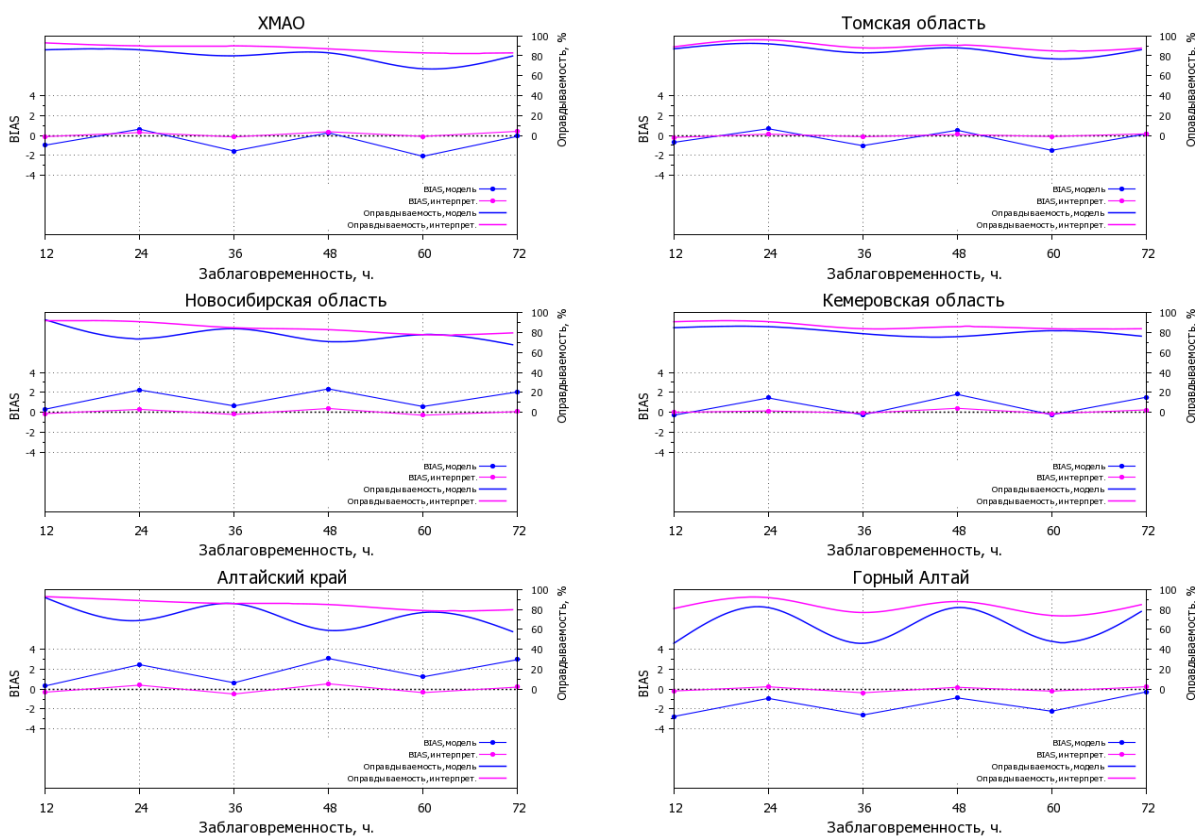


Рисунок 9 – Оправдываемость и систематические ошибки прогнозов температуры по модели COSMO до и после интерпретации (июль-август 2011г).

Поправленные таким же образом прогнозы температуры по модели UKMO показали уменьшение систематических ошибок в ночные сроки в среднем до нуля, в дневные – до +0,5 - +1,8⁰С (рисунок 10). Уменьшились и средне-квадратические ошибки, особенно на 36 ч, оправдываемость соответственно выросла, но если в ночные сроки модель UKMO дает стабильные показатели для всей территории, то на день ошибки возрастают к югу, и в Алтайском крае прогнозы уступают COSMO.

В зимнем периоде возрастают изменчивость температуры и ошибки моделей, поэтому алгоритм MOS изменен на шаге формирования рабочей выборки. К накопленным 30 случаям ноября 2011 ежедневно добавляется последнее модельное поле с пересчетом коэффициентов. Таким образом, схема остается адаптивной, но выборка накапливается. Оценки новых прогнозов на материале декабря 2011 - февраля 2012 показали более существенное повышение качества по всем моделям в ночные сроки (24ч). Систематические ошибки модели UKMO даже поменяли знак. В дневные сроки модель SLAV заметно улучшила показатели на всей территории, модель COSMO – в Алтайском крае. В среднем все модели после интерпретации на 36ч, 60ч показали примерно одинаковый уровень оправдываемости - 60-65% (рисунок 11).

Таким образом, исследованный алгоритм показал высокую эффективность для летнего периода, когда систематические ошибки ярко выражены по времени суток и по пространству. В зимнем периоде, несмотря на сведение к минимуму систематических ошибок и значительное уменьшение абсолютных ошибок в ночные часы, качество прогнозов после интерпретации остается неудовлетворительным для использования результатов в оперативной работе синоптиков. Следующий этап разработки посвящен исследованию классификации исходных выборок.

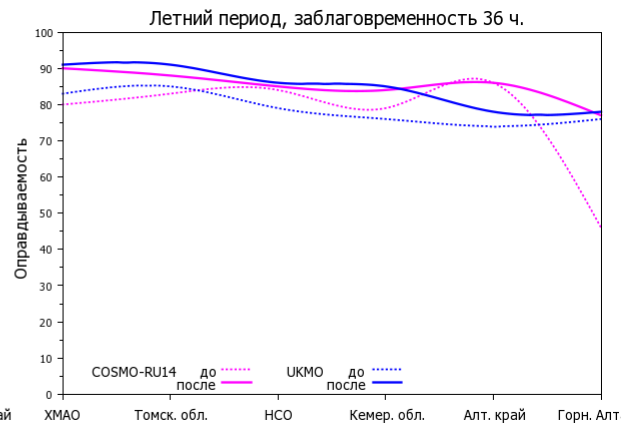
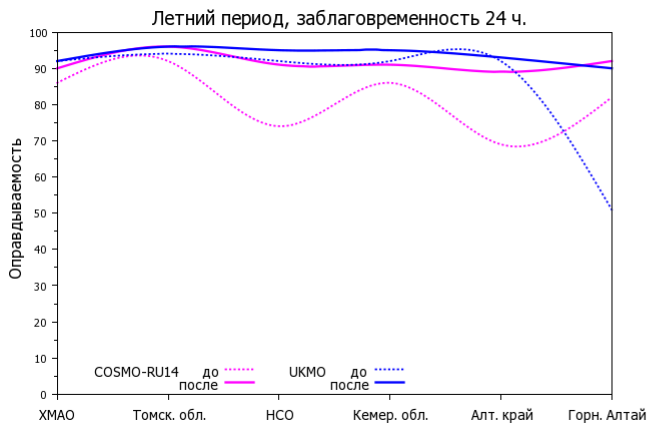
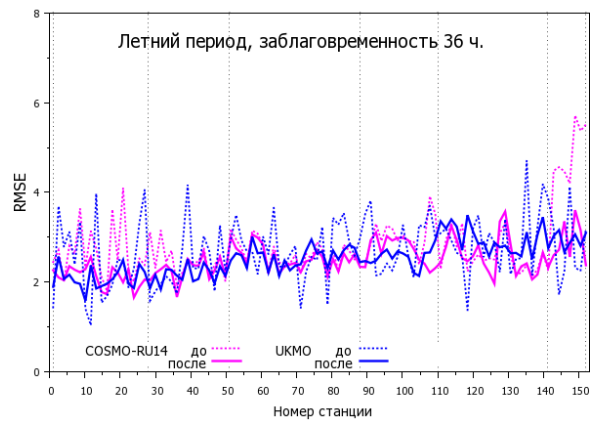
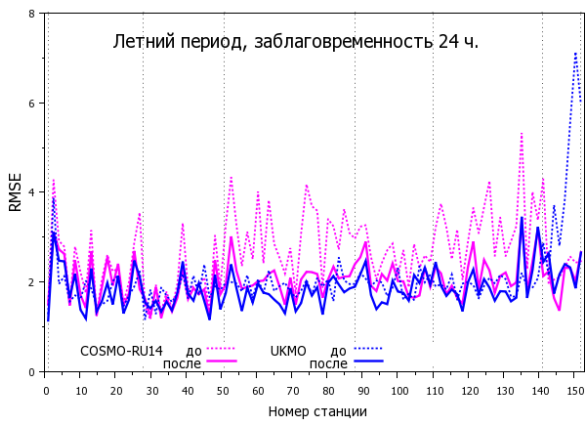
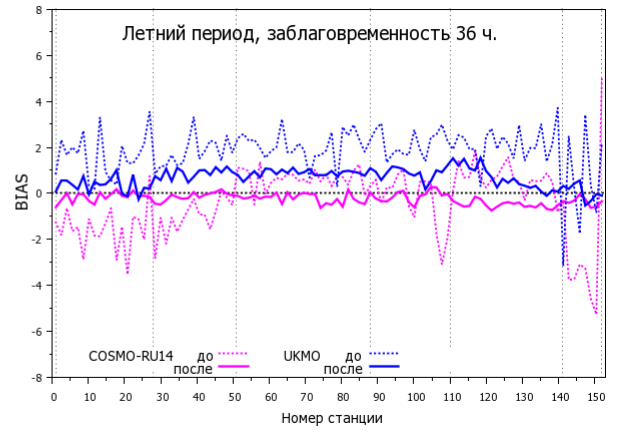
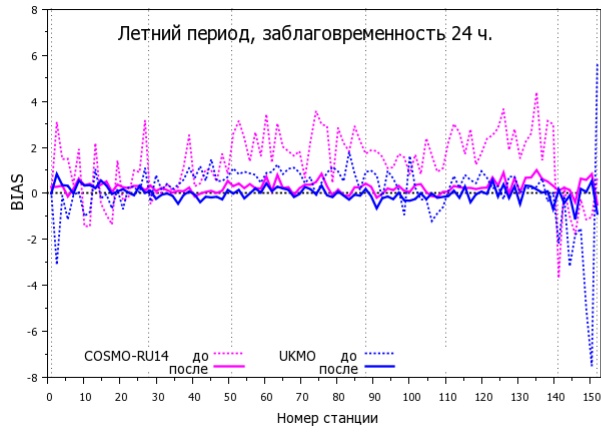


Рисунок 10 – Сравнение изменения качества моделей COSMO и UKMO после MOS-интерпретации в летнем периоде (июль-август 2011г)

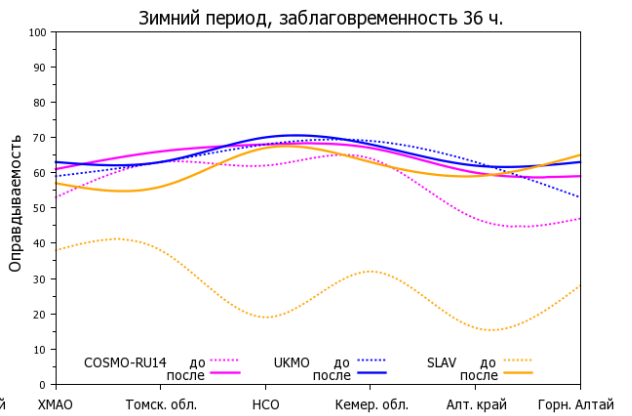
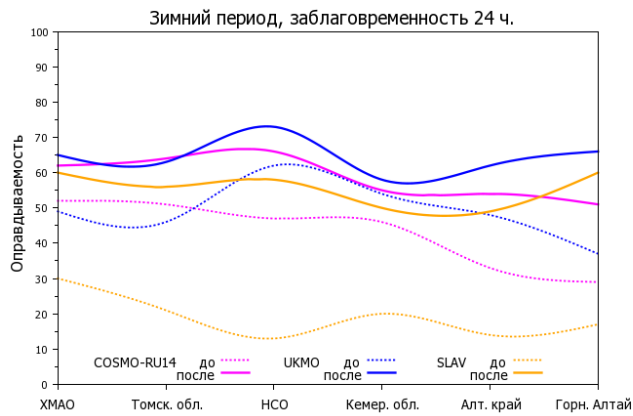
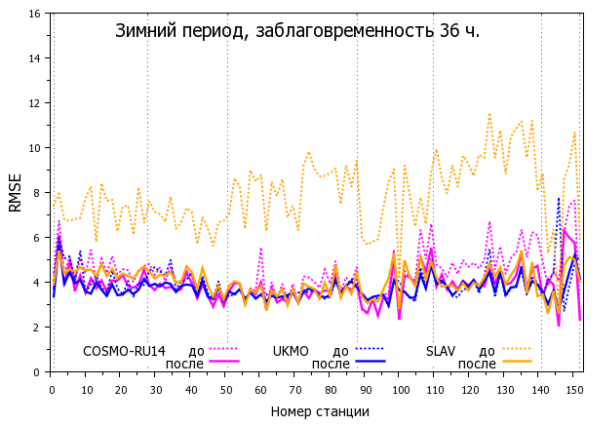
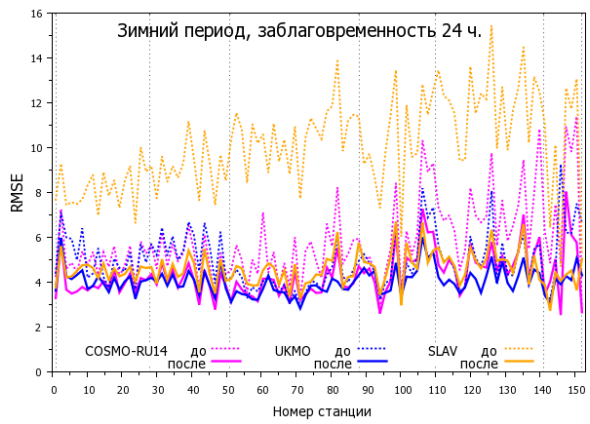
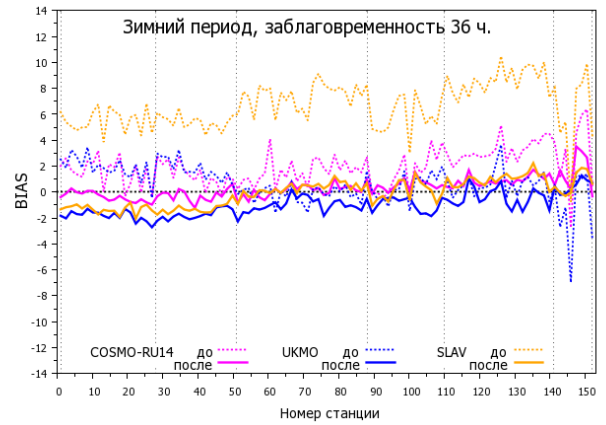
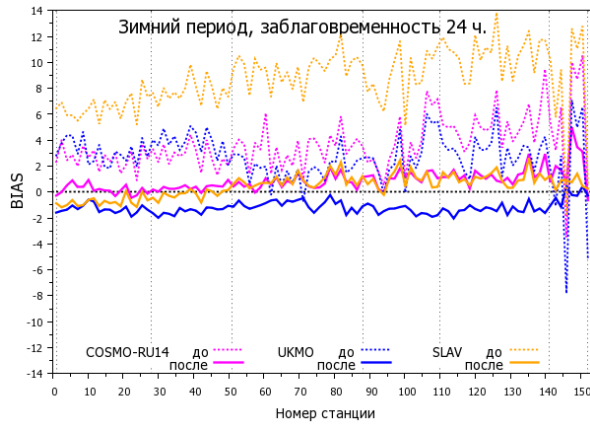


Рисунок 11 – Сравнение изменения качества моделей COSMO, UKMO и SLAV после MOS-интерпретации в зимнем периоде (декабрь 2011 - февраль 2012)

3.3 ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРОГНОЗОВ С УЧЕТОМ КЛАССИФИКАЦИИ СИНОПТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ

3.3.1 Выбор подхода к классификации

Изменчивость предиктанта является определяющим фактором эффективности коррекции прогнозов по уравнениям регрессионного типа, поэтому проблема формирования рабочих выборок по возможности с однородными изменениями предиктанта решается в первую очередь. Как правило, в метеорологических задачах классификация рядов данных имеет несколько уровней. Прежде всего, исключаются изменения, связанные с солнечными циклами годового и суточного разрешения путем формирования выборок за определенные климатические периоды и определенное время суток [16-18]. Но для многих метеорологических параметров этого недостаточно. Характер погоды у земли, связанный с динамикой воздушных масс синоптического масштаба, описан еще в прошлом веке в типизациях Вангенгейма, Гирса, Каца и других [19]. Автоматизация прогностических методов потребовала алгоритмы объективной классификации. Базовые алгоритмы объективной классификации, основаны преимущественно на анализе критерия Махаланобиса [20, 21]. Эффективность его применения исследовалась в разных научных центрах путем изменения набора входных параметров, ограничения территории и трехмерного пространства, способа представления исходных данных (коэффициенты разложения по естественным ортогональным составляющим или непосредственные данные), подбора порогов отсека аналогичных ситуаций и др. На базе критерия Махаланобиса Европейское сообщество по науке и технологиям (Cost733, Агсбург) разработало методический подход и программное обеспечение для классификации типов циркуляции для Европейских регионов [22].

Сейчас в задачах интерпретации модельных прогнозов нельзя рассчитывать на накопление больших архивов, поскольку идет непрерывный процесс совершенствования модельных блоков, а значит периодически нарушается однородность выборки исходных данных. В нашем случае расчетные поля модели COSMO накапливаются с июня, а модели SLAV с ноября 2011 года. Необходим алгоритм репрезентативной классификации для малых рядов. В последние годы успешно применяется метод DW – автоматизированного распознавания образов заданных классов (А и В) с их начальными относительными вероятностями по заложенным признакам [23, 24]. Объективный алгоритм DW работает с исходным набором признаков-предсказателей. На каждом шаге перебора всех значений всех признаков подвыборка N_a+N_b с помощью подобранного критерия оптимального разделения

условных вероятностей делится на две новые: $N_{a1}+N_{b1}$ и $N_{a2}+N_{b2}$ со своими вероятностями классов. Выбор критерия сбалансированного разделения ветвей дерева логических решающих правил является ключевым моментом алгоритма. В нашем случае использована модификация критерия, полученная в предыдущих разработках СибНИГМИ [25]. Опыт показывает, что алгоритм DW работает в случаях разбалансированных по классам выборок, вытаскивая для редких событий экстремальные значения параметров-предсказателей. Решено попробовать применить его для нашей задачи классификации.

3.3.2 Исходные параметры для DW

На первом этапе исследователь формирует исходную выборку, в которой с одной стороны заданный параметр-предиктант, разделенный на классы, а с другой – соответствующие параметры-признаки.

Выбор параметров-предикторов - ответственный момент в разработке. В нашем случае они должны удовлетворять нескольким условиям:

- наличие их в прогностической модельной продукции;
- наличие физической связи с предиктантом;
- при ограниченном списке по максимуму отражать динамику процессов синоптического масштаба.

Из синоптической метеорологии известно, что основными формирующими погоду признаками являются направление воздушного потока в средней тропосфере, градиенты потоков у земли и на высоте, типы барических образований, фронтальные разделы. В нашем исследовании все параметры получены на базе выходной продукции глобальных моделей ЕСМФ и УКМО, наиболее проверенных по качеству и имеющихся в накопительных архивах института. Список исходных параметров составлен исходя из наличия модельных данных с учетом основных положений синоптической метеорологии и предыдущих исследований информативности предикторов (таблица 7).

Таблица 7 – Исходные параметры-предсказатели

Номер параметра	Обозначение параметра	Параметр (единицы измерения)
1	gH_{500}	модуль горизонтального градиента геопотенциала на уровне АТ500 (Дам/100км)
2	gT_{850}	модуль горизонтального градиента температуры на уровне АТ850 ($^{\circ}C/100км$)
3	gT_{700}	модуль горизонтального градиента температуры на уровне АТ700 ($^{\circ}C/100км$)
4	gP_0	модуль горизонтального градиента давления на уровне моря (гПа/100км)
5	H_{500}	значение геопотенциала АТ500 в центре сектора (Дам)
6	P_0	значение давления на уровне моря в центре сектора (гПа)
7	T_{850}	значение температуры на АТ850 в центре сектора ($^{\circ}C$)
8	R_{700}	относительная влажность на АТ700 в центре сектора (%)
9	δH_{12-0}	изменение за 12 ч геопотенциала АТ500 (Дам)
10	δP_{12-0}	изменение за 12 ч давления на уровне моря (гПа)
11	δT_{12-0}	изменение за 12 ч температуры на АТ850 ($^{\circ}C$)
12	δH_{5-7}	толщина слоя АТ500-АТ700 (Дам)
13	δH_{5-8}	толщина слоя АТ500-АТ850 (Дам)
14	δT_{0-7}	разность температур на границах слоя земля-АТ700 ($^{\circ}C$)
15	δT_{0-8}	разность температур на границах слоя земля-АТ850 ($^{\circ}C$)
16	δT_{8-7}	разность температур на границах слоя АТ850 –АТ700 ($^{\circ}C$)
17	u	зональная составляющая скорости ветра на уровне 10 м (м/с)
18	v	меридиональная составляющая скорости ветра на уровне 10м (м/с)
19	FF	модуль скорости ветра на уровне 10 м (м/с)
20	A_8	модуль адвекции температуры на АТ850 (гПа* $^{\circ}C/100км$)
21	A_7	модуль адвекции температуры на АТ700 (гПа* $^{\circ}C/100км$)
22	D_8	угол направления адвекции температуры на АТ850 ($^{\circ}$)
23	D_7	угол направления адвекции температуры на АТ700 ($^{\circ}$)
24	$Rumb_5$	угол направления потока на АТ500 (румб)
25	ΔH_{500}	лапласиан геопотенциала на уровне АТ500 (Дам/100км)
26	ΔT_{850}	лапласиан температуры на уровне АТ850 ($^{\circ}C/100км$)
27	ΔT_{700}	лапласиан температуры на уровне АТ700 ($^{\circ}C/100км$)
28	ΔP_0	лапласиан давления на уровне моря (гПа/100км)

Ниже приведены формулы для расчетных параметров.

Модуль горизонтального градиента (gH) рассчитывается по формуле:

$$|\nabla H| = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)^2} \quad 2$$

Или, согласно обозначениям в таблице 7, в параметрическом виде:

$$|\nabla H| = k \sqrt{\left(\frac{H(i+2, j) - H(i, j)}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{H(i, j+2) - H(i, j)}{r_2}\right)^2} \quad 3$$

где: k – коэффициент форматирования, r_1, r_2 – расстояния между соответствующими точками

Расстояние между двумя точками $P_1 \varphi_1, \theta_1$ и $P_2 \varphi_2, \theta_2$ вычисляется как:

$$r = \rho \arccos\left(\frac{1}{2}(\cos(\theta_1 - \theta_2) - \cos(\theta_1 + \theta_2) + \cos(\theta_1 - \theta_2) \cos(\theta_1 + \theta_2) \cos(\varphi_1 - \varphi_2))\right) \quad 4$$

где: ρ – радиус Земли, φ_i – долгота, θ_i – широта.

Лапласиан ΔH определяется по формуле:

$$\Delta H = \nabla^2 H = \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} \quad 5$$

Угол направления воздушного потока в средней тропосфере вычисляется по формуле:

$$\alpha_H = \arctan\left(-\frac{\partial H}{\partial y}, -\frac{\partial H}{\partial x}\right) / rad \quad 6$$

и переводится в номер 45-градусного румба.

Адвекция температуры определяется по градиентам на соответствующем уровне как:

$$A = \left(\frac{\partial H}{\partial y} * \frac{\partial T}{\partial x}\right) - \left(\frac{\partial H}{\partial x} * \frac{\partial T}{\partial y}\right) \quad 7$$

и имеет знак.

Угол направления адвекции температуры определяется как разность между углом направления градиента геопотенциала (α_H) и углом направления градиента температуры.

Соответственно масштабам синоптических образований, определены сектора расчета в размере 10° по долготе и 5° по широте. Всего на исследуемой территории выделено 9 секторов (рисунок 12). Все вышеперечисленные параметры рассчитывались для центров указанных секторов.

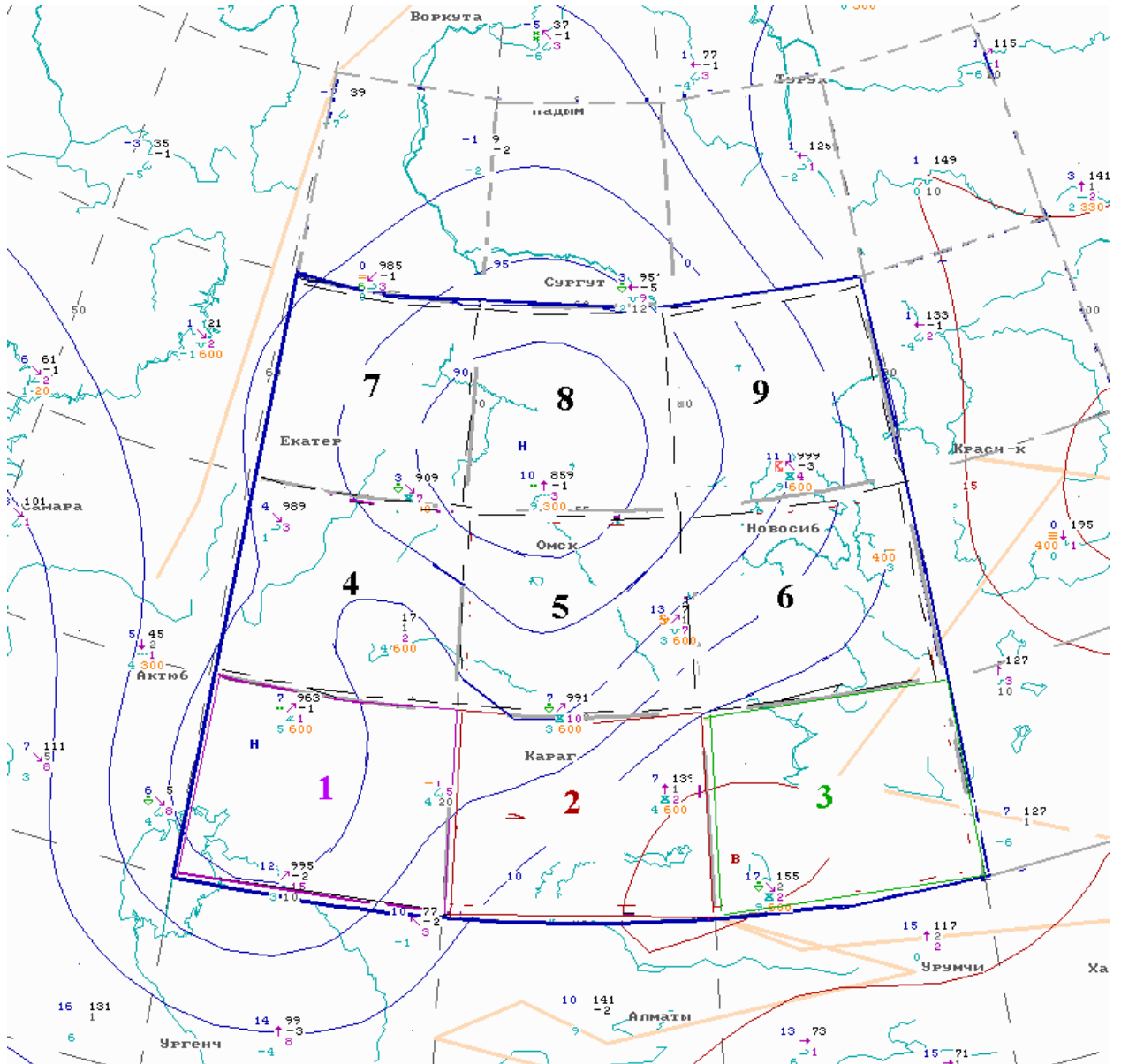


Рисунок 12– Сектора для расчетов параметров-признаков

3.3.3 DW-решения

Исходная выборка включила 15 зимних месяцев 2008-2011 гг по каждой станции региона отдельно для максимальной и минимальной температур воздуха.

Исходные классы выделены по резким изменениям температуры, выраженным в суточной разнице:

- 1 класс $\delta T_{24} > +6^{\circ}\text{C}$ - потепление
- 2 класс $\delta T_{24} < -6^{\circ}\text{C}$ - похолодание
- 3 класс $|\delta T_{24}| \leq 6^{\circ}\text{C}$ - инерция.

На базе исходных признаков, применяя алгоритм распознавания, для каждой станции и каждого предиктанта получена пара DW-деревьев: для разделения 1 и 3 классов (потепления) и 2-3 классов (похолодания). Пример полученного дерева решений приведен на рисунке 13.

Дальнейшая цель заключается в разделении выборки на температурные классы и получении линейных уравнений коррекции для каждого класса. При этом возможны два варианта: 1) исходные выборки по классам формируются по фактическим изменениям температуры, а распознавания по DW применяются только при прогнозе: 2) исходные выборки и распознавания при прогнозе производятся по DW-решениям. Нами выбран второй, поскольку в этом случае ошибки деления учитываются на этапе формирования выборок для регрессии.

В результате выполненной работы подготовлено программное обеспечение для описанного алгоритма. Для проведения расчетных экспериментов требуются дополнительные архивы модельных выпусков, поскольку выпуски COSMO и SLAV имеются только за один зимний сезон, случаев для вычислений коэффициентов уравнений регрессии по классам недостаточно.

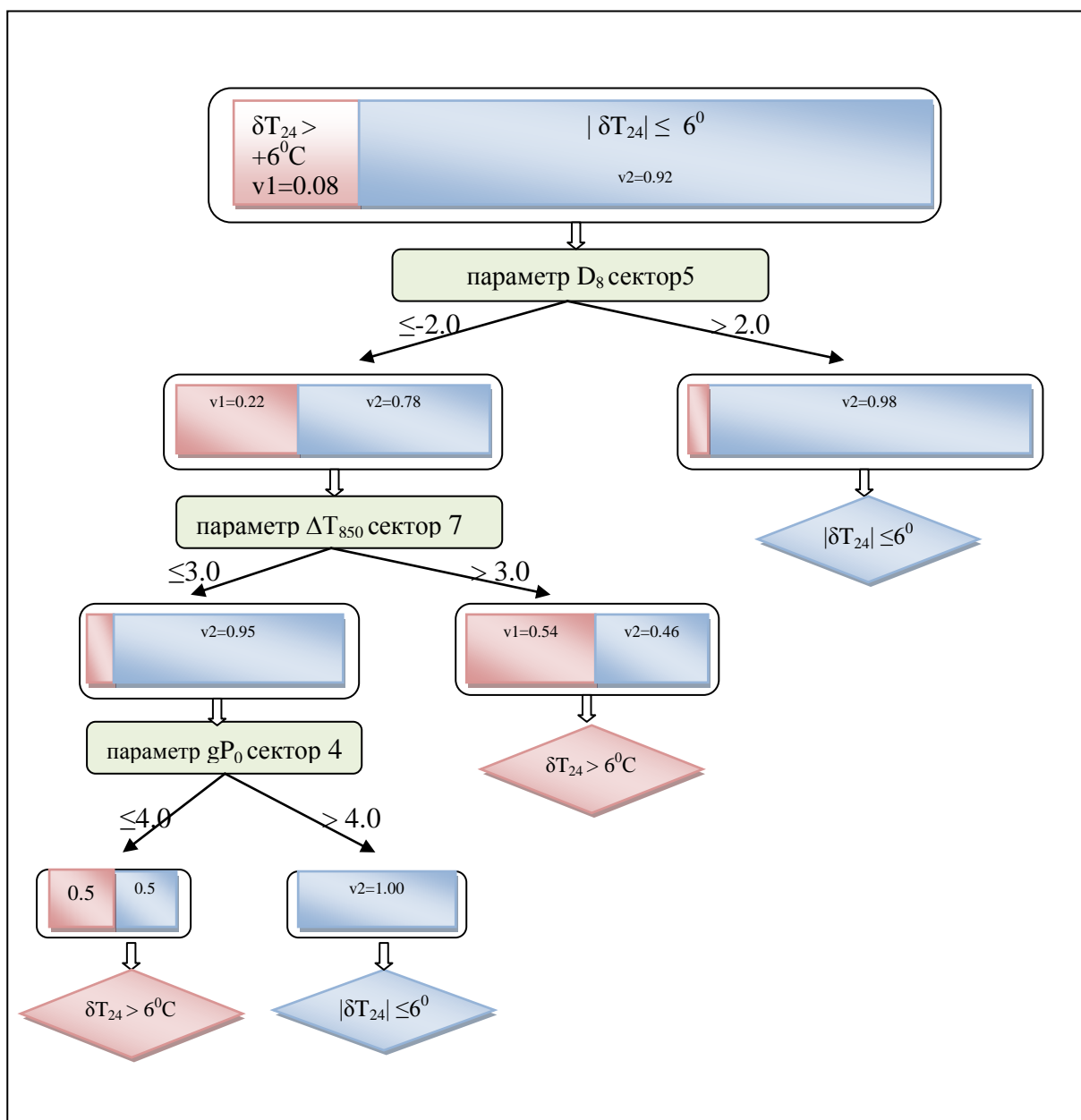


Рисунок 13 – Пример дерева DW-решений. Разделение класса зимнего потепления от инерционного класса. Метеостанция Кондинское Ханты-Мансийского округа.

V1, V2 - вероятности классов на каждой ветке.

3.4 Эксперименты интерпретации модельных прогнозов температуры с различными предикторами

Задача: оценить изменение результатов интерпретации при добавлении в рабочую выборку различных параметров - предикторов.

Исходный список предикторов сформирован из анализа DW-решений: попадание параметров в ветки деления суточных изменений температуры на классы (похолоданий, потеплений, инерции) отражает их информативность.

Для построения корректирующих модельный прогноз регрессионных уравнений были использованы следующие варианты исходных параметров правой части:

$$T_{\text{mod}}$$

$T_{\text{mod}} + T_{i-24}$, где T_{i-24} – исходная температура, при этом при прогнозе на 12 и 24 ч – фактическая, на дальнейшие сроки – откорректированная прогностическая на предыдущие сутки

$$T_{\text{mod}} + R_{700}$$

$$T_{\text{mod}} + A_{700}$$

$$T_{\text{mod}} + A_{850}$$

$$T_{\text{mod}} + \delta P_{12-0}$$

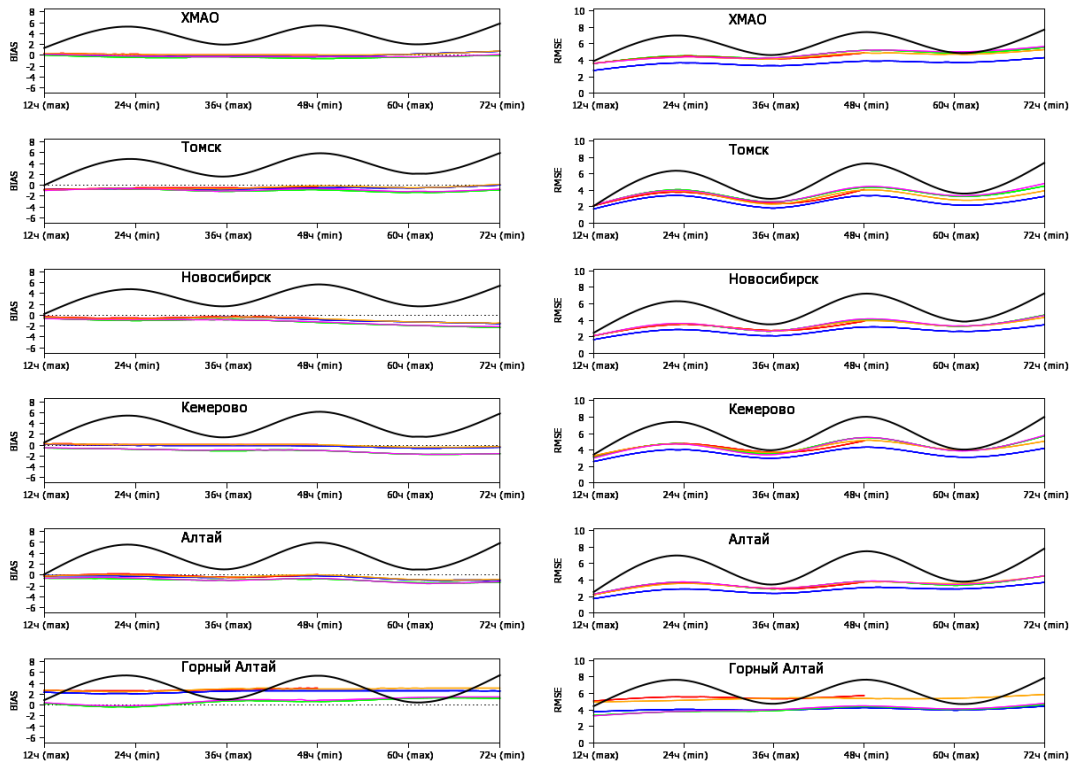
$$T_{\text{mod}} + T_{i-24} + \delta P_{12-0}$$

Для повышения устойчивости уравнений алгоритм построения рабочей выборки был изменен на накопительный, то есть с добавлением текущих данных к первоначальной выборке из 40 случаев в течение всего зимнего периода. Сравнение результатов коррекции производилось по осредненным оценкам за каждый зимний месяц (декабрь 2012г. – март 2013г.) и по административным территориям (рисунки 14а, 14б).

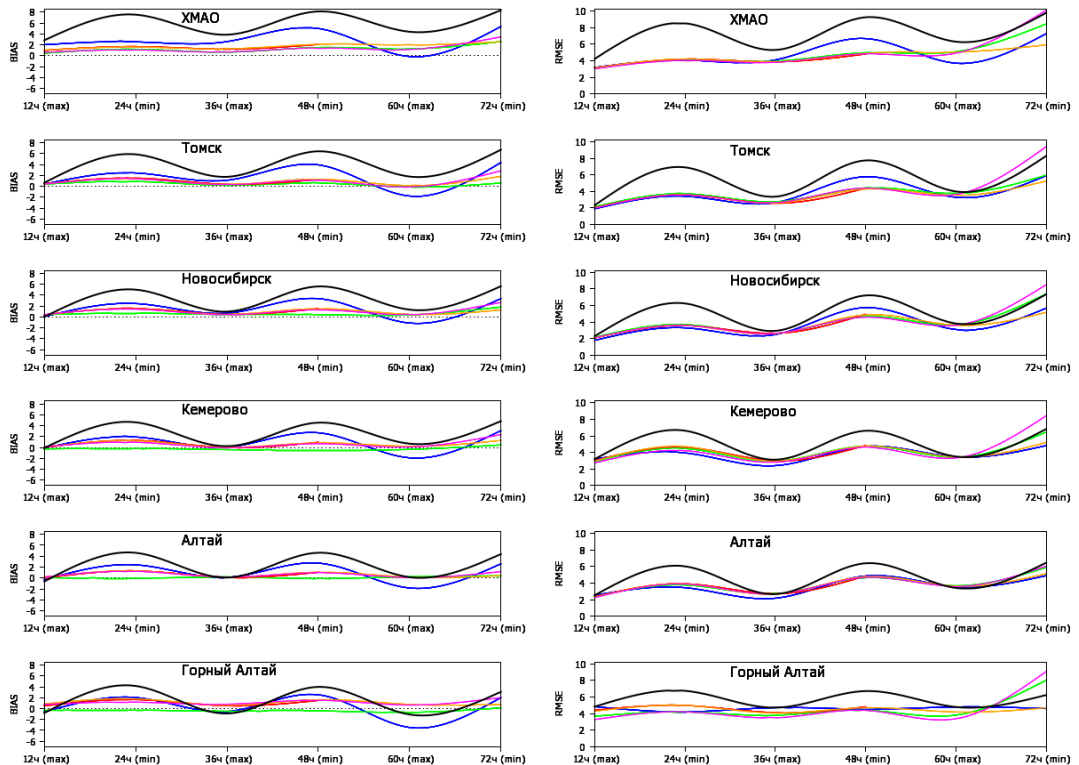
Использование исходной температуры вносит отрицательный вклад при резких изменениях температуры воздуха. Тем не менее, добавление данного параметра (вариант 2) существенно улучшило прогнозы на первые 36 часов заблаговременности, когда данный параметр равен или близок к фактически наблюдаемому. Максимальный эффект получен для марта месяца, когда эффект прослеживается до 60 часов, по-видимому из-за удачных прогнозов на предыдущие сроки.

Наряду с исходной температурой наиболее устойчивым преимуществом преобладал вариант добавления полусуточного изменения приземного давления с учетом знака. Добавление параметров адвекции (варианты 4-5) максимально улучшило прогнозы в декабре. В остальные месяцы показатели успешности прогнозов в разных вариантах менялись несущественно с неустойчивым доминированием того или иного предиктора.

Декабрь 2012г.



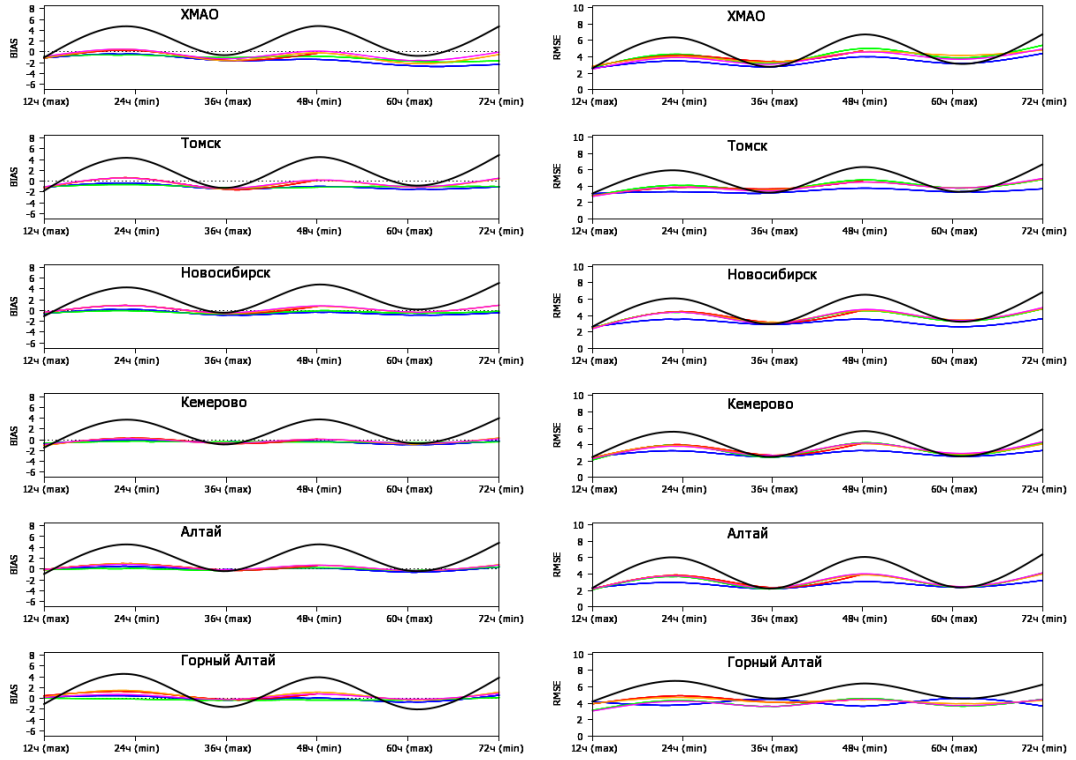
Январь 2013г.



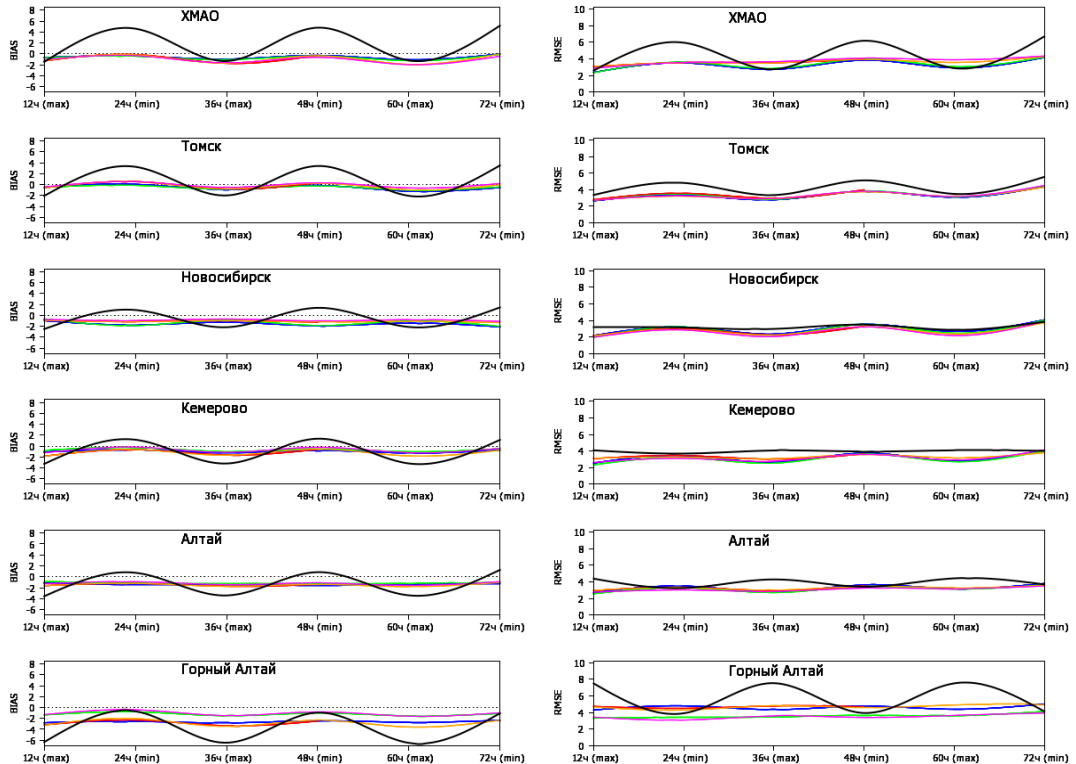
модель — вариант 1 — вариант 2 — вариант 5 — вариант 6 — вариант 7 —

Рисунок 14а – Средние по областям систематические (BIAS) и среднеквадратические (RMSE) ошибки модельных и вариантов коррекции прогнозов экстремальной температуры в зимнем периоде (декабрь, январь).

Февраль 2013г.



Март 2013г.



модель — вариант 1 — вариант 2 — вариант 5 — вариант 6 — вариант 7 —

Рисунок 146 – Средние по областям систематические (BIAS) и среднеквадратические (RMSE) ошибки модельных и вариантов коррекции прогнозов экстремальной температуры в зимнем периоде (февраль, март).

Итоговый результат:

на сроки 12, 24, 36 часов эффективнее использовать дополнительно к модельной температуре исходную температуру и ожидаемое изменение приземного давления за 12 часов, на сроки 48-60 часов – только изменение давления. Исключение составляют горные районы, где по понятным физическим причинам приземное давление не используется.

4 КОМПЛЕКСАЦИЯ ПРОГНОЗОВ

4.1 Комплексация прогнозов температуры

Комплексации подвергаются результаты интерпретации по каждой из трех моделей: COSMO, UKMO, ПЛАВ. Блок-схема комплексации прогнозов представлена на рисунке 15.

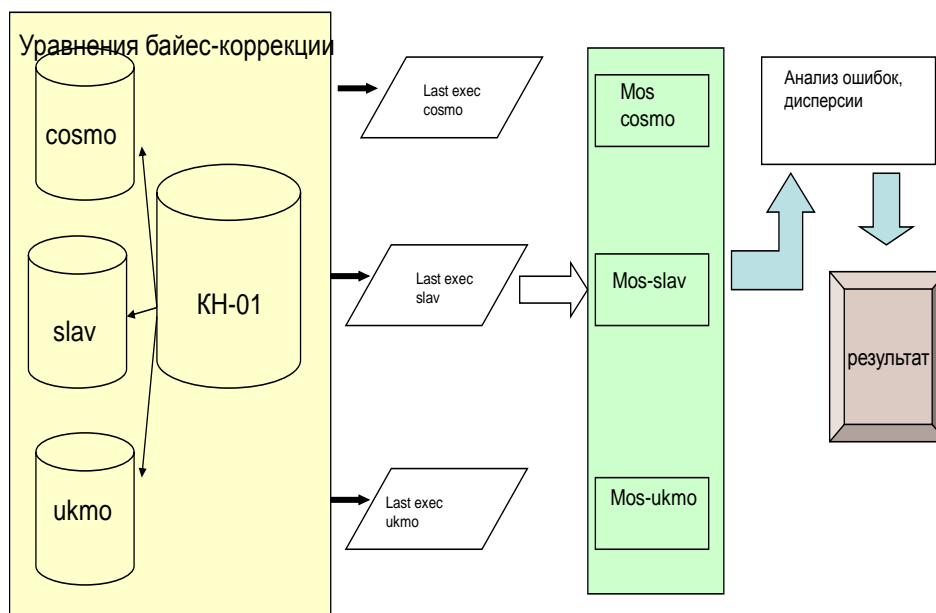


Рисунок 15 – Блок-схема комплексации прогнозов по моделям

Основные расчетные блоки:

1. Расчет дисперсии MOS-результатов по трем моделям;
2. Если дисперсия ошибок больше 3,5 градуса, то из комплексации исключается модель с максимальной среднеквадратической ошибкой на рабочей выборке;
3. Определяется весовой коэффициент каждой модели, обратный абсолютной ошибке;
4. Окончательный результат - взвешенное среднее с учетом пункта 2.

Для прогноза экстремальной температуры из модельных выпусков срочных данных приземной температуры вычисляются полусуточные экстремумы. К ним применяется тот же алгоритм коррекции и комплексации, что и к срочной температуре.

В ходе исследования проверялись следующие варианты комплексации:

- а) для минимальной температуры – выбирать минимальное значение из MOS-модельных соответствующих сроков, для максимальной - максимальное;
- б) взвешенное среднее из 3-х MOS-модельных;
- в) взвешенное среднее из двух моделей с исключением ПЛАВ;
- г) взвешенное среднее из двух моделей с исключением MOS-УКМО, поскольку принимаемый прогноз имеет шаг 12 часов по времени и соответственно не содержит полусуточных экстремумов.

Все варианты показали неустойчивые вариации преимуществ по срокам и по территории, не подтверждающиеся от месяца к месяцу. В итоге остается вариант б) с учетом исключения наиболее низкокачественной модели по оценкам в текущей выборке.

Изменение качества прогнозов приземной температуры воздуха после комплексации представлено на рисунках 16 - 17. В летнем периоде (рисунок 16) значительно повышается оправдываемость прогнозов в ночные сроки, на территории Новосибирской области и Алтайского края более чем на 20%. Наименьшие изменения происходят на севере региона (ХМАО, Томская область), где систематические ошибки модельных прогнозов минимальны (см. главу 2 настоящего отчета). В зимних месяцах (рисунок 17) алгоритм показал неустойчивые изменения как по территории, так и по заблаговременности, несмотря на то, что систематические ошибки приблизились к нулю везде. Такой результат непосредственно связан с проблемами MOS-интерпретации в зимнее время, которые описаны в главе 3 настоящего отчета.

Сравнение оценок прогнозов температуры воздуха по модели COSMO и после статистической комплексации результатов по трем моделям (лето 2012 г.)

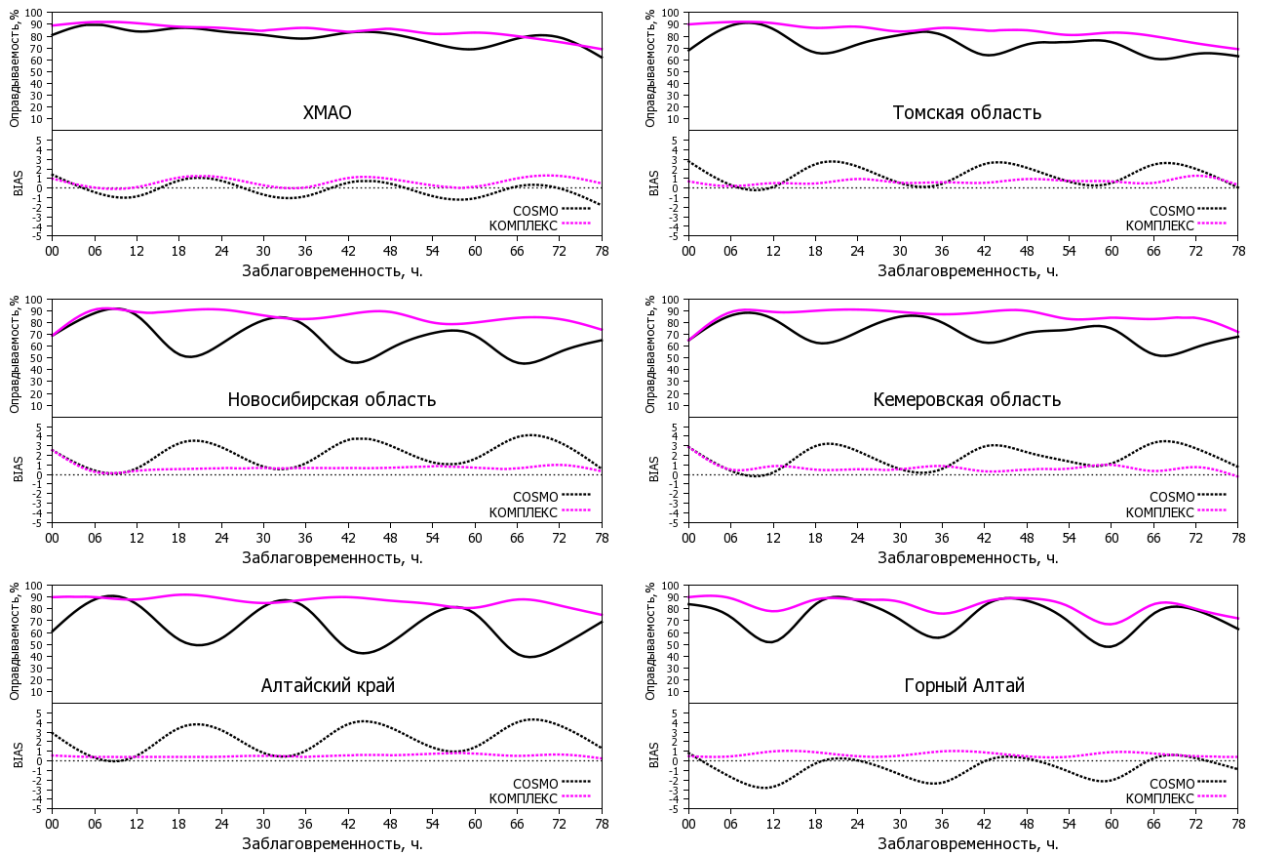


Рисунок 16– Оценки прогнозов температуры по модели COSMO и после комплексации по трем моделям. Июнь-август 2012 г.

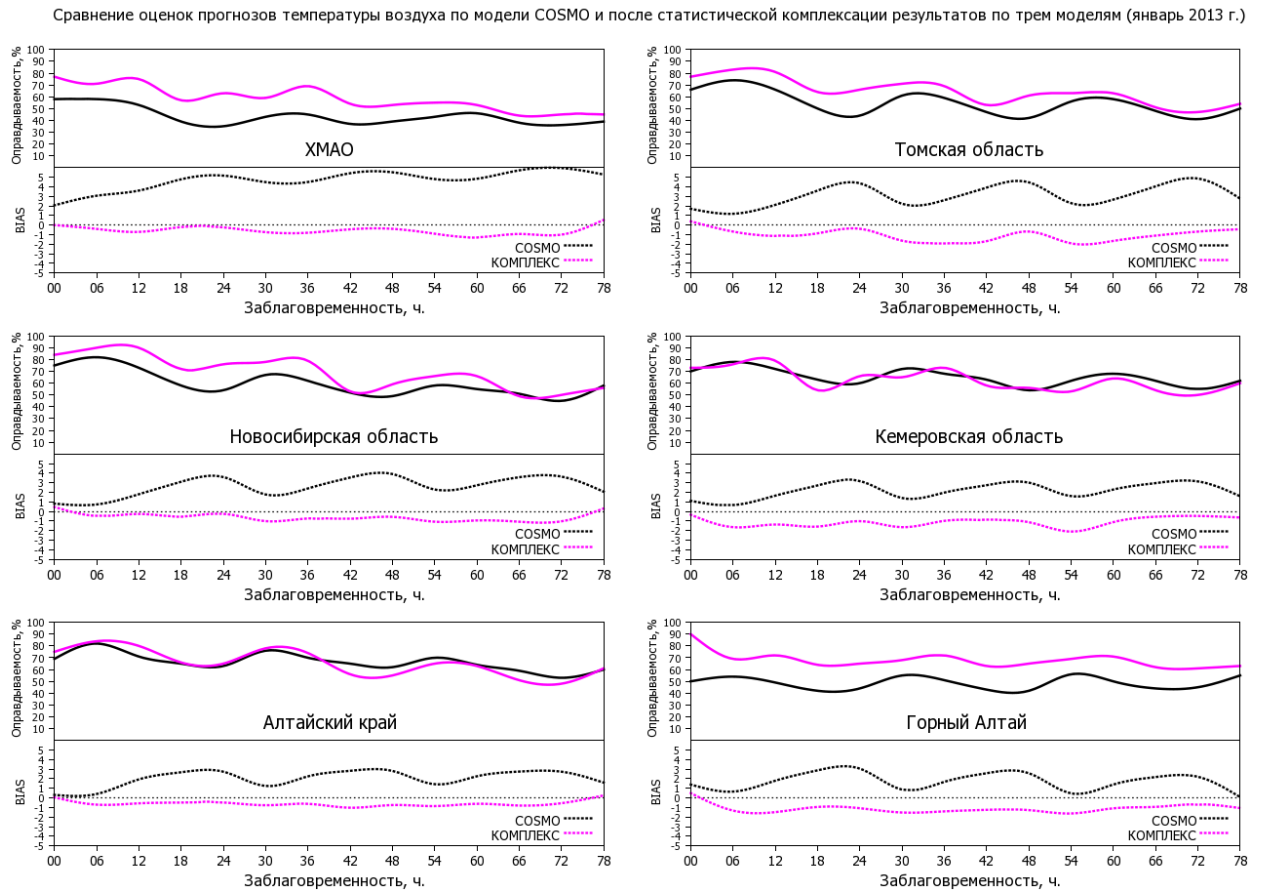


Рисунок 17 – Оценки прогнозов температуры по модели COSMO и после Комплексации по трем моделям. Январь 2013 г.

4.2 Технологические блоки комплексации

Исходные модельные выпуски COSMO и ПЛАВ поступают после расчетов в ЗСРИВЦ, модели UKMO по каналам связи ВМО.

Технологическая линия получения расчетов в СибНИГМИ представлена на рисунке 18.

Основные блоки статистического пост-процессинга:

- конвертация и декодирование данных по параметрам и срокам расчетов;
- приведение данных к точкам расположения метеостанций;
- добавление текущих выпусков к архивным базам данных по моделям и параметрам;
- формирование рабочей выборки для расчета коэффициентов MOS-поправок;
- расчет коэффициентов регрессии между фактическими и модельными данными, получение и вывод результатов после интерпретации прогнозов по станциям и срокам для каждой модели;

- запуск блока комплексации прогнозов;
- вывод результатов в накопительные файлы для последующей оценки, в таблицы для синоптиков, и в файл для построения метеограмм по станциям;
- блок визуализации результатов комплексации на сайте СибНИГМИ;
- блок программ оценок.

В программном обеспечении использованы CDO-операторы, модули на языках FORTRAN, PYTHON.

Пример представления выходных результатов на сайте института приведен на рисунке 19.

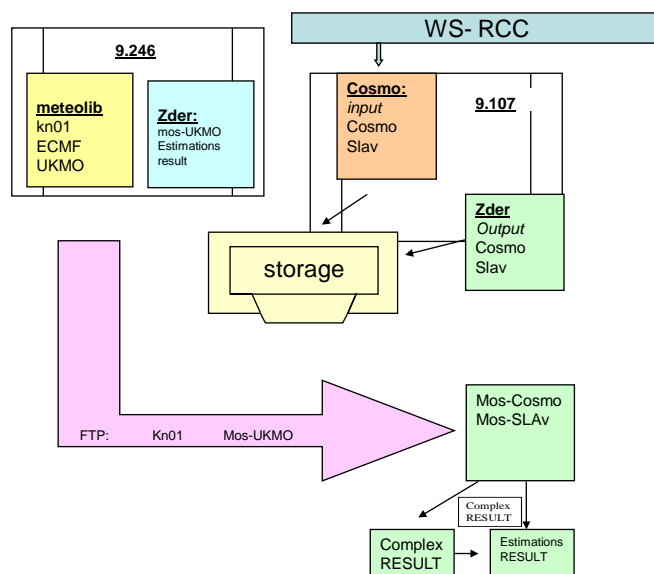


Рисунок 18 – Технологическая линия получения расчетов комплексации

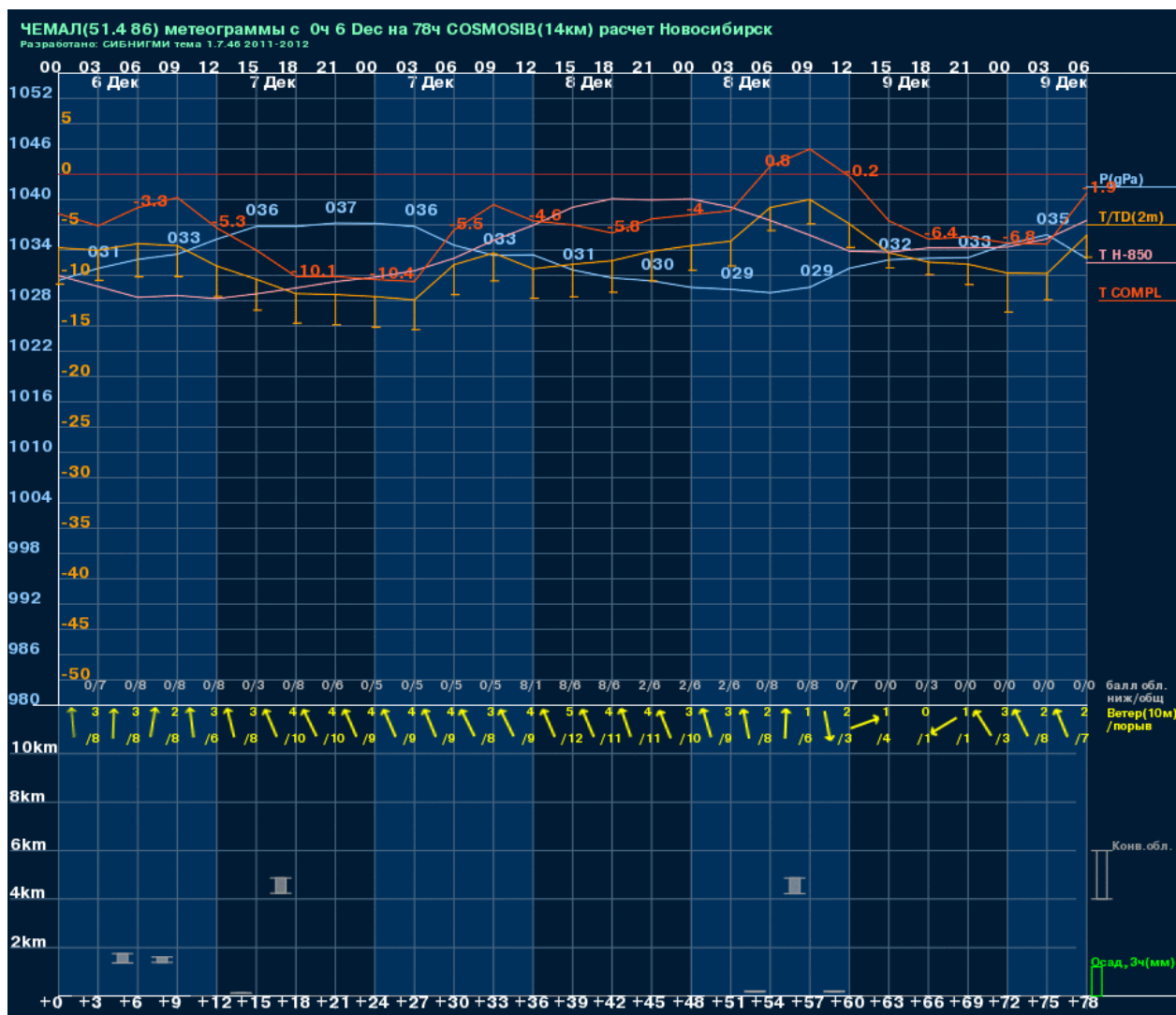


Рисунок 19 – Пример результата расчета

по технологии комплексации приземной температуры на метеостанции Чемал 6.12.2013 г.

Красная линия – прогноз по комплексации, оранжевая – прогноз по COSMO.

4.3 Результаты оперативного испытания метода и технологии комплексации прогнозов температуры

Согласно решению секции Технического совета Гидрометцентра ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» от 26.02.2013 г. метод и технология прогноза для теплого периода были переданы на оперативные испытания в Гидрометцентр с целью определения возможности внедрения и использования в оперативной работе Гидрометцентра ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС», филиалов ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

Испытания проводились в период май-сентябрь 2013 года по станциям Новосибирской, Томской, Кемеровской областям, Алтайскому краю и Республики Алтай специалистами Гидрометцентра ФГБУ «Западно-Сибирского УГМС» и ФГБУ «СибНИГМИ». Выходная продукция представлялась ежедневно в виде таблиц и метеограмм по станциям областей, края и Республики Алтай. Расчет прогнозов производился по сроку 00 ВСВ с заблаговременностью 24 - 72 часа в оперативном режиме.

За период испытания с мая по сентябрь составлено 755 случаев прогнозов по 125 метеостанциям. Проведено сравнение оправдываемости прогнозов температуры воздуха по новой технологии с уже используемыми в оперативной работе методами и моделями, а также с оперативными прогнозами.

В таблице 8 представлена средняя оправдываемость прогнозов температуры воздуха по схеме комплексации. Средняя оправдываемость прогнозов минимальной и максимальной температуры составила 88-89 % на первые сутки, уменьшаясь к третьим суткам до 82 %. Средняя абсолютная ошибка (δ) на первые сутки меньше 2°C (1,8), к третьим возрастает до $2,1^{\circ}\text{C}$, что считается допустимым критерием успешности прогнозов [5].

По территории успешность прогнозов достаточно ровная. Можно выделить лишь район Горного Алтая, где оправдываемость прогнозов минимальной температуры на 2-3% ниже остальных областей.

Проведен сравнительный анализ оправдываемости прогнозов температуры с прогнозами Гидрометцентра РФ по схеме «РЭП». Прогнозы «РЭП» в среднем показали оправдываемость выше на 3-10 % (таблица 9). Наибольшие расхождения отмечены по Кемеровской области. На территории деятельности Западно-Сибирского УГМС выделяется ряд пунктов с наиболее низкой оправдываемостью прогнозов минимальной температуры по всем заблаговременностям как по схеме «РЭП» (78 – 84 %), так и по комплексации СибНИГМИ (70 – 79 %). К этим пунктам относятся в Новосибирской - Искитим, в Томской - Бакчар, Кемеровской – Таштагол и Юрга, в Алтайском крае - Бийск и в Республике Алтай – Онгудай. По-видимому, это связано с локальными особенностями расположения данных метеостанций. По обоим схемам наиболее удачными являются прогнозы максимальной температуры воздуха на первые сутки и сохраняется общая тенденция к понижению оправдываемости прогнозов в зависимости от заблаговременности: «РЭП»- 94 — 88% , комплексация СибНИГМИ- 91 - 82 %. Абсолютная ошибка тех и других прогнозов находится в пределах допустимой погрешности (1,4 - 2,3).

Сравнение успешности прогнозов экстремальной температуры воздуха по испытываемому методу с ранее внедренной разработкой СибНИГМИ WSIBMZ показало превышение уровня оправдываемости в среднем на 3-6% по новой технологии.

Таблица 8 – Оправдываемость прогнозов экстремальной температуры воздуха по технологии комплексации за испытываемый период (май-сентябрь 2013)

Область/ край	Число прогнозов	1 сутки				2 сутки				3 сутки	
		Tмин	δ мин	Tмаx	δ маx	Tмин	δ мин	Tмаx	δ маx	Tмин	δ мин
Томская	151	90	1,7	87	1,9	86	1,9	84	2,1	83	2,0
Новосибирская	151	90	1,7	89	1,7	88	1,9	84	2,0	83	2,1
Кемеровская	151	88	1,8	89	1,8	85	2,0	84	2,1	82	2,1
Алтайский	151	88	1,8	89	1,8	85	2,0	86	2,0	82	2,1
Республика Алтай	151	85	1,9	89	1,9	83	2,1	83	2,1	80	2,2
Среднее значение	755	88	1,8	89	1,8	85	2,0	84	2,1	82	2,1

Таблица 9 – Сравнение оправдываемости прогнозов температуры по РЭП и по технологии комплексации. Май-сентябрь 2013.

Область/ край	Число прогнозов	Число станций	РЭП					Комплексация				
			24	36	48	60	72	24	36	48	60	72
Новосибирская	151	6	93	94	91	91	89	88	91	88	86	83
Томская	151	5	92	93	90	89	88	88	88	86	86	83
Кемеровская	151	5	94	94	89	91	89	84	89	81	81	81
Алтайский	151	4	91	94	88	92	88	85	90	83	86	80
Республика Алтай	151	5	89	92	90	88	87	87	89	86	82	82
Среднее значение	755	25	92	93	90	90	88	87	89	85	84	82

Анализ оценок по месяцам показал наиболее низкую успешность прогнозов в июне. При этом среднемесячная температура июня 2013 г была ниже нормы на 1 - 3 градуса, а в первой декаде июня наблюдались экстремально низкие минимальные температуры воздуха (ниже 0 градуса) и даже отмечались температурные рекорды. Вероятнее всего, экстремальный характер погодных условий внес свой корректив в качество прогнозов температуры по отдельным моделям. В июне более результативными оказались прогнозы по WSIBMZ, составленные на базе параметров ECMF и UKMO.

Отдельно проведено сравнение испытываемой технологии для прогнозов по пункту Новосибирск на 24-36 часов с различными используемыми в оперативной работе методами, а именно: с прогнозами Гидрометцентра РФ (авт. П. П. Васильев и А. Н. Багров), WSIBMZ («СибНИГМИ») (авт. М. Я. Здерова), по методу М. К. Гиляровой, ЕЦСПП, а также с оперативными прогнозами новосибирских синоптиков (таблица 10). Отметим, что оправдываемость прогнозов по новой технологии и по прогнозам Гидрометцентра РФ находится на одном уровне 94 - 95, уровень оперативных прогнозов Новосибирского Гидрометцентра 92 - 96 %. Оправдываемость других методов колеблется в пределах 92-93% для минимальной температуры и 81-91% - для максимальной. Самая низкая оправдываемость экстремальной температуры воздуха по методу М. К. Гиляровой: 80,3 % - минимальная и 83,8 % - максимальная, что ниже успешности прогнозов по испытываемой схеме комплексации на 10 - 14 %. Этот метод, разработанный в 60-ых годах на архиве прошлых лет, содержит субъективные моменты с ручной интерполяцией исходных данных.

За период оперативных испытаний рассмотрено 15 случаев не оправдавшихся прогнозов по пункту Новосибирск, из них большинство (10 случаев) - значительное завышение ночных температур. В основном эти случаи происходили при прохождении тыловой части высотного циклона или высотной ложбины с устойчивым северо-западным переносом воздушных масс. У поверхности земли при этом наблюдалось либо прохождение окклюзии в теплом секторе циклона, либо прохождение приземного холодного фронта в тыловой части циклона.

В результатах проведенных испытаний отмечены некоторые достоинства новой разработки:

- метод объективен и впервые использует для расчетов современную прогностическую продукцию COSMO-RUsib, ПЛАВ, глобальную модель Exeter UKMO;

- метод позволяет составлять детализированный прогноз температуры по станциям территории деятельности ЗС УГМС;

- метод и технология расчета прогноза максимальной температуры может быть в дальнейшем использована для расчета прогностического индекса пожароопасности по станциям ЗС УГМС с целью повышения качества этих прогнозов.

Из недостатков отмечен тот факт, что качество прогнозов снижается в периоды аномальной погоды.

Новая технология рекомендована к оперативному использованию в Гидрометцентре и филиалах Западно-Сибирского УГМС как основной расчетный метод.

Таблица 10 – Сравнение оправдываемости прогнозов температуры по физико-статистической схеме (WSIBMZ) и по технологии комплексации. Май-сентябрь 2013.

Область	Число случаев	1 сутки				2 сутки				3 сутки	
		Комплекс		wsibmz		Комплекс		wsibmz		Комп-лекс	wsibmz
		24ч	36ч	24ч	36ч	48ч	60ч	48ч	60ч	72ч	72ч
Томская	151	89	88	83	85	85	84	79	80	82	76
Новосибирская	151	89	90	84	86	87	85	81	78	82	79
Кемеровская	151	85	89	80	88	83	84	77	81	81	77
Алтайский край	151	86	89	82	87	83	85	78	82	80	78
Среднее значение	604	87	89	82	87	84	85	79	80	81	77

4.4 Исследования возможностей комплексации прогнозов осадков и ветра

Алгоритм комплексации прогнозов среднего ветра протестирован на летнем периоде 2013 года. Все модельные прогнозы среднего ветра у земли показали завышение скорости почти на всей территории (пунктир на рисунке 20). Ошибки разделились на территории Горного Алтая, где модель ПЛАВ скорость занижала, а у модели UKMO систематики не наблюдалось. Максимальный эффект применения алгоритма интерпретации, (идентично описанному для температуры) получен для прогнозов ПЛАВ (сплошные линии на рисунке 20). Модель ПЛАВ продемонстрировала и наименьшие среднеквадратические ошибки (рисунок 21). Применение алгоритма комплексации не улучшило результат MOS-интерпретации ПЛАВ.

Прогнозы максимальных порывов в нашем исследовании были представлены только по модели COSMO. Их оценки проанализированы в разделе 2.3 настоящего отчета. Для уточнения оправдываемости прогнозов в летнем периоде необходимо уменьшить число ложных превышений 15 м/с. Для этой цели по DW-алгоритму распознавания для каждой станции получены решения разделения ситуаций с наличием ветра > 12м/с и без него с привлечением параметров модели UKMO. Предварительная оценка полученных решений на зависимом материале не показала улучшений качества прогнозирования относительно модельных выпусков COSMO. Необходимо продолжить исследование с добавлением базового материала.

Алгоритмы статистической интерпретации на базе уравнений регрессии не пригодны для уточнения модельных прогнозов осадков, поскольку их решения лишь убирают

систематические ошибки, при этом прогноз факта наличия или отсутствия осадков даже портится. Построены 2 группы DW- деревьев: для разделения классов «без осадков» - «осадки» и для разделения классов «сильные осадки» - «осадки». В настоящее время варианты применения этих решений проходят тестирование.

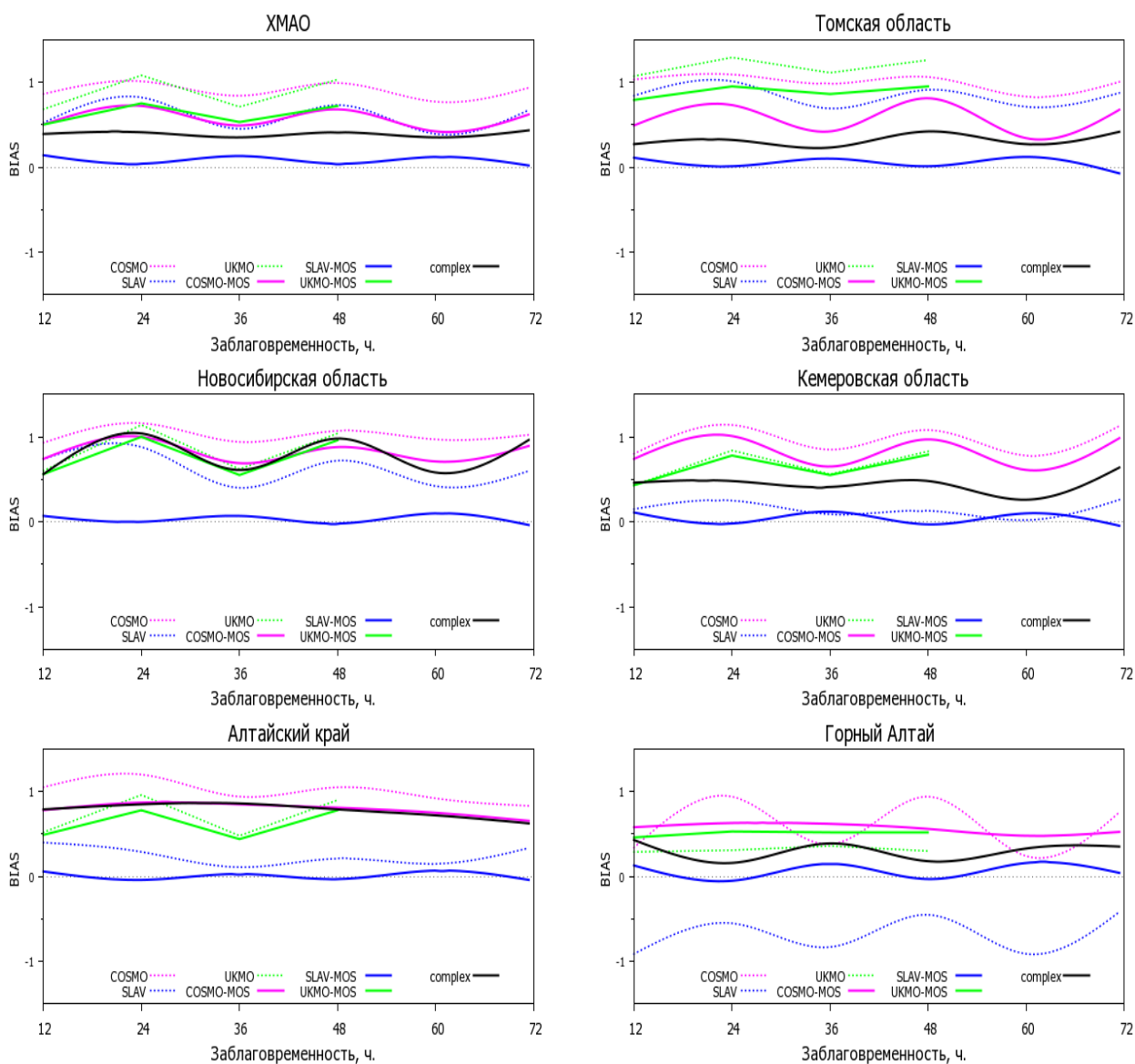


Рисунок 20 – Систематические ошибки прогноза среднего ветра у земли по исходным моделям, после их интерпретации и комплексации. Июль-август 2013 г.

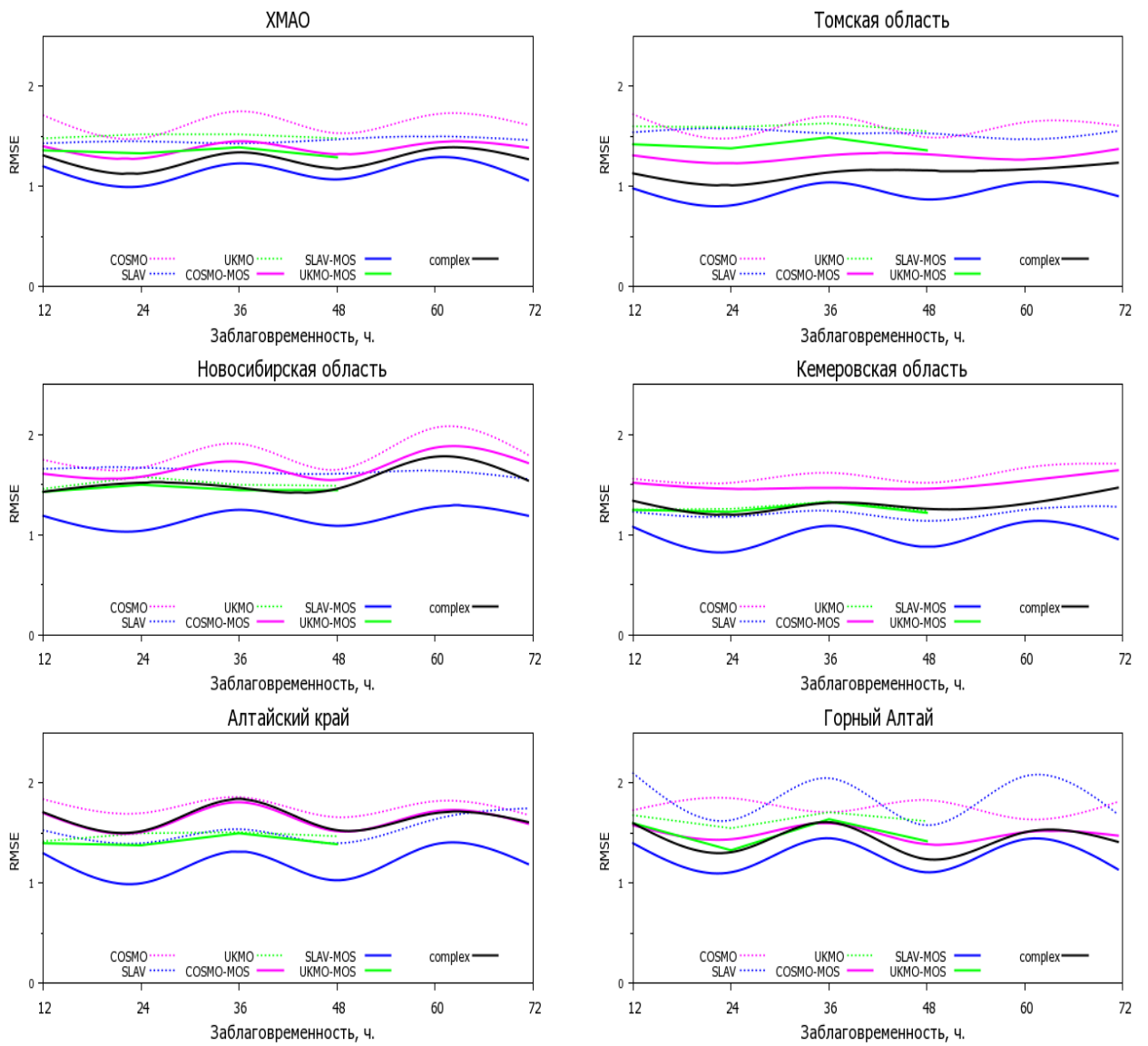


Рисунок 21 – Среднеквадратические ошибки прогноза среднего ветра у земли по исходным моделям, после их интерпретации и комплексации. Июль-август 2013 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения задачи комплексации результатов гидродинамических прогнозов с целью повышения качества прогнозирования погоды на территории Западной Сибири в качестве базовых полей рассмотрены выпуски глобальной модели UKMO (Exeter), полулагранжевой модели Гидрометцентра РФ ПЛАВ (SLAV) и негидростатической мезомодели международного консорциума COSMO-RU_SIB14. Результаты первой поступают по каналам связи ВМО, ПЛАВ и COSMO – рассчитываются в ЗСРИБЦ.

Выбран подход C-MOS -MOS-консенсус.

В ходе выполнения исследования решены следующие задачи:

- проанализировано качество прогнозов приземной температуры воздуха, скорости ветра и осадков по базовым моделям на территории Западной Сибири;
- подобраны алгоритмы интерпретации, повышающие уровень прогнозов по каждой модели;
- разработан алгоритм комплексации прогнозов по трем моделям, ведущий к дальнейшему повышению их качества;
- подготовлено программное обеспечение для всех технологических блоков от получения базовой информации до распространения результатов и их оценок.

Пространственное и временное распределение оценок гидродинамических прогнозов по трем моделям представлено в разделе 2. Анализ показал, что модельные прогнозы температуры имеют систематические ошибки с суточным и пространственным распределением. В теплом периоде они успешно корректируются с помощью коэффициентов линейной регрессии по ограниченной выборке прогноз-факт (30-40 случаев). Этот алгоритм применен для MOS-коррекции прогнозов приземной температуры и скорости среднего ветра отдельно по каждой базовой модели. Комплексация заключается в расчете взвешенного среднего с учетом дисперсии текущих результатов гидродинамических расчетов по моделям. Если разница между результатами превышает 3.5°C , из осреднения исключается результат по модели, имеющей максимальную среднеквадратическую ошибку в рабочей выборке.

Применение метода комплексации в теплом периоде снивелировало суточный ход в оценках прогнозов температуры, существенно повысив оправдываемость в ночные сроки и на юге рассматриваемой территории. В отдельных областях разница составила больше 20-30%. В зимнем периоде качество прогнозов по гидродинамическим уравнениям значительно снижается, в основном в сторону завышения температур, не улавливаются низкие температуры в морозные периоды, свойственные региону Сибирь. Применение MOS-интерпретации и затем комплексации повышает оправдываемость, но результат остается

неудовлетворительным для использования в оперативной синоптической службе. Сделана попытка его улучшения с помощью добавления дополнительных параметров-предикторов и классификации исходных выборок. Для этой цели применен алгоритм, анализирующий разброс условных вероятностей классов при переборе исходных признаков. Определен список исходных расчетных параметров по модели UKMO, на базе которых построены DW-деревья, для разделения ожидаемых ситуаций по температуре: понижение/повышение/инерция. Для каждого класса ситуаций получены свои уравнения MOS-коррекции. Однако накопленных архивных данных недостаточно для репрезентативности исходных выборок и тестирования алгоритмов.

Качество гидродинамических прогнозов осадков разделилось по периодам года. В зимнем периоде модель ПЛАВ крайне редко прогнозировала наличие осадков, на севере в ночные сроки практически они всегда равны нулю, при этом почти в половине из прогнозируемых случаев наблюдались осадки: оправдываемость по факту 47-60%. Модель COSMO, напротив, чаще давала осадки, при этом в 65-70% совпадая с фактом. Практически противоположная картина в летнем периоде: по COSMO предупрежденность ситуаций без осадков - 60-70%, примерно с такой же предупрежденностью ПЛАВ дает класс «осадки». Оценки прогнозов сильных осадков по модели COSMO неустойчивы как по территории, так и по заблаговременности: предупрежденность - 7-32%, оправдываемость - 15-50%. Предупрежденность прогнозов этой категории по модели ПЛАВ в дневное время в 2-3 раза выше, при этом оправдываемость примерно на уровне COSMO. По-видимому, параметризация конвекции и формирования конвективных осадков лучше в модели ПЛАВ. Алгоритмы статистической интерпретации на базе уравнений регрессии не пригодны для уточнения модельных прогнозов осадков, поскольку их решения лишь убирают систематические ошибки, при этом прогноз факта наличия или отсутствия осадков даже портится. Построены две группы DW-деревьев: для разделения классов «без осадков» - «осадки» и для разделения классов «сильные осадки» - «осадки». В настоящее время варианты применения этих решений проходят тестирование.

Прогнозы скорости ветра по гидродинамическим моделям имеют незначительную разницу в оправдываемости, однако по наименьшим систематическим и среднеквадратическим отклонениям выделяется модель ПЛАВ. Применение алгоритма комплексации для прогнозов скорости среднего ветра не улучшило результат MOS-интерпретации прогнозов ПЛАВ. Отдельно проанализированы оценки прогнозов максимальных порывов, превышающих 15 м/с, по модели COSMO. В летнее время качество прогнозов неустойчиво как по времени заблаговременности, так и по территории. В зимнем периоде - хорошее соотношение оправдываемости и предупрежденности: для

Новосибирской области и Алтайского края оправдываемость достигает 85- 100% при предупрежденности 70-80%. Необходимо отметить сопоставимое число фактических и прогностических случаев с наличием явления по всей территории. Коррекция прогнозов по построенным деревьям распознавания ситуаций с сильным ветром для зимнего периода результат гидродинамических прогнозов не улучшило. Для летнего периода исследования продолжаются.

Метод и технология комплексации прогнозов температуры для теплого периода прошли оперативные испытания в Гидрометцентре ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». Результаты, приведенные в разделе 4, рассмотрены на заседании секции Технического совета 10 декабря 2013 года. Новая технология рекомендована к оперативному использованию в Гидрометцентре и филиалах Западно-Сибирского УГМС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рекомендации по предоставлению данных о неопределенности прогнозов. PWS-18 WMO/TD No.1422 Руководитель и координатор работ по подготовке документа Джон Гилл. 2008, Всемирная Метеорологическая Организация.
2. Vislocky, Robert L.; Fritsch, J. Michael Improved Model Output Statistics Forecasts through Model Consensus. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 76, Issue 7, pp.1157-1164.
3. Толстых М.А. Полулагранжева модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. - 2001.- №4.- с. 5-16.
4. Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А. Современные оперативные системы численного прогноза погоды для ограниченной территории. - Труды СибНИГМИ. - 2011. - Вып. 106. - с.5-12.
5. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов: РД 52.27.284 -91:Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 149с.
Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.: РД 52.27.724-2009: Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. - 50с.
6. ESSEM COST Action 733 Harmonisation and Applications of Weather Types Classifications for European Regions <http://cost733.met.no/>.
7. Baars J. Mass C. Performance of national weather service forecasts versus Model Output Statistics // http://www.atmos.washington.edu/~jbaars/mvn_paper/mvn_extended.htm.
8. Stephenson, D. B., C.A.S. Coelho, F. J. Doblas-Reyes, and M. Balmaseda, 2004: Forecast Assimilation: A unified framework for the combination of multi-model weather and climate predictions. Tellus, Special issue, in press. Available at <http://www.met.rdg.ac.uk/cag/publications/2005/tellus.pdf>.
9. Bertrand, D., and R. Verret, 2004: Toward a new Canadian medium-range Perfect-Prog temperature forecast system. 17th Conference on Probability and Statistics in Atmospheric Sciences. The 84th American Meteorological Society Annual Meeting, Seattle, WA. Available at http://ams.confex.com/ams/84Annual/techprogram/paper_67887.htm.
10. Vislocky R.L. and J.M. Fritsch, 1997: An automated, observations-based system for short-term prediction of ceiling and visibility, Wea. Forecasting, 12, 31-43.
11. Marzban, C., 2003: A neural network for post-processing model output: ARPS. Mon. Wea. Rev., 131 (6), 1103-1111.
12. Christian Schoelzel, A. Hense and J. Klassen. AVN-Guided MOS Weather Forecasts for Europe Based on Regression Screening and Cross Validation (http://ams.confex.com/ams/May2000/techprogram/paper_13628.htm).

13. Wilson, L.J. and M. Vall'ee, 2002; The Canadian updateable model output statistics (UMOS) system: Design and development tests. *Wea. Forecasting*, 17, 206-222.
14. Vislocky, R. L., G. S. Young, 1989: The use of Perfect Prog Forecasts to Improve Model Output Statistics Forecasts of Precipitation Probability, *Weather and Forecasting*, 4, 2022-209.
15. Delle Monache, Luca, Thomas Nipen, Yubao Liu, Gregory Roux, Roland Stull, 2011: Kalman Filter and Analog Schemes to Postprocess Numerical Weather Predictions. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 3554–3570. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2011MWR3653.1>.
16. Васильев П.П., Васильева Е.Л. Система статистической интерпретации выходной продукции гидродинамических моделей для среднесрочного прогноза погоды // 70 лет Гидрометцентру России.- Спб: Гидрометиздат, 1999. - с.118-133.
17. Васильев П.П., Васильева Е.Л., Веселова Г.К., Горлач И.А. Метод прогноза преобладающей минимальной максимальной температуры воздуха, детализированного по территории семи федеральных округов России и республики Беларусь. // Информационный сборник. - 2009. - №6. – с.43-57.
18. Вербицкая Е.М. Среднесрочный прогноз элементов и явлений погоды для станций Дальневосточного региона России // Тр. ДВНИГМИ. -2003. – Вып.149. - 160с.
19. Храмцова И.Г. Сезонные особенности зональных и меридиональных процессов над территорией Западной и Восточной Сибири // Труды ЗСРНИГМИ. - 1978. - Вып. 36.- с.62-69.
20. Груза Г.В., Ранькова Э.Л., Эстерле Г.Р. Схема адаптивного статистического прогноза с использованием группы аналогов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. -1976.- Вып.13. – с. 5-25.
21. Храмцова И.Г. Учет аналогичности в прогностических схемах // Труды ЗапСибНИГМИ. - 1988. - Вып. 88. - с. 3-8.
22. ESSEM COST Action 733 Harmonisation and Applications of Weather Types Classifications for European Regions <http://cost733.met.no/>.
23. Лбов Г.С., Манохин А.Н. Распознавание образов при разнотипных признаках в условиях малой выборки. // Статистические проблемы управления. - Вильнюс, 1976.- Вып.14. - с.57-63.
24. Манохин А.Н. Алгоритм DW для распознавания образов: Пакет прикладных программ ОТЭКС.-Новосибирск:изд-во Новосибирского государственного университета, 1981.-с.3- 30.
25. Здерова М.Я., Токарев В.М. Анализ и прогноз условий погоды, влияющих на концентрацию атмосферных примесей мегаполиса // Труды СибНИГМИ. - 2011. - Вып.106. - с.152-158.