

Министерство природных ресурсов и экологии

Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «СИБИРСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

(ФГБУ «СибНИГМИ»)

УДК 551.5:001.891.57

№ госрегистрации

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ



Директор ФГБУ «СибНИГМИ» доктор  
физико-математических наук  
В.Н. Крупчатников

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

РАЗВИТИЕ ОПЕРАТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПУСКА КРАТКОСРОЧНЫХ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ  
МЕЗОМАСШТАБНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ COSMO-RU И WRF ARW

Для ФГБУ «СибНИГМИ»: Технология на вычислительном кластере SGI Altex-4700  
РСМЦ ЗС УГМС детализированного численного прогноза по модели COSMO (с  
разрешением 14 км, 7 км и 2.5 км) и по модели WRF-ARW (с разрешением 14 км),  
включая прогноз опасных метеорологических явлений.

(заключительный)

Индекс темы 1.1.1.2 по плану НИОКР Росгидромета на 2011-2013 гг.

Ответственный исполнитель

В.Н. Крупчатников

Новосибирск  
2013

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный сотрудник ЛЧПП  
ФГБУ «СибНИГМИ»,  
к.ф.-м.н.



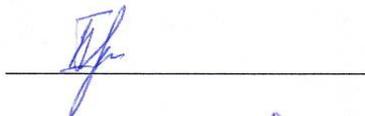
Мартынова Ю.В.

Ведущий научный  
сотрудник ЛЧПП ФГБУ  
«СибНИГМИ»,  
к.ф.-м.н.



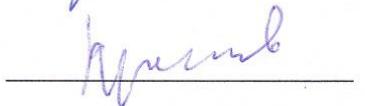
Зарипов Р.Б.

Программист ЛЧПП ФГБУ  
«СибНИГМИ»,



Петров А.А.

Ведущий программист  
ЛИОЧПП ФГБУ  
«СибНИГМИ»



Кретов Ф.Ю.

Заведующий лабораторией  
ЛИОЧПП ФГБУ  
«СибНИГМИ»



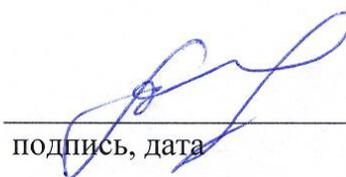
Колотовкин И.В.

Программист ЛИОЧПП  
ФГБУ «СибНИГМИ»



Воробьева Л.П.

Нормоконтролер



подпись, дата

Т.П. Панькова

## РЕФЕРАТ

Отчет 24 стр., 6 илл., 2 табл., 33 источника.

### МЕТЕОРОЛОГИЯ, СИБИРЬ, ДАННЫЕ, НАБЛЮДЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ, МОДЕЛЬ, ПРОГНОЗ, ПОГОДА

В отчете приводятся некоторые оценки прогнозов по модели WRF-ARW в сравнении с оценками прогнозов глобальной модели NCEP (США), а также описана система краткосрочного прогноза погоды COSMO-SIB07. Кратко рассматриваются прогнозы WRF-ARW для европейской территории России. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в теплое время года при подготовке прогнозов на краткие сроки использование WRF-ARW целесообразно, в холодный период же период свободно распространяемые прогнозы NCEP имеют некоторые преимущества. Описывается работающий в ЗС УГМС (ФГБУ СибНИГМИ) вычислительный комплекс, предназначенный для моделирования динамики атмосферы над сибирским регионом с использованием WRF-ARW. Приводится описание методологии и особенностей программной реализации комплекса.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СИСТЕМА ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ НА ОСНОВЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ WRF-ARW	6
2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ WRF-ARW, ВЫБОР КОНФИГУРАЦИИ МОДЕЛИ	7
3. ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WRF-ARW	9
4. ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЧИСЛЕННЫХ ПРОГНОЗОВ WRF-ARW	11
5. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПУСКА ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ ПО ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ НА БАЗЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ COSMO-SIB07	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	22

## ВВЕДЕНИЕ

В отчете приводятся некоторые оценки прогнозов по модели WRF-ARW в сравнении с оценками прогнозов глобальной модели NCEP (США). Кратко рассматриваются прогнозы WRF-ARW для европейской территории России. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в теплое время года при подготовке прогнозов на краткие сроки использование WRF-ARW целесообразно, в холодный период же период свободно распространяемые прогнозы NCEP имеют некоторые преимущества. Описывается работающий в ЗС УГМС (ФГБУ СибНИГМИ) вычислительный комплекс, предназначенный для моделирования динамики атмосферы над сибирским регионом с использованием WRF-ARW. Приводится описание методологии и особенностей программной реализации комплекса.

В рамках выполнения темы 1.1.1.2 плана НИР Росгидромета в ФГБУ «СибНИГМИ» разработана и с сентября 2012 года функционирует в тестовом режиме на высокопроизводительной ЭВМ SGI Altix4700 технология выпуска прогнозов погоды по территории регионов Сибири. Немецкая служба погоды (DWD) предоставляет в оперативном режиме начальные и граничные условия из своей системы глобального моделирования, необходимые для интегрирования мезомасштабной модели.

В настоящее время система краткосрочного прогноза погоды COSMO-SIB07 использует версию 4.18 модели COSMO (от 25 мая 2011г.) и версию 1.18 препроцессинга (от 11 марта 2011 г.). В данный момент осуществляется переход к версии 5 модели COSMO.

# 1 СИСТЕМА ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ НА ОСНОВЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ WRF-ARW

Прогноз погоды на современном уровне возможен только с использованием численных моделей, при этом естественная область прогноза погоды – весь земной шар. Используя на границах области моделирования краевые условия, рассчитанные по моделям атмосферы с большим охватом, региональные модели позволяют более детально (используя более высокое пространственное разрешение, более детальные или подобранные специально для данного региона параметризации физических процессов) рассмотреть изменение состояния атмосферы на выбранной территории. Примеры подобного подхода: GME/COSMO [1-4,16], IFS/HIRLAM-HARMONIE [15], глобальная/региональные конфигурации UKMO [18,20], GEM/GEM-LAM [23,33]. Подход с применением глобального моделирования с переменным разрешением (ARPEGE/IFS [21], GEM в конфигурации с переменным разрешением [28]), когда высокое пространственное разрешение в представляющем интерес регионе достигается без использования вложения областей счета, распространен не столь широко.

Одной из самых широко распространенных региональных/мезомасштабных моделей является свободно распространяемая модель WRF ARW. Эта модель широко применяется и для территории России – как дополнительный метод прогноза погоды (в Гидрометцентре России, в СибНИГМИ, ДВНИГМИ), при исследовании атмосферных процессов [10], в качестве инструмента в работах по усвоению данных [3], при рассмотрении методик оценки прогнозов с высоким пространственным разрешением [6]. Прогнозы WRF-ARW используются и при повышении детализации крупномасштабных данных (т.е. восстановлению с использованием модели метеорологических полей с более высоким пространственным разрешением, чем у исходных данных, или же восстановление параметров, отсутствующих в исходных данных), к примеру – при решении задач переноса примесей [5,7]. Однако авторам неизвестны работы, в которых качество прогнозов WRF-ARW для территории России сравнивалось бы с качеством глобальных прогнозов NCEP ([www.emc.ncep.noaa.gov](http://www.emc.ncep.noaa.gov)), наличие которых в подавляющем большинстве случаев необходимо для счета модели.

В отчете описывается организация работы модели WRF-ARW в ФГБУ СибНИГМИ в составе информационно-вычислительного комплекса, основной задачей которого является оперативный прогноз погоды. Сравниваются оценки качества прогнозов при использовании различных версий модели, рассматриваются вопросы использования WRF-ARW для решения различных исследовательских задач.

## 2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ WRF-ARW, ВЫБОР КОНФИГУРАЦИИ МОДЕЛИ

Модель WRF-ARW является одним из двух вариантов WRF, распространяемых в едином дистрибутиве. ARW расшифровывается как Advanced Research WRF, WRF – Weather Research and Forecasting. WRF-ARW развивается Национальным центром атмосферных исследований США (NCAR) совместно с рядом других научных организаций США. Модель основана на негидростатических уравнениях для сжимаемой атмосферы. WRF-ARW, по всей видимости, является одной из самых распространенных метеорологических моделей, используемой в исследовательских целях.

В 2010 году, после установки в ЗС УГМЧ (СибНИГМИ) и в ГВЦ Росгидромета вычислительных систем SGI Altix 4700 (в ЗС УГМЧ со 128, в ГВЦ Росгидромета более чем с 1000 процессорных ядер), для счета WRF-ARW (далее просто WRF) была выбрана расчетная область, охватывающая практически всю территорию России с горизонтальным разрешением 14 км. Для распространяемой с августа 2009 года WRF 3.1.1 было проведено тестирование различных наборов динамических опций и параметризаций подсеточных процессов. При выборе оптимальной конфигурации рассматривалось качество прогнозов с заблаговременностью до 72 часов от сроков 00 и 12 ВСВ с 10 по 31 января и с 12 июня по 4 июля 2008 года. Рассматривались прогнозы для двух областей: Европейской территории России (45-65° с.ш., 27-57° в.д.) и Западной Сибири (50-65° с.ш., 70-100° в.д.) по данным для января и июня/июля 2008 года. Источниками начальных данных и граничных условий служили свободно распространяемые глобальные анализы и прогнозы NCEP.

Лучшим набором опций для динамической части модели оказался предложенный в [22] для Polar WRF (версия WRF, оптимизированная для работы в высоких широтах). В частности, используется подавление вертикальных движений в верхних 7 км (w-Rayleigh dumping). По результатам экспериментов было выбрано 43 уровня от поверхности земли до высоты 10 гПа и следующий набор параметризаций подсеточных процессов: 1) Микрофизические процессы: двумоментная схема Томпсона (считается на каждом шаге); 2) конвекция: схема Грелла-Девени (считается раз в 5 минут); 3) коротковолновая радиация: схема Дудья (считается раз в 10 минут); 4) длинноволновая радиация: схема RRTM (считается раз в 10 минут); 5) пограничный слой: схема университета Yonsei; 6) приземный слой: схема Монины-Обухова; 7) почвенные процессы: схема Noah. Краткие характеристики используемых параметризаций и ссылки на их более детальные описания приводятся в [2,31].

Использование какой-либо инициализации (DFI – (см. раздел 5.3 в [31]) или FDDA

[29,30,31]) не улучшало качество обычных прогнозов погоды. Но при использовании прогнозов WRF при прогнозе качества воздуха с использованием транспортно-химической модели CHIMERE (см. [5]) оказалось целесообразным начинать счет не с анализа NCEP, а с метеорологических полей, подготовленных в режиме повышения детализации (даунскейлинга) глобальных данных.

Впоследствии проводились эксперименты и с более новыми версиями модели, но при горизонтальном разрешении 10-14 км оценки прогнозов не превосходили полученные для WRF 3.1.1.

В связи с работами по усвоению данных о состоянии атмосферы с использованием пакета WRF Data Assimilation (см. раздел 6 в [14]), ведущимися совместно в Гидрометцентре России и СибНИГМИ, начались расчеты на основе новой версии модели WRF 3.4.1 – для обеспечения полной совместимости с последними доступными версиями WRF Data Assimilation. Была выбрана расчетная область, охватывающая район в Западной Сибири (50-65° с.ш., 70-100° в.д.) с пространственным разрешением 9 км.

Для WRF.3.4.1 также были проведены серии численных экспериментов по выбору оптимальных настроек, после первых серий (рассматривались прогнозы для января и июля 2012 года) выявилась основная проблема новой версии WRF, упоминаемая и в работе [10] – при устойчивой стратификации атмосферы в приземном слое модель еще более увеличивает устойчивость, занижая приземную температуру. Частично проблема была решена переходом к схемам параметризации радиационных потоков на RRTMG (и для коротковолновой, и для длинноволновой радиации) и к схеме Меллора-Ямады-Янича для параметризации пограничного слоя (см. [2,31]). Используются 52 вертикальных массовых уровней, расположение которых близко к используемому в RAP [17] – со сгущениями вблизи поверхности земли и в районе тропопаузы.

В исследовательском режиме проводится счет WRF ARW 3.4.1 с использованием вложения во внешнюю область счета с горизонтальным шагом 9 км области с шагом 3 км. При счете с 3-х километровым разрешением используется прямое воспроизведение моделью конвекции, ансамблевая параметризация конвекции Грелла (так называемая схема «Grell 3D» – развитие [23], см. раздел 8.2.4 в [31]), предназначенная для использования на подобных «переходных» масштабах, в проводимых экспериментах приводила к неустойчивости счета.

### **3 ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WRF-ARW**

Для автоматизации основных видов работ с WRF был подготовлен автоматизированный информационно-вычислительный комплекс, представляющий собой набор вспомогательных программ и управляющих скриптов. Схема работы комплекса представлена на рисунке 1, описание подготовки начальных данных и граничных условий (программами из пакетов WPS и WRF) приводится в разделах 3-5 описания [14]. На рисунке 1 овалами показаны программы, прямоугольниками – сохраняемая информация.

При автоматизированной подготовке карт метеорологических полей, метеограмм и анимаций используется пакет NCL (см. информацию на сайте <http://www.ncl.ucar.edu/>), адаптированный для использования в СибНИГМИ. Подготовленная графическая продукция распространяется с сайта СибНИГМИ (<http://sibnigmi.ru>). Для 3-х мерной визуализации выходной продукции WRF (в том числе анимаций) используется программный пакет VAPOR (<https://www.vapor.ucar.edu>), установленный на вспомогательной рабочей станции под управлением операционной системы Linux Ubuntu 11.04.

Прогнозы WRF считаются на 48 часов по начальным данным от срока 12 ВСВ. В оперативном режиме продолжает считаться модель WRF 3.1.1, по-прежнему обеспечивающая лучшие оценки прогноза. Подготавливаемая продукция оперативно поступает в ГУ «Новосибирский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с функциями регионального специализированного метеорологического центра Всемирной службы погоды» и используется метеорологами центра при составлении официальных прогнозов.

Использование при счете региональных прогнозов погоды информации, поступающей из зарубежных прогностических центров, не всегда может считаться достаточно надежной технологией. В связи с этим в Гидрометцентре России еще в 2007 году была проведена работа по переводу WRF на использование граничных условий из глобальной спектральной модели атмосферы Гидрометцентра России T169 [8]. Замещение данных NCEP на стадии замены файлов, аналогичных выходным файлам программы metgrid (Рис.1). Однако при отсутствии в Гидрометцентре России автономной системы усвоения данных о состоянии счет глобальных моделей ПЛАВ [12,13], и T169 требует поступления извне глобальных прогнозов, используемых в качестве первого приближения при подготовке оперативного анализа.

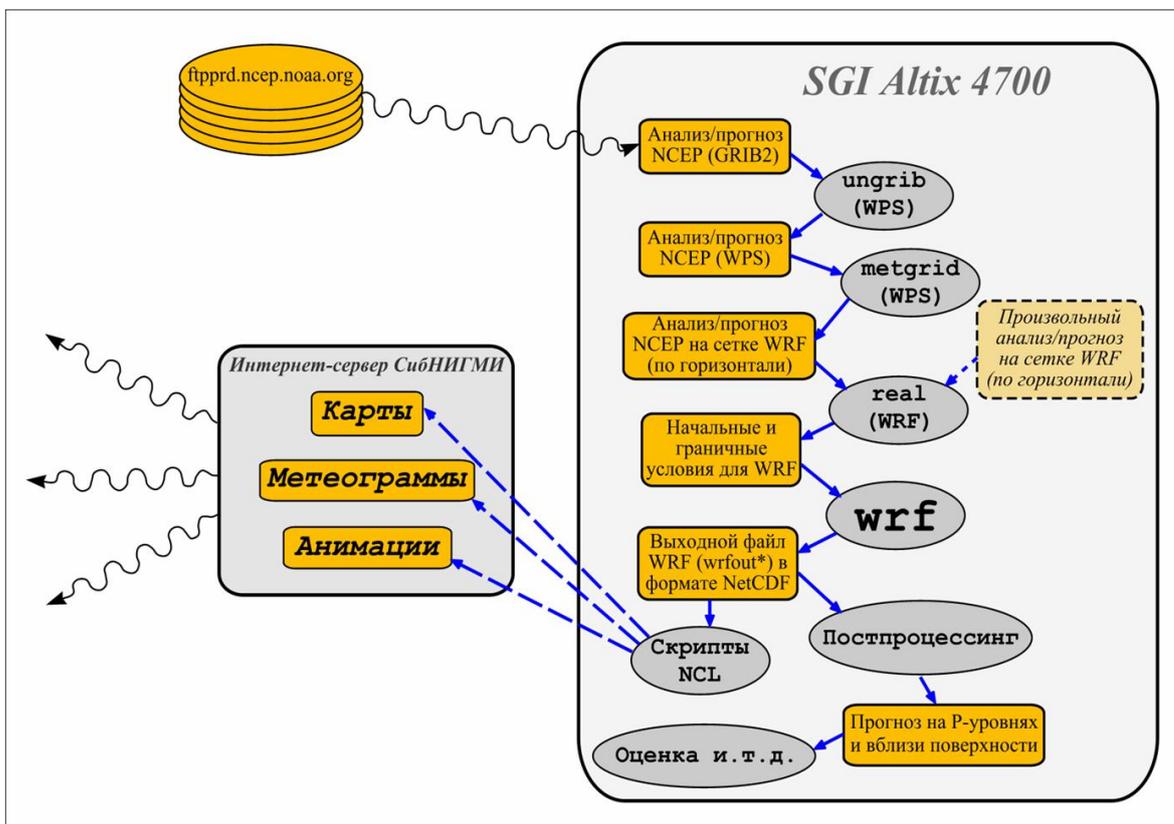


Рисунок 1 – Схема работы комплекса для оперативного прогноза погоды в Сибирском регионе с использованием WRF-ARW

#### 4 ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЧИСЛЕННЫХ ПРОГНОЗОВ WRF-ARW

Для более детального рассмотрения были выбраны прогнозы с заблаговременностью до 72 часов для двух периодов в 2012 году: начальных данные для 1-24 февраля (далее в тексте *зима*) и 10 июля-4 августа (*лето*). Основная область оценки – район Новосибирска (50-65° с.ш., 70-100° в.д.), дополнительно приводятся некоторые оценки для европейской территории России, далее ЕТР (45-65° с.ш., 27-57° в.д.). При оценке качества прогнозов использовались синоптические наблюдения (сводки SYNOP) и данные радиозондирования (сводки TEMP и PILOT) из баз данных Гидрометцентра России [11]. Ниже рассматриваются оценки, осредненные по начальным срокам от 00 и 12 ч ВСВ.

Для обоих рассматриваемых периодов рассчитанные по данным радиозондирования среднеквадратичные ошибки прогнозов высот изобарических поверхностей, а также векторная ошибка ветра для модели NCEP и различных версий WRF близки (Табл.1).

Таблица 1 - Среднеквадратичные ошибки 48 часовых прогнозов в районе Новосибирска

Характеристика	NCEP		WRF 3.1.1		WRF 3.4.1	
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
Высота 500 гПа (м)	19.4/8.9	17.9/5.8	19.6/-4.2	17.1/-4.9	20.1/8.0	17.2/4.5
Температура на 850 гПа (°C)	1.6/0.5	2.4/1.8	1.9/-0.1	2.0/-1.2	1.7/-0.1	1.6/-0.2
Векторная ошибка ветра на 250 гПа (м/с)	4.7	8.6	5.0	8.4	4.8	8.9

Здесь числитель – среднеквадратичная ошибка, знаменатель – средняя ошибка.

В летнее время прогнозы обеих версий WRF и NCEP демонстрируют занижение температуры (и, как следствие, высоты изобарических поверхностей) относительно данных радиозондирования в верхней тропосфере и выше (средняя ошибка высоты 50 гПа около -30 м). Подобное смещение характерно и для анализа NCEP – возможно, оно определено различием в обработке данных радиозондирования в Гидрометцентре и в NCEP.

Среднеквадратичные ошибки прогноза давления, приведенного к уровню моря (по синоптическим данным) для модели NCEP и рассматриваемых конфигураций WRF близки, средние ошибки малы (Табл.2).

Таблица 2 - Среднеквадратичные ошибки для района Новосибирска:

Заблаговременность часы	NCEP		WRF 3.1.1		WRF 3.4.1	
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
24	1.87	1.37	2.04	1.21	1.71	1.22
48	2.33	1.74	2.31	1.60	2.25	1.70
72	3.07	2.06	2.86	1.88	3.11	2.09

При увеличении горизонтального разрешения модели можно ожидать наиболее существенных изменений в рассчитываемых полях приземной температуры и осадков, как в полях, в значительной степени зависящих от неоднородности воспроизводимой моделью подстилающей поверхности и способности модели воспроизводить процессы того или иного масштаба [1].

На рисунке 2 показана зависимость средней и среднеквадратичной ошибок прогноза 2-метровой температуры для района Новосибирска и ЕТР от заблаговременности прогноза. Можно отметить, что летом среднеквадратичные ошибки прогноза WRF ниже, чем оценки прогноза NCEP. В районе Новосибирска это в значительной степени определяется систематическими ошибками прогноза NCEP. Поля анализа, с которого начинает счет WRF, имеют большую ошибку относительно наблюдений, чем краткосрочные прогнозы WRF, что связано с тем, что анализ – данные NCEP на относительно грубой сетке.

Зимние прогнозы приземной температуры для района Новосибирска имеют невысокую оправдываемость для всех моделей. Оценки WRF несколько уступают оценкам NCEP, версия 3.1.1 выглядит предпочтительнее ввиду значительных средних ошибок в версии 3.4.1. Проблема связана с уже указывавшимся, к примеру, в работе [10] недостатком модели – при устойчивой стратификации атмосферы в пограничном слое WRF еще более завышает устойчивость, занижая приземную температуру. Данную проблему не удалось решить путем подбора настроек модели. Из всех работ, проведенных авторами с WRF, данная проблема в максимальной степени проявляется в зимний период для территории Восточной Сибири (частые и сильные приземные инверсии).

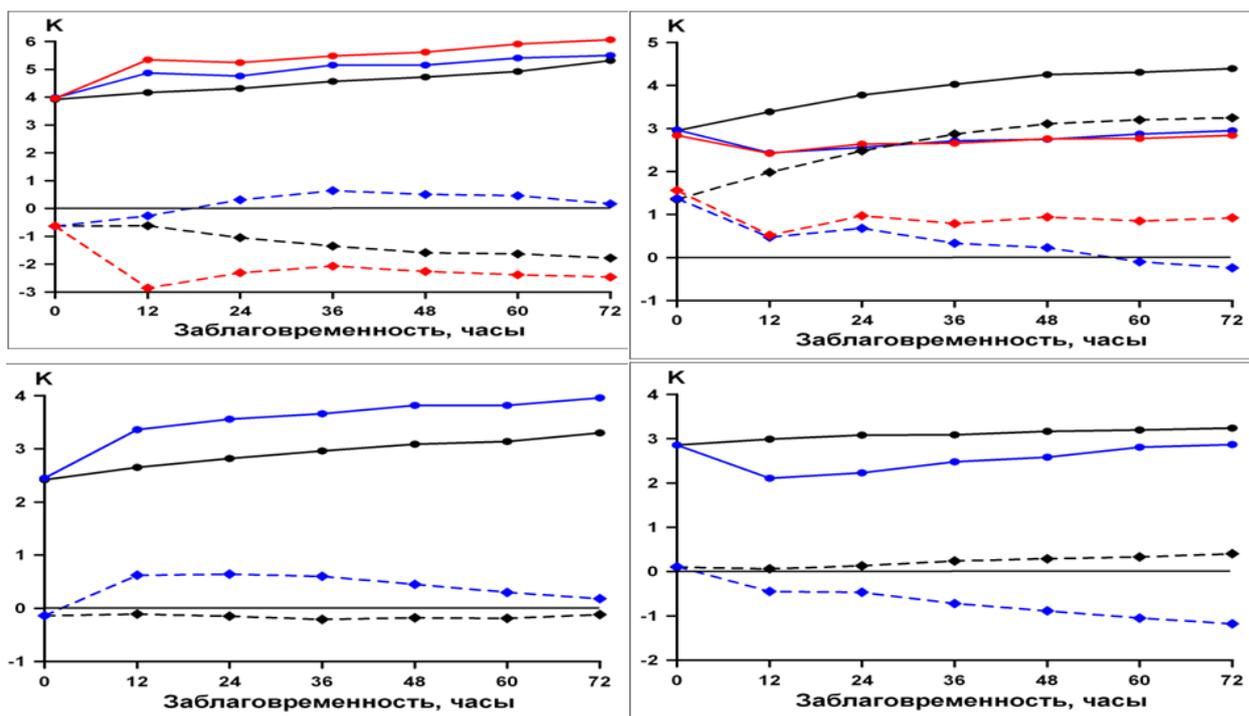


Рисунок 2 - Зависимость смещений и среднеквадратичных ошибок прогноза 2-метровой температуры для района Новосибирска и ЕТР в зависимости от заблаговременности прогноза.

На рисунке 3 приводится зависимость прогноза факта 12-часовых осадков в зависимости от заблаговременности – приводятся коэффициенты Пирси и Хирша [26]. Для района Новосибирска оцениваются осадки для интервалов 00-12 ВСВ и 12-24 ВСВ, для ЕТР 06-18 ВСВ и 18 ВСВ - 06 ВСВ следующего дня, что определено периодами сбора осадков на станциях. Для февраля 2012 года прогнозы осадков по модели WRF менее успешны, чем собственно прогнозы NCEP, качество прогноза WRF 3.4.1 заметно выше WRF 3.1.1. Летом в течение первых двух суток расчетов (на которые и считается оперативный прогноз WRF в СибНИГМИ) качество прогнозов факта осадков WRF близко или несколько превосходит прогноз NCEP.

Также рассчитывалась оправданность количества выпадающих осадков (согласно Руководящему Документу [9]). В районе Новосибирска в рассмотренный летний период (10 июля-4 августа 2012 года) оправдываемость количества осадков в первые 12 часов для прогнозов NCEP, WRF 3.1.1, WRF 3.4.1 составила 86, 87.3 и 86.1% соответственно; для периода 36-48 часов: 81.8, 74.4, 72.7%. Для ЕТР оправдываемость количества осадков для NCEP и WRF 3.1.1 для периода 6-18 часов составила 72.5 и 76.6%, для периода 30-42 часа 72.5 и 74.1% соответственно. В целом WRF несколько завышает количество выпадающих осадков.

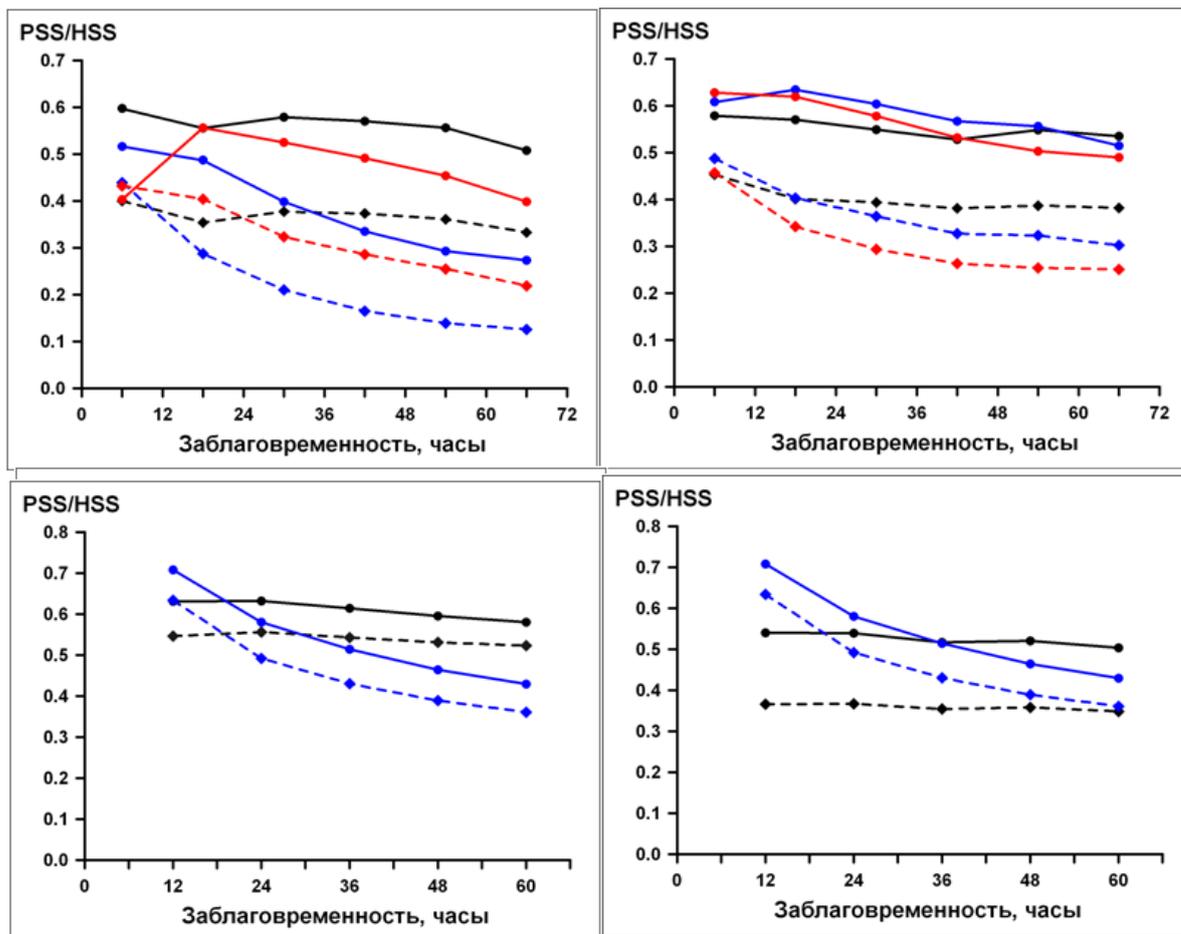


Рисунок 3 - Индексы Пирса и Хирша

В рассматриваемый летний период в рассматриваемой области в районе Новосибирска наблюдалось около 85 случаев сильных осадков (осадки более 15 мм за 12 часов), для ЕТР за тот же период – около 400 случаев. Для обоих регионов для прогнозов NCEP было типично занижение числа случаев с сильными осадками, для обеих рассматриваемых конфигураций WRF (для ЕТР рассматривалась только WRF 3.1.1) – завышение. Для ЕТР выбор из NCEP и WRF 3.1.1 лучшей модели для прогноза сильных осадков неочевиден. Для района Новосибирска прогнозы NCEP наименее успешны, прогнозы WRF 3.4.1 – наилучшие из рассмотренных. Вероятность того, что сильные осадки на станции будут предсказаны моделью WRF 3.1.1 на 36-48 часы прогноза составляет около 16%, (при ~90% ложных тревог, коэффициент Пирси 0.151, Хайке 0.116); моделью WRF 3.4.1 – 23 % (также при ~90% ложных тревог, Пирси 0.217, Хайке 0.135). В прогнозах же NCEP (на сетке 0.5x0.5) для периода 36-48 часов правильно предсказан только 1 случай сильных осадков.

## **5 ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПУСКА ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ ПО ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ НА БАЗЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ COSMO-SIB07**

### **Состав системы COSMO-SIB07**

Система краткосрочного прогноза погоды COSMO- SIB07 содержит:

- блок препроцессинга:

INT2CM подготовки начальных и граничных условий по прогностическим данным, полученным по материнской модели (глобальной или для ограниченной территории);

- блок прогноза погоды;
- блок постпроцессинга:

Часть, отвечающая за визуализацию прогностической информации.

### **Начальные данные для системы COSMO- SIB07**

Начальные и граничные данные получаются на основе глобальной оперативной конечно-разностной модели GME Немецкой службы погоды.

### **Характеристики модели атмосферы COSMO-SIB07**

Сетка модели атмосферы состоит из  $720 \times 500 \times 40$  узлов. Шаг сетки равен 7 км ( $0,0625^\circ$ ). Территория прогноза охватывает все субъекты Сибирского федерального округа (СФО) и Урало-Сибирского региона (Рис.4).

Характеристики использованной области интегрирования:

- Координаты левого нижнего угла в сдвинутой сферической системе координат ( $-23^\circ, -17^\circ$ )

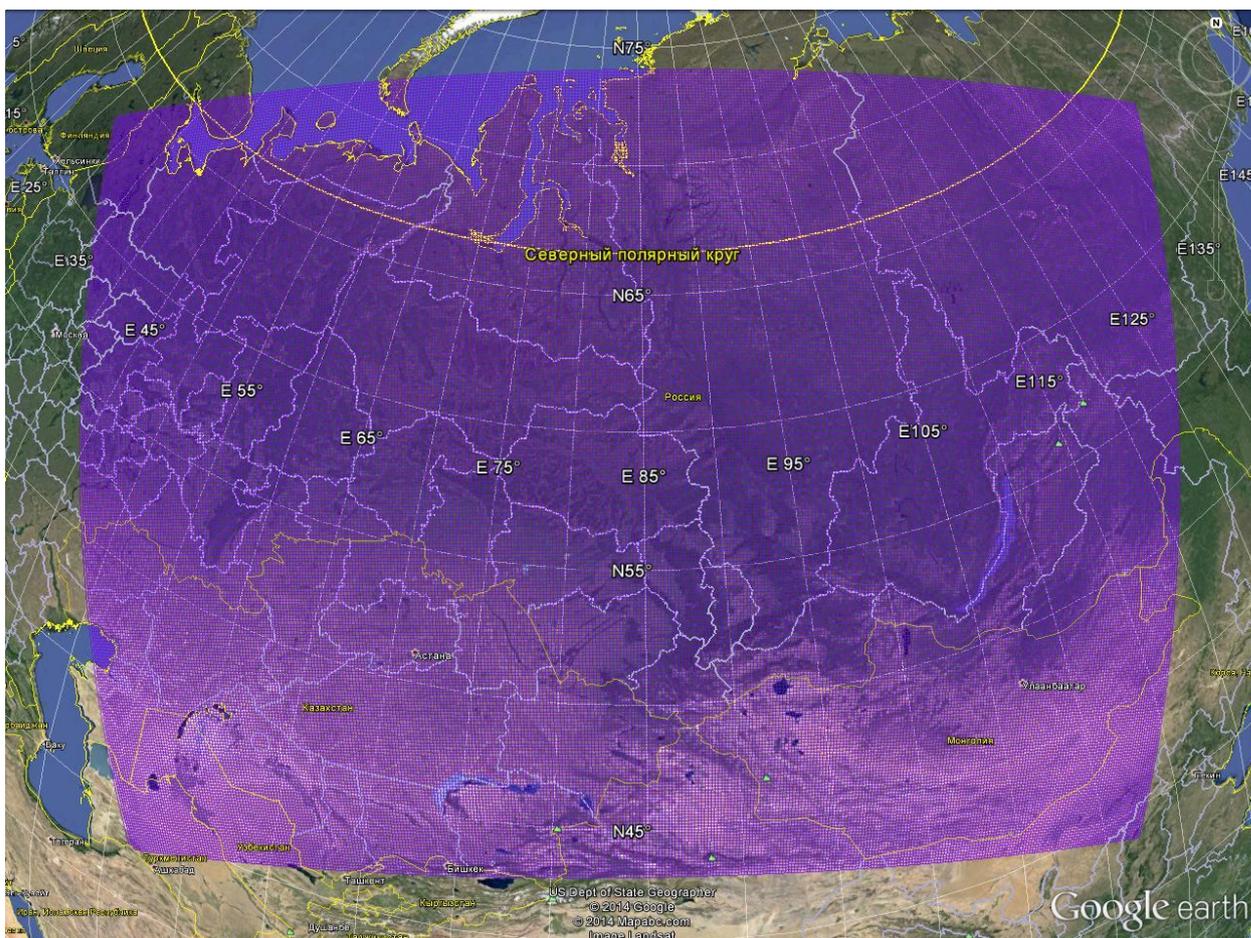


Рисунок 4 – Территория прогноза Сибирского федерального округа и Урало-Сибирского региона

### Прогностические метеорологические величины

В системе COSMO-SIB07 можно получить более 80 различных прогностических метеорологических величин, как трехмерных, так и двумерных. Часть из этих данных записываются в файлы в коде GRIB, причем для каждого срока – отдельный файл (с интервалом в 3 часа). Файлы нумеруются следующим образом: первые две цифры после Ifff – это количество суток, прошедших от начального момента прогноза, аналогично вторая пара цифр – количество прошедших часов, третья и четвертая пара цифр – это минуты и секунды, но они всегда будут уставлены в нулевые значения.

Файлы данных записываются в коде GRIB, для каждого срока – отдельный файл (с интервалом в 3 часа).

В результате визуализации получаются прогностические карты и метеограммы (Рис.5 и 6).

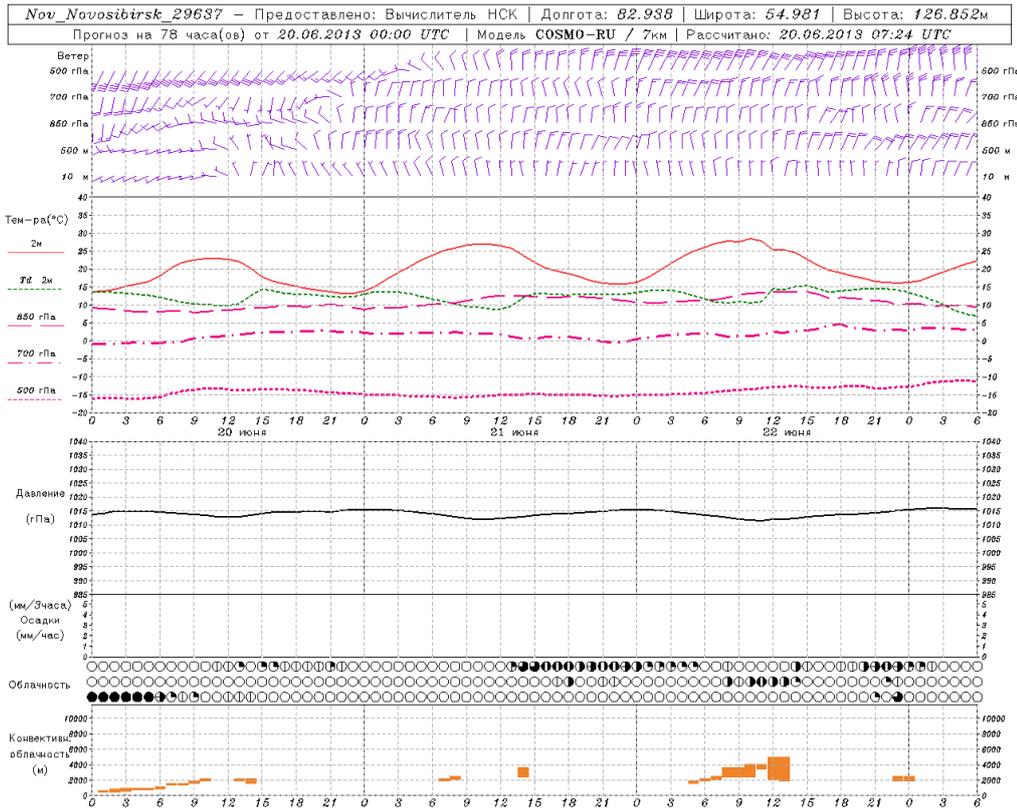
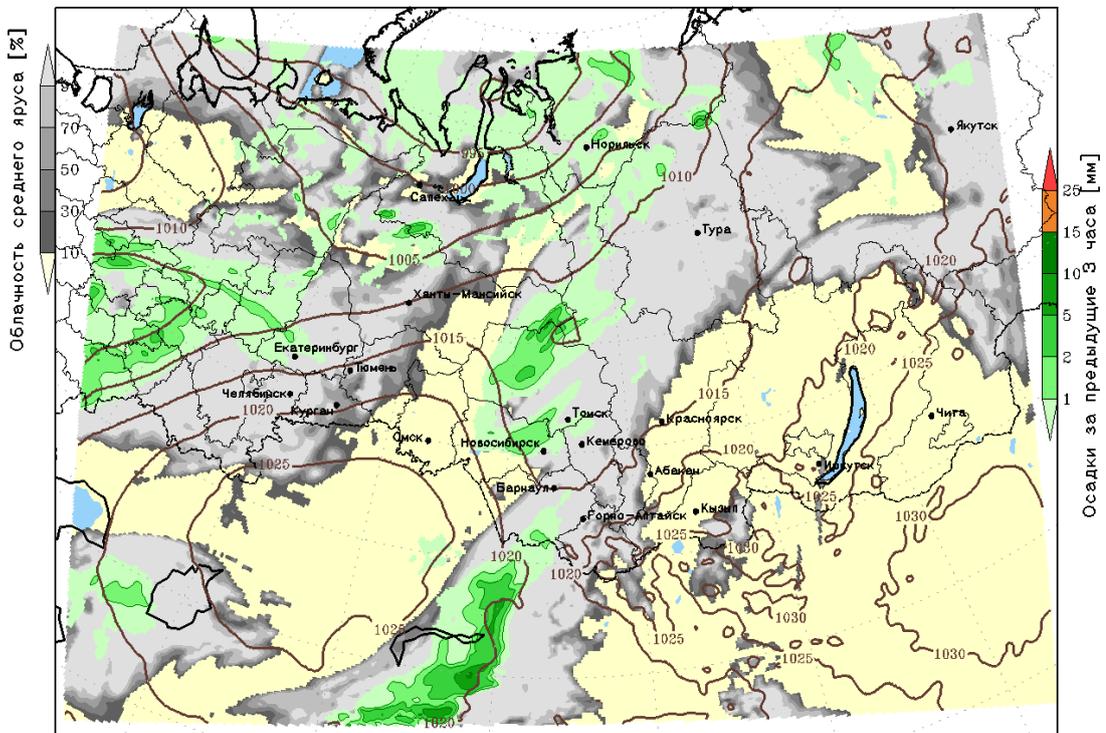


Рисунок 5 – Прогностические метеограммы

00:00 05 апр 2014 (UTC+0): Р ур. моря, облачность, осадки



Прогноз на 24ч. от 00:00 04 апр 2014 (UTC+0)

COSMO-SIB 7км

— Давление на уровне моря

Рисунок 6 – Пример прогностического поля облачности

На метеограмме в графическом виде представлена следующая прогностическая информация:

Ветер:

На изобарических поверхностях 500 гПа, 700 гПа, 850 гПа, а также на изометрических плоскостях в 500 м, 10 м.

Температура:

На изобарических поверхностях в 500 гПа, 700 гПа, 850 гПа, и температура на высоте 2 метров от поверхности Земли.

Давление:

Давление уровне моря в гПа.

Осадки:

Осадки в виде дождя или снега в мм.

Облачность:

Облачность верхнего, среднего и нижнего ярусов.

Конвективная облачность

Конвективная облачность на изометрических поверхностях 10000, 8000, 6000, 4000 и 2000 м.

Создаются следующие наборы прогностических карт:

- Осадки за предыдущие 12 часов
- Верхняя граница конвективной облачности
- Относительная влажность 300 гПа
- Относительная влажность 500 гПа
- Относительная влажность 700 гПа
- Относительная влажность 850 гПа
- ОТ
- Давление ур. моря, облачность, осадки
- Температура 2 м, давление ур. моря, H500
- Температура 2 м С, давление ур. моря, H500
- Температура на 500 гПа
- Температура на 700 гПа
- Температура на 850 гПа
- Ветер 10 м

- Ветер 500 гПа, порывы на 10 м
- Ветер 300
- Ветер 500
- Ветер 700
- Ветер 850

Отдельные наборы карт для западной части сибирского региона:

- Осадки за предыдущие 12 часов
- Верхняя граница конвективной облачности
- Давление ур. моря, облачность, осадки
- Температура 2 м, давление ур. моря, H500
- Температура 2 м, 850 гПа
- Ветер 10 м

На 80 вычислительных ядрах высокопроизводительной ЭВМ SGI Altix4700 время счета составляет порядка 4 часов 30 минут.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отчете приведены результаты исследования качества воспроизведения динамики атмосферы с помощью различных версий WRF над Сибирским регионом с разрешением 9-14 км, а также описана технология выпуска прогнозов погоды по территории Сибири на ЭВМ SGI Altix4700 с помощью системы мезомасштабного прогнозирования **COSMO-SIB07**.

Результаты сравнения различных версий WRF над Сибирским регионом с глобальными прогнозами NCEP (распространяются с пространственным разрешением  $0.5 \times 0.5^\circ$ , собственно же разрешение модели NCEP около 27 км) показали, что в теплый период использование WRF дополняет прогнозы NCEP. В холодный период при всех проверенных авторами настройках WRF демонстрирует отрицательные смещения в приземной температуре при устойчивой стратификации атмосферы и завышение количества осадков. Возможно, приводимые в данной работе оценки помогут другим исследователям оценить целесообразность использования модели для решения своих задач.

Для организации прогноза по модели WRF в ФБГУ СибНИГМИ совместно с Гидрометцентром России разработан оперативно работающий информационно-вычислительный комплекс, в рамках которого рассчитываются и визуализируются прогнозы WRF с заблаговременностью до 48 часов. Подготавливаемая продукция оперативно поступает в ГУ «Новосибирский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с функциями регионального специализированного метеорологического центра Всемирной службы погоды» и используется метеорологами центра при составлении официальных прогнозов.

Примером задач, где востребована более высокая детализация метеорологических полей (как расширение номенклатуры, так и более высокое пространственное и временное разрешение) могут служить прогнозы концентраций примесей (см., к примеру, обзорную работу [27], или [5]). Относительно прогнозов NCEP удачно рассчитываются WRF сильные осадки. Естественным применением модели является участие в подготовке ансамблевого прогноза – на вычислительных серверах в СибНИГМИ и Гидрометцентре России проводится счет модели COSMO-RU с различными разрешениями, кроме этого имеются данные наблюдений, что позволяет собрать систему краткосрочного ансамблевого прогноза погоды/наукастинга, подобную описываемым в работе [25]. В планах научно-технической деятельности Гидрометцентра России и СибНИГМИ на 2014-2016 года уделено внимание развитию и внедрению систем наукастинга на основе

моделей COSMO-RU и WRF. Прогнозы осадков с высокой пространственной и временной детальностью, особенно в теплый период, полезны для расчета речного стока. В СибНИГМИ для западносибирского региона и Алтая запланирована разработка совместной метео-гидрологической модели на базе WRF и 2.5-мерной численной модели гидродинамики и качества воды CE-QUAL-W2 [19]).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вельтищев Н.Ф. 1988. Мезометеорология и краткосрочное прогнозирование. Сборник лекций, ВМО № 701. Женева. – 136 с.
2. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Численные прогнозы погоды по негидростатическим моделям общего пользования WRF-ARW и WRF-NMM. – Сборник статей «80 лет Гидрометцентру России», 2009, с. 94-135.
3. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Эксперименты по усвоению радиолокационной отражаемости в модели WRF ARW. – Метеорология и гидрология, 2012, № 3, с. 5-19.
4. Вильфанд Р.Б., Ривин Г.С., Розинкина И.А. Мезомасштабный краткосрочный прогноз погоды в Гидрометцентре России на примере COSMO-RU. – Метеорология и Гидрология. 2010, № 1, с. 5-17.
5. Зарипов Р.Б., Коновалов И.Б., Глазкова А.А. Расчет концентраций загрязняющих веществ с использованием модели атмосферы WRF ARW и химико-транспортной модели CHIMERE. – Метеорология и Гидрология, сдана в печать.
6. Кисельникова В.З. Объектно-ориентированная оценка качества прогноза осадков. – Метеорология и Гидрология, 2013, № 4, с. 5-11.
7. Кузнецова И.Н., Коновалов И.Б., Глазкова А.А. и др. Оценка вклада трансграничного переноса в загрязнение атмосферы в Дальневосточном регионе на основе применения химическо-транспортной модели. – Метеорология и Гидрология, 2013, № 3, с. 17-29.
8. Розинкина И.А., Алферов Ю.В., Астахова Е.Д. и др. Глобальная оперативная спектральная модель Гидрометцентра России: основные характеристики и особенности использования в технологиях кратко- и среднесрочного прогноза. – Сборник статей «80 лет Гидрометцентру России», 2009, с. 160-292.
9. Руководящий документ РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. Обнинск, «ИГ-СОЦИН», 2009. 50 стр.
10. Смирнова М.М., Рубинштейн К.Г., Юшков В.П. Оценка воспроизведения региональной моделью характеристик пограничного слоя атмосферы. – Метеорология и гидрология, 2011, № 12, с. 5-16.
11. Степанов Ю.А., Жабина И.И. АСОИ-ХЕОН4 – многомашинная оперативная автоматизированная технология ГУ «Гидрометцентр России», предназначенная для информационного обеспечения, регламентированного счета и формирования продукции различных прогностических моделей. – Сборник статей «80 лет Гидрометцентру России», 2010, с. 435-452.
12. Толстых М.А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. – М.

- Обнинск, ОАО ФОП, 2010, 111 с.
13. Толстых М.А., Богословский Н.Н., Шляева А.В. и др. Полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ. – Сборник статей «80 лет Гидрометцентру России», 2010, с. 193-216.
  14. ARW Version 3 modeling system user's guide. July 2012. – [www.mmm.ucar.edu](http://www.mmm.ucar.edu), 383 pp.
  15. Baklanov A., Tijm S., Rontu L. HIRLAM/HARMONIE-Atmospheric Chemical Transport Models Integration. – Integrated Systems of Meso-Meteorological and Chemical Transport Models, Springer, 2011, pp. 215-227.
  16. Baldauf M., Seifert A., Furstner J. et al. Operational Convective-Scale Numerical Weather Prediction with the COSMO Model: Description and Sensitivities. – Monthly Weather Review, 2011, vol. 139, No 12, pp. 3887-4905.
  17. Benjamin S., Weygandt S., Hu M. et al. WRF-ARW in NCEP operations: Rapid Refresh. Extended Abstract of report on 13<sup>th</sup> Annual WRF Users' Workshop (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/workshops/WS2012/ppts/2.3.pdf>).
  18. Braun A., Milton S., Cullen M. et al. Unified modelling and prediction of weather and Climate: A 25-year Journey. – Bull. Amer. Meteor. Soc., 2012, vol. 93, No 12, pp. 1865-1877.
  19. Cole T.M., and S.A. Wells, (2006). "CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.71." User Manual, prepared for US Army Engineering and Research Development Center, Vicksburg, MS. 783 p. Доступен на сайте <http://www.ce.pdx.edu/w2>.
  20. Davies T., Cullen M.J.P., Malcolm A.J. et al. A new dynamical core for the Met Office's global and regional modelling of the atmosphere. – Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 2005, vol. 131, pp. 1759-1782.
  21. Deque M., Dreveton C., Braun A. et al. The ARPEGE/IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modelling. – Climate Dynamics, 1994, vol. 10, No 4-5, pp. 249-266.
  22. Duda M.G., Manning K.W., Powers J.G. AMPS: A real-time application of WRF over Antarctica. – Presentation at NCAR-NCAS WRF Workshop 2009 ([http://www.mmm.ucar.edu/people/duda/files/duda\\_2009.ppt](http://www.mmm.ucar.edu/people/duda/files/duda_2009.ppt)).
  23. Fillion L., Tanguay M., Lapalme E. et al. The Canadian Meteorological Center Limited-Area Regional Data Assimilation and Forecasting System. – Weather and Forecasting, 2010, vol. 25, No 6, pp. 1645–1669.
  24. Grell G.A., Дивъйни D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. – Geophysical Research Letters, 2002, vol. 29,

- No 14, pp. 38-1–38-4, doi: 10.1029/2002GL015311.
25. Huang L. X., Isaac G.A., Sheng G. Integration NMP forecasts and observation data to improve nowcasting accuracy. – *Weather and Forecasting*, 2012, vol. 27, No 4, pp. 938-953.
  26. Jolliffe I.T., Stephenson D.B. *Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science*. – John Wiley & Sons Ltd., 2003, 240 p.
  27. Kukkonen J., Olsson T., Schultz D. M. et al. A review of operational, regional-scale, chemical weather forecasting models in Europe. – *Atmos. Chem. Phys.*, 2012, vol. 12, pp. 1–87.
  28. Mailhot J., Błlair S., Lefaiivre L. et al. The 15-km version of the Canadian regional forecast system. – *Atmos.-Ocean*. 2006. vol. 44, No 2, pp. 133-149.
  29. Miguez-Macho G. Regional climate simulations over North America: Interaction of local processes with improved largescale flow. – *J. Climate*, 2005, vol. 18, pp. 1227–1246.
  30. Miguez-Macho G. Spectral nudging to eliminate the effects of domain position and geometry in regional climate model simulations. – *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 2004, vol. 109, D13104. doi:10.1029/2003JD004495.
  31. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J. et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. – NCAR/TN–475+STR, NCAR Technical Note, June 2008.
  32. Stauffer D.R., Seaman N.L. Use of Four-Dimensional Data Assimilation in a Limited-Area Mesoscale Model Part I: Experiments with Synoptic-Scale Data. – *Monthly Weather Review*, 1990, vol. 118, June, pp. 1250-1277.
  33. Yang D., Ritchie H., Desjardins S. et al. High-Resolution GEM-LAM Application in Marine Fog Prediction: Evaluation and Diagnosis. – *Weather and Forecasting*, 2010, vol. 25, No 2, pp. 727-748.