

СИСТЕМЫ АНСАМБЛЕВЫХ ПРОГНОЗОВ ПО МОДЕЛИ COSMO ДЛЯ РЕГИОНА СОЧИ: РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫМИ ПРОГНОЗАМИ XXII ЗИМНЕЙ ОЛИМПИАДЫ

Е.Д. Астахова¹, А. Монтани², Д.Ю. Алферов¹

*¹Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации*

*²ARPA Emilia-Romagna, Servizio Idro-Meteo-Clima, Italy
elena_ast_hmc@mail.ru, amontani@arpa.emr.it, dmalfferov@yandex.ru*

Введение

Современной тенденцией в прогнозировании погоды является широкое применение ансамблевых методов. Используя результаты ансамблевых систем прогноза, можно не только более точно предсказать эволюцию состояния атмосферы, но также дать априорную оценку качества этого прогноза и предоставить вероятностную информацию, облегчающую принятие решений в сложных ситуациях.

Вероятностная информация чрезвычайно важна при составлении прогноза погоды для периода проведения крупных спортивных состязаний на открытом воздухе. Для зимних Олимпийских игр (последние из которых проводились в 2014 году в России, в Сочинском регионе) возможность и успешность проведения соревнований по таким видам спорта, как биатлон, слалом, скоростной спуск, прыжки с трамплина, лыжные гонки и т. д., существенным образом зависит от погодных условий. Поэтому синоптикам, обслуживающим соревнования такого уровня, приходится не только предоставлять стандартный прогноз, опираясь на результаты численного моделирования и данные

наблюдений, но и давать рекомендации о возможности проведения соревнований по различным видам спорта в запланированное время или о необходимости их переноса на другой срок. Прогнозы вероятности возникновения условий, критичных для возможности проведения соревнований, чрезвычайно полезны для решения такой задачи.

В 2011 году в рамках консорциума COSMO был предложен приоритетный проект CORSO (Consolidation of Operation and Research results for the Sochi Olympic games) [12], основной целью которого было метеорологическое обеспечение зимних Олимпийских игр 2014 года и который рассматривался как вклад консорциума в международный проект Всемирной программы метеорологических исследований ВМО FROST-2014 (Forecast and Research: the Olympic Sochi Testbed) [6].

Важность предоставления вероятностных прогнозов и широкого использования их результатов синоптиками Олимпийских игр в Сочи, а также необходимость дальнейшего развития в области ансамблевого прогнозирования определили формулировку одной из основных задач проекта CORSO: «Развитие и адаптация систем ансамблевого прогноза, основанных на модели COSMO, для региона Сочи». Для решения этой задачи предполагалось:

- 1) адаптировать для региона Сочи систему COSMO-LEPS, разработанную в рамках консорциума COSMO [10];
- 2) разработать систему ансамблевого прогнозирования высокого разрешения для Сочинского региона;
- 3) обеспечить оперативными вероятностными прогнозами как Олимпийские/Паралимпийские игры, так и предшествующие им соревнования, проводимые в Сочинском регионе.

Работа по проекту велась совместно российскими и итальянскими учеными, представляющими такие прогностические организации, как Гидрометцентр России и ARPA-SIMC.

Результаты работы представлены ниже и в статье [1] настоящего сборника.

Адаптация системы COSMO-LEPS для региона Сочи и обеспечение оперативными вероятностными прогнозами XXII Олимпийских зимних игр

В рамках консорциума COSMO итальянскими учеными была разработана система мезомасштабного ансамблевого прогноза COSMO-LEPS для территории Европы [10]. Система уже более 10 лет функционирует в оперативном режиме и показала хорошие результаты, в частности для областей со сложной орографией [7, 13, 14].

Для обеспечения Олимпиады вероятностными прогнозами в ARPA-SIMC была создана версия системы COSMO-LEPS для территории Сочинского региона, названная COSMO-S14-EPS [11] (S14 – аббревиатура от Sochi 2014). С идеологической точки зрения методы и подходы, используемые в ансамблевых системах COSMO-LEPS и COSMO-S14-EPS, одинаковы. Граничные и начальные условия берутся из прогнозов по глобальной ансамблевой системе Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF EPS, [9]). Использование высокого разрешения по горизонтали в прогнозах по ограниченной территории и требование минимальности времени подготовки прогнозов в оперативном режиме в сочетании с ограниченностью компьютерных ресурсов приводят к необходимости уменьшения размера ансамбля. Это достигается путем выделения наиболее репрезентативных прогностических реализаций глобальной системы ECMWF EPS методами кластеризации (при этом используются прогнозы геопотенциала, скорости ветра и влажности с заблаговременностью 48–72 часа для уровней 500, 700 и 850 гПа) [8, 10]. Отобранные таким образом прогностические реализации глобальной системы ансамблевых прогнозов интерполируются на сетку мезомасштабной модели COSMO [4] и используются в качестве начальных и граничных условий при прогнозе по ограниченной территории. Наиболее существенные различия систем COSMO-S14-EPS и COSMO-LEPS – область интегрирования (регион Сочи или Европа) и размер ансамбля (10 или 16 прогностических реализаций). Основные характеристики ансамблевых систем представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики рассматриваемых ансамблевых систем

Система	ECMWF EPS	COSMO-LEPS	COSMO-S14-EPS	COSMO-Ru2-EPS
Разрешение по горизонтали (км)	~30	7	7	2,2
Разрешение по вертикали (число уровней)	62	40	40	50
Область интегрирования	Глобус	Европа	SOCHI-DOM (рис. 1)	SOCHI-2,2 (рис. 1)
Максимальная заблаговременность прогноза (ч)	240	132	72	48
Количество ансамблевых реализаций	50+1	16	10	10
Начальное время прогноза (ч ВСВ)	00, 12	00, 12	00, 12	00, 12
Начальные и боковые граничные условия	Метод сингулярных векторов + ансамблевое усвоение данных	Интерполяция специально отобранных реализаций ECMWF EPS	Интерполяция специально отобранных реализаций ECMWF EPS	Интерполяция всех реализаций COSMO-S14-EPS
Возмущения модели	Стохастическое возмущение физических тенденций и обратное рассеяние кинетической энергии	Вариации коэффициентов в схемах параметризации физических процессов подсеточного масштаба	Вариации коэффициентов в схемах параметризации физических процессов подсеточного масштаба	нет
Метод расчета конвекции	Параметризация			Нет параметризации глубокой конвекции

Начиная с 19 декабря 2011 г. прогнозы по системе COSMO-S14-EPS выпускались в оперативном режиме дважды в сутки по срокам 00 и 12 ч ВСВ. Ансамблевый постпроцессинг выполнялся с помощью пакета Fieldextra, разработанного консорциумом COSMO (<http://www.cosmo-model.org/content/support/software/default.htm>). Вычисления производились сотрудниками ARPA-SIMC на компьютере ECMWF, компьютерное время было предоставлено странами-членами консорциума COSMO.

Из огромного объема выходной продукции системы ансамблевого прогноза были выбраны наиболее существенные поля, которые передавались в Гидрометцентр России по каналам связи и размещались на сервере проекта FROST-2014. При определении состава необходимой для передачи прогностической информации учитывались международный опыт, рекомендации ВМО и ЕЦСПП по использованию ансамблевых прогнозов [5, 16], пожелания сочинских синоптиков, а также список факторов погоды, критичных для отмены или переноса соревнований и разработанных международными федерациями различных видов спорта (табл. 2).

В оперативном режиме в Гидрометцентр России поступали поля вероятности различных событий (например, вероятности того, что температура, скорость ветра или суммы осадков за фиксированный интервал времени превысят заранее определенные пороговые значения), поля среднего прогноза по ансамблю (определяемого как арифметическое среднее всех прогнозов) и разброса прогнозов в ансамбле (в качестве меры разброса использовалось среднеквадратическое отклонение прогнозов ансамбля от среднего по ансамблю) для ряда характеристик атмосферы для всей области SOCHI-DOM интегрирования модели (более подробная информация приведена в табл. 3 и на рис. 1). Кроме перечисленных выше результатов ансамблевого постпроцессинга системы COSMO-S14-EPS, в Гидрометцентр России поступали также все прогностические реализации ансамбля для несколько меньшей области SOCHI-MINI (рис. 1), соответствующей региону, выбранному для детального сравнения ансамблевых прогнозов различных прогностических центров в проекте FROST-2014.

Таблица 2
Критические факторы погоды для принятия решения об отмене и переносе спортивных соревнований (красный), переносе соревнований (желтый) и факторы для учета при планировании соревнований (зеленый)

Осадки	Новый снег	Низкая видимость	Ветер	Температура воздуха	Влажность воздуха
Горные лыжи					
> 15 мм/ч	>30 см	<20 м(трасса)	>17-19 м/с		
Тип	> 15 см	<20 м(участки)	> 11 м/с	<-25°C	
Факт	> 5 см; > 2 см/6ч	<50 м(участки)	>14 м/с(порывы)		
Сани, бобслей, скелетон					
	>30 см/12ч; >15 см/6ч				
	> 15 см/12ч		>15 м/с		>85% при T=T _d <30% при T>4°C
Факт	Факт	Факт	>13 м/с; боковой ветер	Значение	
Пряжки на лыжах					
			>4 м/с; > 90 град(румб)		
	>2 см/2ч	<20 м	>3 м/с; >4 м/с (порывы); > 45 град(румб)		
Факт				>0°C	Быстрый рост
Тип					
Биатлон					
				< -20°C	
		<50 м	> 5 м/с		
Фристайл, сноуборд					
		<30 м			
Факт	Факт	<250 м	> 7 м/с	< -25°C	
Лыжные гонки, двоеборье					
				< -20°C	
Закрытые помещения					
Факт	Факт			Значение	Значение

Таблица 3
Перечень продукции COSMO-S14-EPS, поступающей в Гидрометцентр России в 2011–2014 гг.

Тип информации	Метеоэлемент	Интервал времени	Событие
Вероятность	Максимальная температура на уровне 2 м	3 часа	Выше 0, 5°C Ниже -5°C
Вероятность	Минимальная температура на уровне 2 м	3 часа	Выше 5°C Ниже -25, -20, -10, -5, 0 °C
Вероятность	Скорость ветра на уровне 10 м	мгновенная	Более 3, 4, 5, 7, 11, 13, 15, 17 м/с
Вероятность	Порывы ветра на уровне 10 м	3 часа	Более 4, 5, 10, 14, 15, 17 м/с
Вероятность	Суммарные осадки, дождь, снег	3 часа	Более 0,2, 1, 10, 15 мм
Вероятность	Суммарные осадки, дождь, снег	6 часов	Более 1, 5, 10, 15 мм
Вероятность	Суммарные осадки, дождь, снег	12 часов	Более 1, 5, 10, 20, 50 мм
Вероятность	Суммарные осадки, дождь, снег	24 часа	Более 0,2, 10, 20, 50, 100 мм
Среднее	H500, T2m, T850, pmsl Суммарные осадки	Мгновенное 3 часа	
Разброс	H500, T2m, T850, pmsl Суммарные осадки	Мгновенное 3 часа	

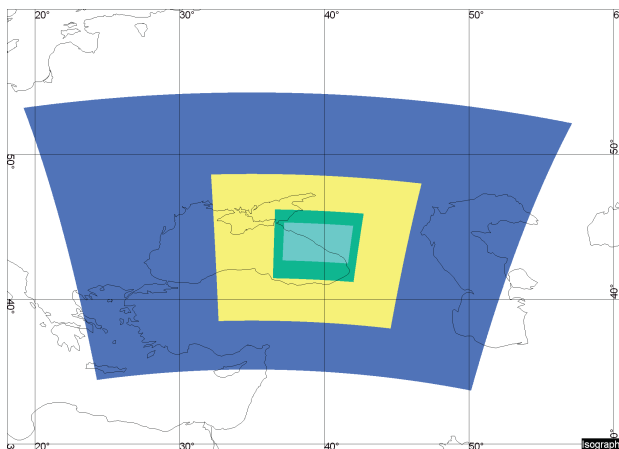


Рис 1. Области, для которых поступала различная информация ансамблевой системы COSMO-S14-EPS в Гидрометцентр России в 2011–2014 гг.

Синим и зеленым цветом выделены области SOCHI-DOM и SOCHI-MINI (см. текст для пояснений). Желтым цветом выделена область SOCHI-IC, для которой поступали граничные и начальные условия для системы COSMO-Ru2-EPS. Голубым прямоугольником выделена область SOCHI-2,2 интегрирования модели в COSMO-Ru2-EPS.

Для последующего построения ансамблевых метеограмм в дополнение к ансамблевым реализациям передавались также результаты детерминированных прогнозов ЕЦСПП по модели с разрешением T1279L137 (~16 км по горизонтали), интерполированные на 7-километровую сетку модели COSMO. Перечисленные выше данные были доступны с дискретностью 3 часа. Кроме того, на сервер проекта FROST-2014 поступали начальные и граничные условия (с дискретностью 1 час) для ансамблевой системы высокого разрешения COSMO-Ru2-EPS (см. следующий раздел и [1]) для области SOCHI-IC (рис. 1). На рис. 1 представлены все перечисленные выше области, а также область SOCHI-2.2 интегрирования модели в COSMO-Ru2-EPS. Вся поступавшая информация архивировалась и в настоящее время доступна международному научному сообществу для использования.

Визуализация результатов ансамблевого прогноза по системе COSMO-S14-EPS производилась в Гидрометцентре России. Поля средних по ансамблю, разброса, а также поля вероятностей различных событий представлялись на сайте проекта FROST-2014 (<http://frost2014.meteoinfo.ru/forecast/goomap>) с использованием карт Google в качестве основы. Кроме того, были разработаны сценарии на командном языке операционной системы Linux и на языке сценариев графического пакета GrADS, позволяющие представлять информацию в сжатом виде, пригодном для быстрого просмотра синоптиками. С помощью этого программного обеспечения подготавливались карты вероятностей и ансамблевые метеограммы. На ансамблевых метеограммах дополнительно был представлен детерминистский прогноз ЕЦСПП, интерполированный на сетку COSMO-S14-EPS. Результаты прогнозов в графической форме передавались синоптикам по электронной почте, а также представлялись на сайте проекта FROST-2014 (<http://frost2014.meteoinfo.ru/forecast/arpa-new>). Прогнозы становились доступны пользователям приблизительно через 8,5 часов после времени наблюдения.

На рис. 2 и 3 представлен пример ансамблевой продукции, предоставленной синоптикам во время Олимпиады: карты вероятности и ансамблевые метеограммы.

Сопоставить прогноз по системе COSMO-S14-EPS с результатами других ансамблевых систем и детерминистских моделей, участвовавших в проекте FROST-2014 [2], можно было на «мультимодельной» страничке сайта проекта <http://frost2014.meteoinfo.ru/forecast/multi-system-point-forecasts>, на которой в оперативном режиме представлялись прогнозы для 31 станции Сочинского региона и соответствующие результаты наблюдений. В качестве прогнозов на станциях использовались значения в ближайшем узле модельной сетки. Для ансамблей на графиках было представлено ансамблевое среднее. Кроме того, на сайте можно было посмотреть в режиме on-line графики ошибок прогнозов на станциях.

Forecast from 00Z10Mar2014. Valid from 20140311/18 to 20140311/21
3h cumulated precipitation probabilities

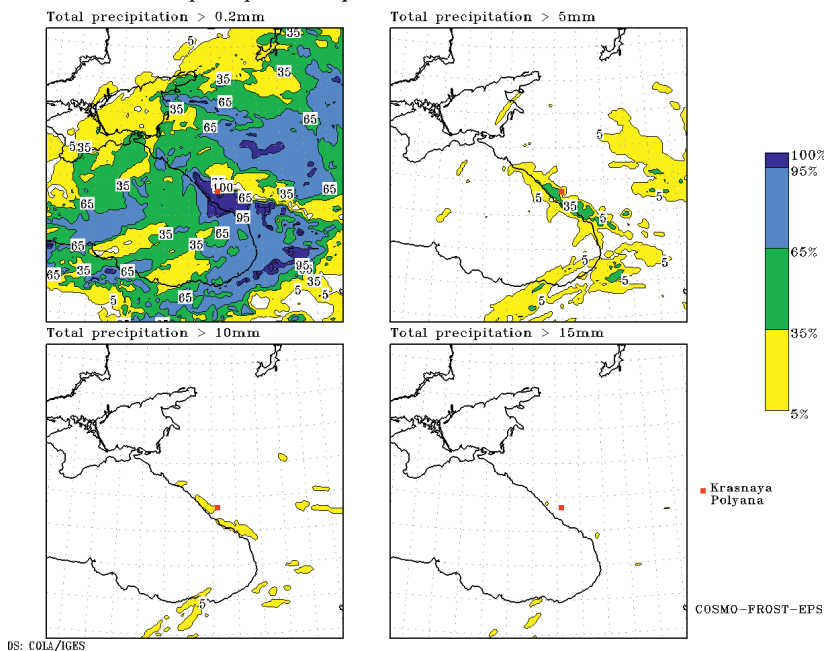


Рис. 2. Поля вероятности событий «3-часовые суммы осадков превышают 0,2, 5, 10 и 15 мм». Прогноз с заблаговременностью 45 ч по системе COSMO-S14-EPS от 00 ч ВСВ 10.03.2014 г.

Разработка системы ансамблевых прогнозов высокого разрешения для Сочинского региона

Общей тенденцией в численном прогнозировании погоды в мире является увеличение пространственного разрешения используемых моделей. Особенно существенно высокое разрешение для корректного описания процессов в областях со сложным рельефом, например в горных областях, где сильны расхождения модельной и реальной высоты поверхности и влияние подсеточной орографии. Грубость разрешения приводит к большим ошибкам численных прогнозов в отдельных пунктах. Обычно в качестве прогноза в пункте используют результат в ближайшем узле сетки модели.

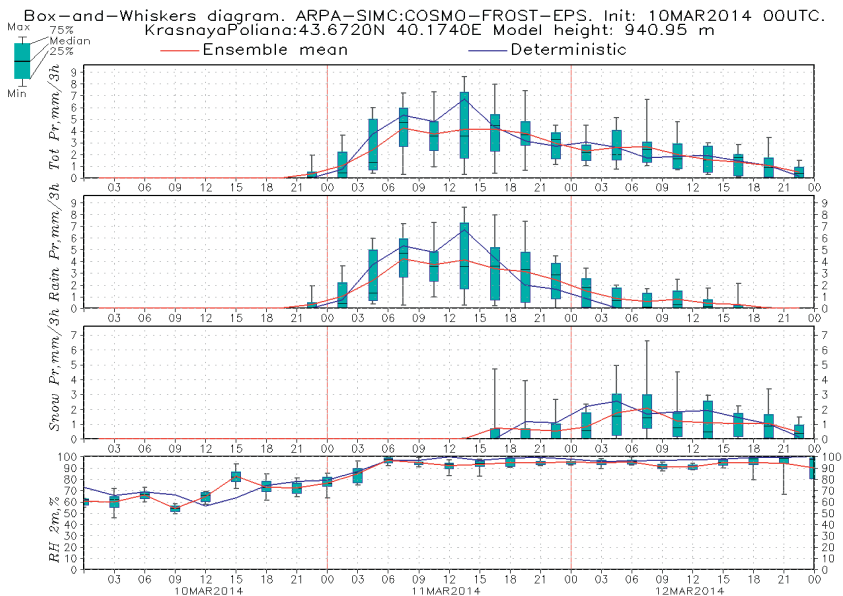


Рис. 3. Ансамблевые метеограммы для суммарных осадков, осадков в виде дождя и снега, а также для относительной влажности на уровне 2 м для станции Красная Поляна. Прогноз по системе COSMO-S14-EPS от 00 ч ВCB 10 марта 2014 г.

Для горной местности нередко оказывается, что этот узел расположен существенно выше или ниже рассматриваемого пункта или даже вообще в соседнем ущелье или с другой стороны хребта, где метеорологические процессы совершенно иные. Использование статистических методов коррекции позволяет улучшить ситуацию, но предпочтительным выходом является увеличение разрешения в сочетании с коррекцией. Моделирование с разрешением не менее 2–3 км позволяет не только более корректно учесть влияние орографии, но и явным образом описать процессы глубокой конвекции. Изложенное выше обусловило необходимость ансамблевого моделирования с высоким (2–3 км) разрешением для улучшения метеорологического обеспечения XXII Олимпийских игр.

На основе опыта работы с моделью с разрешением 2,2 км COSMO-Ru2 для Южного федерального округа России [3] и использования регулярно передаваемых по каналам связи в Гидрометцентр России результатов COSMO-S14-EPS в качестве начальных и граничных условий была создана система ансамблевого прогноза высокого пространственного разрешения, названная COSMO-Ru2-EPS. Основные характеристики этой системы приведены в табл. 1. Система COSMO-Ru2-EPS была реализована на компьютере SGI Altix 4700 Росгидромета. Методы подготовки вероятностной продукции и визуализации были аналогичны применяемым для COSMO-S14-EPS. Анализ качества прогнозов этой ансамблевой системы зимой 2012–2013 гг. показал их полезность и подтвердил, что использование высокого разрешения позволяет дать более детальную информацию о будущем состоянии атмосферы. В этой связи было решено зимой-весной 2014 г. регулярно предоставлять синоптикам Олимпиады прогноз по COSMO-Ru2-EPS. С середины ноября 2013 г. по конец апреля 2014 г. система функционировала в оперативном режиме, ежедневно выпуская прогнозы по сроку 00 и 12 ч ВСВ, а ансамблевые метеограммы размещались на сайте проекта FROST-2014 (<http://frost2014.meteoinfo.ru/forecast/cosmo-ru2-epsgrams>). Для температуры на уровне 2 м осуществлялась коррекция с использованием прогностического градиента температуры, полученного из детерминистской модели COSMO-Ru2, дающей оперативный прогноз по региону Сочи [3] и имеющей аналогичную топографию. Скорректированная температура приводилась в качестве дополнительного графика на ансамблевых метеограммах. Более подробное описание системы и анализ ее качества даны в настоящем сборнике в статье [1].

Оценка качества ансамблевого прогноза

Качество ансамблевых прогнозов анализировалось для некоторых отдельных случаев (сильные осадки, фен, сильные порывы ветра и т.д.) и постоянно оценивалось синоптиками. Оказалось, что обе системы хорошо воспроизводят температуру на уровне 2 м и осадки (при этом правильно определяется их фаза),

причем прогностические карты COSMO-Ru2-EPS содержат существенно больше деталей (см. [1]). Порывы ветра на уровне 10 м прогнозируются хуже.

Анализ отдельных случаев несомненно ценен, так как позволяет оценить качество воспроизведения системой сложных ситуаций и получить представление о ее возможных ошибках. Однако для объективной оценки качества прогнозов ансамблевых систем необходимо рассматривать длинные ряды прогнозов и по ним рассчитывать вероятностные оценки их качества.

Такого рода анализ качества прогнозов COSMO-S14-EPS и ECMWF EPS был выполнен с использованием данных SYNOP за период январь-март 2012 года и показал преимущество мезомасштабной системы [13].

Сравнение двух мезомасштабных систем COSMO-S14-EPS и COSMO-Ru2-EPS проводилось для января-февраля 2013 г. и 15 января – 15 марта 2014 г. с использованием данных SYNOP и автоматических метеорологических станций. Расчеты для января-февраля 2013 г. были выполнены с помощью программы VERSUS, разработанной консорциумом COSMO. Результаты верификации прогнозов температуры на уровне 2 м и осадков по двум системам представлены в [1]. Обе системы показали хорошее качество прогнозов, однако однозначного преимущества какой-либо системы не было обнаружено. Заметим, что это может быть связано не только с качеством прогнозов по двум системам, но и с непригодностью стандартных методов для оценки результатов моделирования с высоким пространственным разрешением или с недостаточной густотой наблюдательной сети в регионе Сочи. Следует также отметить недостаточный разброс прогнозов температуры на уровне 2 м в обоих ансамблях.

Верификация для периода 15 января – 15 марта 2014 г. выполнялась для всех ансамблевых систем, участвовавших в проекте FROST-2014, для станций горного кластера Олимпиады. С помощью программного обеспечения, разработанного в Гидрометцентре России А.В. Муравьевым, были рассчитаны стандартные вероятностные оценки качества прогнозов (оценка Брайера и ее компоненты, относительная оперативная

характеристика, диаграммы надежности и т.д.) и другие вероятностные характеристики (диаграммы Талаграна, графики разброса, квантильные графики, а также гистограммы распределений наблюдений и прогнозов). Для температуры на уровне 2 м было выявлено некоторое преимущество системы COSMO-Ru2-EPS по сравнению с COSMO-S14-EPS как в описании распределения будущих состояний атмосферы (более точное соответствие распределений наблюдений и прогнозов), так и в точности средних по ансамблю значений. Однако для ветра на уровне 10 м улучшения прогнозов не наблюдалось. Работы по верификации продолжаются и их результаты будут позже опубликованы в отдельной статье.

Выводы

Разработка и внедрение систем ансамблевого прогноза, основанных на использовании модели COSMO с разрешением 7 и 2,2 км (COSMO-S14-EPS и COSMO-Ru2-EPS), позволили обеспечить синоптиков Олимпийских игр в Сочи вероятностными прогнозами. Прогнозисты высоко оценили качество продукции и форму ее представления.

Динамический даунскейлинг прогноза COSMO-S14-EPS с помощью COSMO-Ru2-EPS увеличил детальность прогнозов без ухудшения их качества. Примененная в COSMO-Ru2-EPS схема коррекции температуры на уровне 2 м по прогностическому градиенту температуры позволила улучшить качество прогноза на станциях и была особенно полезна в случаях инверсии.

Накопленный в 2011–2013 гг. прогностический материал (прогнозы и граничные/начальные условия) представляет интерес для международного сообщества и может быть применен для выполнения исследований с целью улучшения качества прогнозов в области со сложной орографией, устранения систематических ошибок и увеличения разброса ансамбля высокого разрешения. В дальнейшем предполагается создать архив этих данных с использованием подходов, примененных в проекте TIGGE-LAM [15] и сопроводить архив списком интересных с точки зрения синоптиков и плохо воспроизводящихся моделями явлений. Этот

архив должен стать частью архива прогнозов и наблюдений проекта FROST-2014.

Список использованных источников

1. *Алферов Д.Ю., Астахова Е.Д., Ривин Г.С., Розинкина И.А.* Разработка системы ансамблевых прогнозов высокого разрешения для региона проведения зимних Олимпийских игр Сочи-2014 // Труды Гидрометцентра России. – 2014. – Вып. 352. – см. настоящий выпуск.

2. *Киктев Д.Б., Астахова Е.Д., Блинов Д.В., Заринов Р.Б., Муравьев А.В., Ривин Г.С., Розинкина И.А., Смирнов А.В., Цырульников М.Д.* Развитие прогностических технологий для метеорологического обеспечения зимней Олимпиады “Сочи-2014” // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 10. – С. 5–15.

3. *Вильфанд Р.М., Ривин Г.С. и др.* Негидростатическая система Гидрометцентра России мезомасштабного краткосрочного прогнозирования погоды COSMO-Ru // Турбулентность, динамика атмосферы и климата: тезисы докладов Международной конференции, посвященной памяти академика А.М. Обухова. – М.: ГЕОС, 2013. – С. 58–60.

4. *Муравьев А.В., Вильфанд Р.М.* О стандартизации оценок качества среднесрочных и долгосрочных прогнозов погоды // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 12. – С. 24–34.

5. Atger F. The skill of ensemble prediction systems // Mon. Wea. Rev. – 1999. – Vol. 127. – P. 1941–1953.

6. *Bonanno R., Loglisci N.* A sensitivity test to assess the impact of different soil moisture initializations on short range ensemble variability in COSMO model // Cosmo Newsletter. – 2014. – P. 95–105. Available at <http://www.cosmo-model.org>.

7. *Buizza R., Miller M., Palmer T.* Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF Ensemble Prediction System // Q. J. R. Met. Soc. – 1999. – Vol. 125. – P. 2887–2908.

8. *Duan Y., Gong J., Du J. et al.* An Overview of the Beijing 2008 Olympics Research and Development Project (B08RDP) // Bull. Amer. Meteor. Soc. – Vol. 93, Iss. 3. – P. 381–404.

9. *Duniec G., Mazur A.* COTEKINO Priority Project – results of sensitivity tests // Cosmo Newsletter No. 14. – 2014. – P. 106–113. Available at <http://www.cosmo-model.org>.

10. *Isaac G. A., Joe P., Mailhot J. et al.* Science of nowcasting Olympic Weather for Vancouver 2010 (SNOW-10): a world weather research programme project // *J. of Pure and Applied Geophysics*. — 2012. — doi: 10.1007/s00024-012-0579-0.

11. *Marsigli C., Diomede T., Montani A., Paccagnella T., Louka P., Gofa F., Corigliano A.* The CONSENS Priority Project // *COSMO Technical Report No. 22*. — Deutscher Wetterdienst, 2013. — 45 p. Available at <http://www.cosmo-model.org>.

12. *Montani A., Cesari D., Marsigli C., Paccagnella T.* Seven years of activity in the field of mesoscale ensemble forecasting by the COSMO-LEPS system: main achievements and open challenges // *Tellus A*. — 2011. — Vol. 63. — P. 605–624. — doi: 10.1111/j.1600-0870.2010.00499.

13. *Montani A., Marsigli C., Paccagnella T.* Development of a COSMO-based limited-area ensemble system for the 2014 Winter Olympic Games // *COSMO Newsletter No. 13*. — 2013. — P. 93–99. Available at <http://www.cosmo-model.org>.

14. *Montani A., Alferov D., Astakhova E., Marsigli C., Paccagnella T.* Ensemble forecasting for Sochi-2014 Olympics: the COSMO-based ensemble prediction systems // *COSMO Newsletter No. 14*. — 2014. — P. 88–94. Available at <http://www.cosmo-model.org>.

15. *Rivin G., Rozinkina I.* Priority Project "CORSO": consolidation of operation and research results for the Sochi Olympic Games. Available at <http://cosmo-model.org/content/tasks/priorityProjects/corso/default.htm>

16. *Rotach M. W., Ambrosetti P., Appenzeller C. et al.* MAP D-PHASE: real-time Demonstration of weather Forecast quality in the Alpine region. // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* — 2009. — Vol. 90. — P. 1321–1336.

17. COSMO utilities software. — Available at <http://www.cosmo-model.org/content/support/software/default.htm>

Поступила в редакцию 16.09.2014 г