

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ СИСТЕМЫ КРАТКОСРОЧНЫХ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ОПЕРАТИВНЫХ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ COSMO-RU С ШАГОМ СЕТКИ 7 КМ

Г.С. Ривин, И.А. Розинкина, Д.В. Блинов

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
Gdaly.Rivin@mecom.ru, Inna@mecom.ru, Denis_Blinov@mecom.ru*

Введение

Первая в мире оперативная негидростатическая прогностическая модель атмосферы LM с шагом сетки 7 км была разработана и 1 декабря 1999 года внедрена в оперативную практику в Немецкой службе погоды [11]. В феврале 2007 года, в соответствии с решением Управляющего комитета Консорциума COSMO о принятии России в состав консорциума в качестве ассоциированного члена, Гидрометцентру России были предоставлены исходные коды на языках программирования Фортран 90 и Си этой модели (версия 3.21 от 4 декабря 2006 г.) и коды препроцессинга (версии 1.4 от 4 января 2006 г.). В июле 2007 года Немецкая служба погоды на регулярной основе начала передавать в ММЦ «Москва» информацию о начальных и граничных условиях для модели COSMO (по решению Управляющего комитета консорциума в настоящее время так называется модель LM) по данным прогноза по глобальной модели атмосферы GME [10]. Первоначальное освоение и запуск модели COSMO были проведены в мае–октябре 2007 года. Описание современной версии модели COSMO приведено в [9].

В декабре 2007 года появилась возможность работы на одном 8-ядерном узле (узел содержал два 64-битовых процессора Intel Xeon 5345, каждый процессор имел 4 ядра; оперативная память 32 Гб). Указанные ограниченные вычислительные ресурсы позволили реализовать версию модели COSMO-RU только с разрешением 14 км и только для Европейской территории России, способную работать в оперативном режиме со временем готовности продукции, удовлетворительным для синоптиков для утреннего составления прогнозов погоды. Время счета прогноза погоды с заблаговременностью 78 ч с помощью модели COSMO-RU для сетки 168×300×40 с шагом 14 км на указанном выше узле с 8 ядрами и 1×8-декомпозиции области интегрирования составляло 3 ч 35 мин.

Тем не менее реализация такого пилотного варианта позволила:

- подготовить и реализовать технологическую цепочку оперативного прогноза в рамках инфраструктуры оперативных технологий ФГБУ «Гидрометцентр России»;
- начать работы по анализу успешности и изучению специфики продукции мезомасштабного численного прогноза;
- предоставить синоптикам реалистичную прогностическую информацию относительно развития синоптических образований и связанных с ними погодных явлений на временных масштабах до 3 суток.

Вычисление прогнозов производилось два раза в сутки, результаты интегрирования размещались в циклических пользовательских базах данных (технология отдела систем информационного обеспечения ФГБУ «Гидрометцентр России») с возможностью независимого архивирования исходной и результирующей информации в виде GRIB-файлов. Пользовательские базы данных содержали информацию как на расчетной сферической сетке (14×14 км) со сдвинутым географическим полюсом, так и (после интерполяции) на регулярной сетке 0,25×0,25°. Визуализация полей для прогнозистов (а также для исследований) производилась графическим пакетом «Изограф» [1], который для этой цели был дополнительно адаптирован для полей модели COSMO-RU.

Строго говоря, это был предварительный вариант технологии мезомасштабного прогноза COSMO-RU, поскольку учет негидростатичности возможен только при использовании шага сетки, меньшего 10 км. Реализация такого негидростатического варианта модели стала возможной только после появления и освоения во второй половине 2009 года новой суперкомпьютерной техники, поступившей в Росгидромет.

Первые же эксперименты на суперкомпьютере SGI Altix4700, установленном в ММЦ «Москва», показали, что на сетке 168×300×40 с той же декомпозицией области решения в два раза уменьшилось время счета прогноза на 78 ч, а при использовании 512 ядер с 8×64-декомпозицией области интегрирования время счета прогноза на 78 ч стало равным примерно 3,5 мин, т.е. есть уменьшилось более чем в 60 раз.

Это позволило не только уменьшить в два раза шаг сетки и тем самым начать прогнозирование негидростатических процессов, но и в два раза увеличить область интегрирования (см. рис. 1). Заметим, что в этих экспериментах использовались версия 4.2 модели COSMO (от 5 декабря 2007 г.) и версия 1.7 препроцессинга (от 23 ноября 2007 г.).

В результате, начиная с сентября 2009 г., в ФГБУ «Гидрометцентр России» на высокопроизводительной ЭВМ SGI Altix4700 функционирует технология выпуска мезомасштабных гидродинамических прогнозов погоды по территории Центральной и Восточной Европы, Европейской территории России – COSMO-RU07, по Уралу и части Западной Сибири (рис. 1) – на базе негидростатической модели COSMO [3, 4].

По правилам консорциума, в который Росгидромет вошел в качестве полноправного члена в сентябре 2009 г., Немецкая служба погоды (DWD) предоставляет в оперативном режиме начальные и боковые условия из своей системы глобального моделирования, необходимые для интегрирования мезомасштабной модели. Примерно два раза в год происходит обновление версий модели COSMO с включениями новых алгоритмов и возможностей.

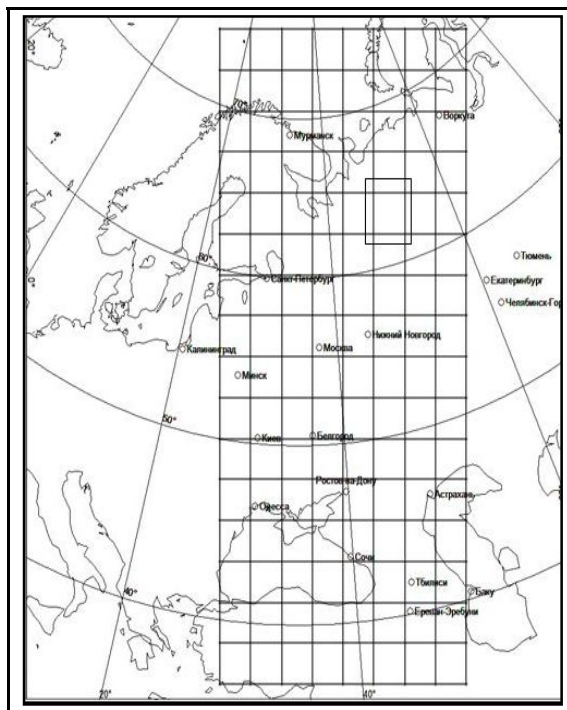


Рис. 1. Область интегрирования модели COSMO-RU07 для сетки $700 \times 620 \times 40$ с шагом 7 км; внутри ее показана область прогноза для сетки $168 \times 300 \times 40$ с шагом 14 км с нанесенной ее декомпозицией на 8×16 подобластей.

Оперативные испытания технологии COSMO-RU07 проведены в ФГБУ «Гидрометцентр России» [6] по существующим в настоящее время нормативам оценок численных и общего

назначения прогнозов погоды для теплого (с 1 мая по 30 сентября 2010 г.) и холодного (с 1 октября 2010 г. по 25 марта 2011 года) периодов. Рассмотрев результаты оперативных испытаний на своем заседании от 13 апреля 2011 года, ЦМКП рекомендовала ФГБУ «Гидрометцентр России» [5]:

- внедрить в оперативную практику в качестве базовой модель COSMO-RU07 для численного прогнозирования следующих метеорологических величин (полей и метеограмм): осадков, температуры и влажности воздуха, фонового приземного ветра;

- подготовить технологию распространения прогностической продукции модели COSMO-RU07 в прогностические подразделения УГМС/ЦГМС Европейской территории России [2].

В настоящее время система краткосрочного прогноза погоды COSMO-RU07 использует версию 4.21 модели COSMO (от 6 декабря 2011 г.) и версию 1.18 препроцессинга (от 11 марта 2011 г.). В конце 2012 г. предполагается внедрение версии 5 модели COSMO.

1. Состав системы COSMO-RU07

Система краткосрочного негидростатического прогноза погоды COSMO-RU07 содержит:

- блок препроцессинга, содержащий модуль INT2LM подготовки начальных и боковых условий по прогностическим данным, полученным по материнской модели (глобальной или для ограниченной территории);

- блок прогноза погоды, который содержит модули совместной модели атмосферы и деятельного слоя подстилающей поверхности;

- блок постпроцессинга, который в настоящее время включает в себя модули визуализации и распространения прогностической информации [2].

Совместная модель атмосферы и деятельного слоя подстилающей поверхности содержит следующие подблоки:

- усвоения метеорологических данных (содержит обработку данных синоптических, аэрологических, спутниковых и радарных наблюдений и их численный анализ);

- динамический (в него входят модули решения уравнений движения и переноса тепла);

- физический (содержит модули описания процессов в облаках, радиационных процессов, влажной конвекции и процессов в почве);

- химический (содержит модули описания переноса трассеров и происходящих при этом химических реакциях);

- диагностический (содержит модули представления результатов прогноза и диагноза).

Наиболее соответствующей для описания системы атмосфера–океан–суша является сферическая система координат. В окрестности экватора соседние узлы сетки с одинаковыми заданными в радианах шагами по меридианам и параллелям будут практически равноудалены друг от друга. Например, для $(-\pi/9 \leq \varphi \leq \pi/9)$ измеренное в единицах длины (например в метрах) отклонение шага сетки на широте $-\pi/9$ (20°) от шага сетки на экваторе равно 6 %. По мере приближения к полюсу это свойство ухудшается. Например, уже на широте Москвы такое отклонение равно 43 %, поэтому на широте Москвы ячейка сетки $0,0625 \times 0,0625^\circ$ имеет стороны 4×7 км, а $0,02 \times 0,02^\circ$ – $1,3 \times 2,2$ км.

По этой причине в модели COSMO вместо географической сферической системы координат $(\lambda_g, \varphi_g, r)$ используется сферическая система координат $(\lambda, \varphi, \zeta)$, в которой вместо привычного географического Северного полюса используется отличная от него точка, выбираемая так, чтобы в такой сдвинутой сферической системе координат экватор проходил через центральную точку области интегрирования (например через Москву). Здесь λ_g – географическая долгота ($0 \leq \lambda_g \leq 2\pi$, положительное направление восточное), φ_g – широта ($-0,5\pi \leq \varphi \leq 0,5\pi$, положительное направление северное) и r – расстояние от начала координат, совпадающего с центром Земли.

В качестве Северного полюса в сдвинутой сферической системе координат модели COSMO-RU07 выбрана точка $(\lambda_g^N = -145^\circ, \varphi_g^N = 35^\circ)$.

2. Начальные данные для системы COSMO-RU07

Начальные данные можно разделить на три группы:

- внешние параметры;
- характеристики почвы и поверхности;
- метеорологические величины.

2.1. Внешние параметры

Для расчета прогноза необходимы данные о характеристиках нижней границы, а также о некоторых фоновых полях. Далее приведен список и идентификаторы полей, либо содержащихся в отдельном файле, соответствующем определенной области, либо рассчитываемых непосредственно программой int2cm:

1. Постоянные внешние параметры:
 - HSURF Высота подстилающей поверхности.
 - FIS (или) Геопотенциал подстилающей поверхности.
 - FR_LAND Доля суши в ячейке (суша=1; море=0).
 - SOILTYP Тип почвы в ячейке.
 - ZO Параметр шероховатости.
2. Внешние параметры для озер:
 - FR_LAKE Доля ячейки, занятая водной поверхностью.
 - DEPTH_LK Средняя глубина озера в ячейке.
В настоящее время информация об озерах доступна только для территории Германии. В модели COSMO-RU учет озер отключен. Однако наличие крупных водоемов (крупные озера, водохранилища) учитывается в параметре FR_LAND.
3. Характеристики растительности:
 - PLCOV Покрытие ячейки растительностью.
 - LAI Индекс площади листьев.
 - ROOTDP Глубина корней.
Для этих параметров программа int2cm генерирует поля, соответствующие дню и времени года. Обычно исходными являются два поля – для вегетационного периода и для остального времени.
4. Доля лесной растительности:
 - FOR_E Доля ячейки, покрытая вечнозеленым лесом.
 - FOR_D Доля ячейки, покрытая лиственным лесом.Эти параметры являются необязательными.
5. Содержание озона:
 - VIO3 Содержание озона в вертикальном столбе атмосферы
 - HMO3 Высота максимума содержания озона.
Эти поля не содержатся в исходных файлах и рассчитываются программой INT2LM в зависимости от дня года.

2.2. Характеристики почвы и поверхности

6. Обязательные характеристики поверхности:
 - T_SNOW Температура поверхности снега.
 - W_SNOW Содержание воды в снеге.
 - W_I Количество просачивающейся воды в снеге.
 - QV_S Удельное содержание водяного пара у поверхности.

T_S Температура поверхности.
При использовании схемы непрерывного усвоения данных эти характеристики обновляются каждые 6 часов, а температура поверхности для моря – каждые 24 часа.

7. Обязательные характеристики почвы (для многоуровневой модели почвы

TERRA-MULTILAYER):

T_SO Температура почвенных уровней.

W_SO Влагосодержание почвенных уровней.

FRESHSNW Индекс «свежести» снега.

RHO_SNOW Прогностическая мощность снежного покрова.

2.3. Метеорологические величины

Для этой системы можно получить начальные и боковые данные на основе прогнозов по моделям с более грубой сеткой трех видов: глобальной оперативной конечно-разностной модели GME Немецкой службы погоды (шаг сетки с 29 февраля 2012 г. равен 20 км, по вертикали 60 уровней); спектральной модели IFS Европейского центра среднесрочных прогнозов (шаг сетки 16 км, 91 уровень). Оперативным является первый вариант. Наконец, для вложенных территорий с меньшим шагом сетки можно использовать прогностические поля из системы COSMO-RU07, что и делается в настоящее время для прогнозов с шагом сетки 2,2 км.

Начальные метеорологические величины состоят из двух групп: обязательных и дополнительных (влажности, доступны не во всех исходных моделях) характеристик.

Обязательные:

U Зональная компонента скорости ветра
V Меридиональная компонента скорости ветра
W Вертикальная компонента скорости ветра (задается на полууровнях)
T Температура
PP Отклонение давления от среднего (эталонного)
QV Удельное влагосодержание
QC Удельное содержание облачной воды.

Дополнительные:

QI Удельное содержание льда в облаке
QR Удельное содержание дождевых капель
QS Удельное содержание снега
QG Удельное содержание града.

3. Боковые граничные условия

3.1. Состав данных

Граничные условия также можно разделить на три группы:

- Характеристики почвы и поверхности: T_SNOW, W_SNOW, QV_S. Эти параметры являются обязательными.
- Характеристики атмосферы: обязательными являются следующие параметры: U, V, T, PP, QV, QC.

Граничные условия для вертикальной компоненты скорости ветра W необходимы, если отключено условие свободной верхней границы (lw_freeslip=.FALSE.).

Граничные условия для дополнительных характеристик влажности QI, QR, QS и QG не обязательны и зависят от наличия этих полей в исходной модели.

- Специальные характеристики для климатического режима модели: PL_COV, LAI, ROOTDP, VIO3, HMO3, T_S.

3.2. Оптимизация процесса подготовки боковых граничных условий

В модели COSMO-RU07 и блоке препроцессинга INT2LM реализован механизм ожидания входных данных по следующей схеме (для работы этого механизма используется подпрограмма ожидания из библиотеки DWD для кодирования и декодирования libgrib.a).

Перед чтением очередного GRIB-файла с входными данными, в директории YTRANS_IN проверяется наличие специального ready-файла. Если файл отсутствует, то работа системы COSMO-RU07 не прерывается, а запускается режим сна на заданный интервал времени NINCWAIT. По его окончании система COSMO-RU07 снова проверяет наличие ready-файла, и так до того момента, когда появится необходимый файл или до истечения порога ожидания файла NMAXWAIT.

Для обеспечения работы этой системы необходимо инициализировать три переменные – NMAXWAIT (максимальное время ожидания очередного ready-файла), NINCWAIT (интервал ожидания между проверками файлов), YTRANS_IN (директория, в которой следует искать ready-файлы) и директорию YTRANS_OUT, в которую будут записываться ready-файлы. Механизм ожидания файлов активируется только если задана переменная YTRANS_IN.

Ready-файлы готовятся программами `strparbin` (исполнительный файл модели COSMO-RU) и `int2cm` (исполнительный файл блока подготовки начальных и боковых данных). Механизм записи `ready`-файлов активируется, если инициализируется переменная `YTRANS_OUT`, в противном случае `ready`-файлы не записываются. Так как содержание файлов не важно, можно создавать `ready`-файлы самостоятельно.

Названия `ready`-файлов для программы `int2cm` составляются в зависимости от срока прогноза (от 0 до 78 часов), модели, подготовившей начальные и граничные условия (GME – для данных немецкой глобальной модели GME, LMF – данных COSMO). Для программы `strparbin` имя файла состоит из срока прогноза (от 0 до 78 часов) и содержания необходимого GRIB-файла (LMA – для начального поля, LMB – для граничных условий).

Применение этого механизма позволило уменьшить окончание счёта прогноза на 30-40 минут. На рис. 2 приведена схема технологической цепочки выпуска численных прогнозов по модели COSMO-RU по состоянию на 1 мая 2012 г., из которой видно, что через 3 ч 40 мин после срока наблюдения вся необходимая прогностическая (на 78 ч) цифровая (в кодах `grid` и `ASCII` для уровней модели атмосферы COSMO-RU07, 18 изобарических поверхностей и 20 поверхностей с постоянной высотой) и визуализированная (около 3000 карт, метеограмм и вертикальных профилей) передана в оперативные подразделения Росгидромета.

4. Характеристика модели атмосферы COSMO-RU07

Сетка модели (рис. 3) атмосферы состоит из $700 \times 620 \times 40$ узлов. Шаг сетки равен 7 км ($0,0625^\circ$).

Характеристики использованной области интегрирования следующие:

- сферические координаты сдвинутого полюса: $(-145^\circ, 35^\circ)$;
- координаты левого нижнего угла в сдвинутой сферической системе координат: $(-19^\circ, -19^\circ)$.



Рис. 2. Схема технологической цепочки выпуска численных прогнозов по модели COSMO-RU (по состоянию на 1 мая 2012 г.).

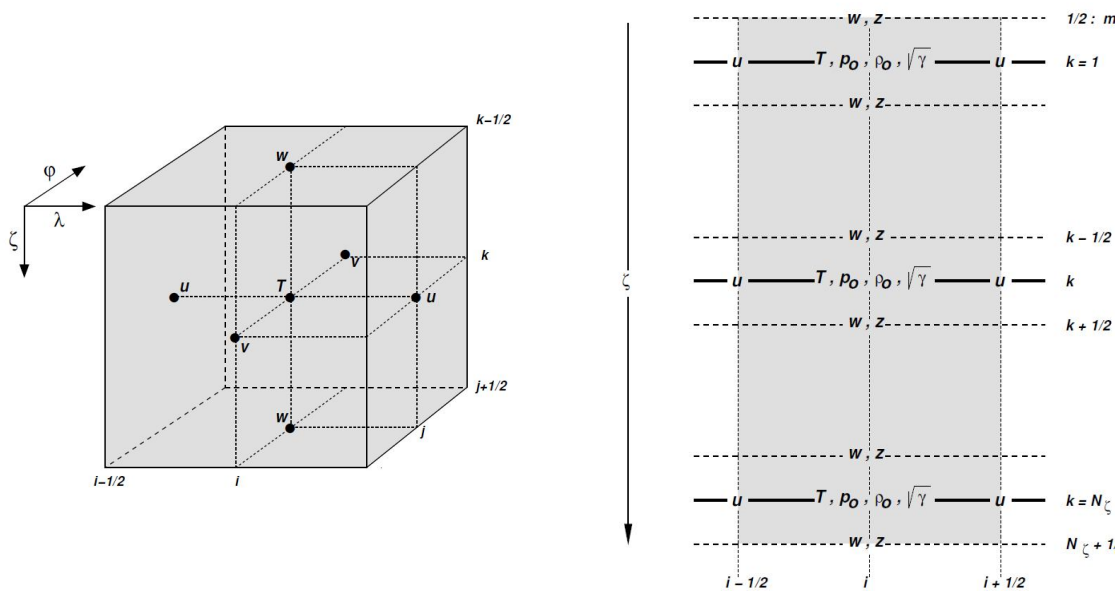


Рис. 3. Сетка модели COSMO.

4.1. Счетные уровни модели атмосферы

Модель атмосферы с шагом сетки 7 км имеет уровни:

- 41 вспомогательный уровень с полуцелыми номерами от 0,5 (самый верхний с высотой ~23 км) до 40,5 (самый нижний, расположенный на поверхности Земли), на котором рассчитывается вертикальная скорость и высота поверхности;

- 40 основных расчетных уровней с целыми номерами от 1 (самый верхний уровень) до 40 (самый нижний, расположенный на высоте 10 м над поверхностью Земли), на которых рассчитываются остальные метеорологические величины.

Замечание. Номера полуцелых уровней сетки и соответствующие высота и давление приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номера полуцелых уровней сетки и соответствующие высота и давление

N	Z (м)	P (гПа)	N	Z (м)	P (гПа)
00,5	22700	40,2616	21,5	3615	639,1761
01,5	20800	53,9581	22,5	3200	674,1019
02,5	19100	69,9812	23,5	2815	707,9241
03,5	17550	88,5357	24,5	2455	740,8197
04,5	16150	109,2942	25,5	2125	772,0768
05,5	14900	131,6958	26,5	1820	801,9229
06,5	3800	154,9600	27,5	1545	829,6353
07,5	12785	179,8254	28,5	1295	855,4984
08,5	11875	205,2589	29,5	1070	879,3281
09,5	11020	232,1783	30,5	870	900,9547
10,5	10205	260,8519	31,5	695	920,2247
11,5	9440	290,6992	32,5	542	937,3394
12,5	8710	322,0618	33,5	412	952,0786
13,5	8015	354,7446	34,5	303	964,5774
14,5	7355	388,5190	35,5	214	974,8783
15,5	6725	423,4131	36,5	143	983,1576
16,5	6130	458,8958	37,5	89	989,4914
17,5	5565	494,9886	38,5	49	994,2036
18,5	5035	531,0770	39,5	20	997,6309
19,5	4530	567,5644	40,5	0	1000,0000
20,5	4060	603,4410			

Замечание 1. Уровни с номерами с 0,5 до 8,5 включительно являются уровнями постоянной высоты, так как в модели в качестве границы перехода от вертикальной координаты к учитывающей высоту орографии выбрана величина 11430 м.

Замечание 2. Для нахождения эталонной (reference) атмосферы в модели использованы следующие значения:

- давление на уровне моря – 1000,0000 гПа;
- температура на уровне моря – 14,9999 К;
- разность температур между уровнем моря и стратосферой – 75,0000 К;
- масштаб высоты для убывания температуры – 10000,0000 м.

Замечание 3. Целые номера от 1 до 40 присваиваются уровням со значениями высоты и давления, равными полусуммам соответствующих значений на ближайших верхнем и нижнем полуцелых уровнях. Таким образом, высота самого нижнего уровня модели атмосферы равна 10 м, а соответствующее давление – 998,8155 гПа.

4.2. Счетные уровни для почвы

В почве рассчитываются две величины – температура (первые 8 уровней) и влажность. В ней также используются уровни с полуцелыми (см. табл. 2) и целыми номерами.

Таблица 2

**Номера уровней сетки для почвы с полуцелыми номерами
и соответствующая глубина**

N	Z (м)
00,5	0,00
01,5	0,01
02,5	0,03
03,5	0,09
04,5	0,27
05,5	0,81
06,5	2,43
07,5	7,29
08,5	21,87

Для расчета температуры первые 7 слоев (до уровня с глубиной 7,29 м) являются активными. Последний слой, заключенный между уровнями с глубиной 7,29 и 21,87 м является так называемым климатическим слоем с температурой, равной среднегодовой температуре приземного воздуха.

Для расчета влажности активными являются только первые 6 уровней, расположенные выше 2,43 м. На уровне с глубиной 2,43 м рассматривается только гравитационный сток (без учета капиллярного стока) в более нижние слои почвы.

4.3. Прогностические метеорологические величины

В системе COSMO-RU07 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 lfff – 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).

Трёхмерные поля выдаются на

- 40 модельных целочисленных уровнях, указанных выше;
- на 18 изобарических поверхностях: 1000, 975, 950, 925, 900, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 75, 50 и 25 гПа;
- на 30 изометрических поверхностях: 2, 10, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000, 11000, 12000, 13000, 15000, 17000, 19000 и 20000 м;
- на 8 уровнях в почве: 1, 2, 6, 18, 54, 162, 486 и 1458 см.

Выходные файлы данных содержат более 70 метеорологических полей. Ниже приведен их неполный список, так как для печати доступны ещё ряд полей, например потенциальный вихрь, высота мелкой конвекции:

1. Зональная скорость ветра на 40 модельных уровнях в м/с.
2. Меридиональная скорость ветра на 40 модельных уровнях в м/с.
3. Вертикальная скорость на 40 модельных уровнях в м/с.
4. Давление на 40 модельных уровнях в Па.
5. Температура воздуха на 40 модельных уровнях в К.
6. Удельное содержание водяного пара на 40 модельных уровнях в кг/кг.
7. Удельное содержание облачной влаги на 40 модельных уровнях в кг/кг.
8. Удельное содержание облачного льда на 40 модельных уровнях в кг/кг.
9. Удельное содержание дождевой воды на 40 модельных уровнях в кг/кг.
10. Удельное содержание снежных осадков на 40 модельных уровнях в кг/кг.
11. Зональная скорость ветра на 18 стандартных изобарических поверхностях в м/с.
12. Меридиональная скорость ветра на 18 стандартных изобарических поверхностях в м/с.
13. Вертикальная скорость ветра на 18 стандартных изобарических поверхностях в Па/с.
14. Геопотенциал на 18 стандартных изобарических поверхностях в м²/с².

15. Температура воздуха на 18 стандартных изобарических поверхностях в К.
16. Относительная влажность воздуха на 18 стандартных изобарических поверхностях в %.
17. Зональная скорость ветра на 30 высотных изометрических уровнях в м/с.
18. Меридиональная скорость ветра на 30 высотных изометрических уровнях в м/с.
19. Вертикальная скорость ветра на 30 высотных изометрических уровнях в м/с.
20. Давление на 30 высотных изометрических уровнях в Па.
21. Температура воздуха на 30 высотных изометрических уровнях в К.
22. Относительная влажность воздуха на 30 высотных изометрических уровнях в %.
23. Температура почвы на 8 почвенных уровнях в К.
24. Влажность почвы на 8 почвенных уровнях в мм.
25. Лёдность почвы на 8 почвенных уровнях в мм.
26. Зональная скорость ветра на уровне 10 м над поверхностью в м/с.
27. Меридиональная скорость ветра на уровне 10 м над поверхностью в м/с.
28. Максимальная скорость ветра за прошедший 3-часовой срок в м/с.
29. Давление на уровне моря в Па.
30. Давление на поверхности Земли в Па.
31. Тенденция давления в Па.
32. Температура воздуха на уровне 2 м над поверхностью Земли в К.
33. Температура поверхности земли в К.
34. Максимальная температура на уровне 2 м за прошедший срок в К.
35. Минимальная температура на уровне 2 м за прошедший срок в К.
36. Точка росы на уровне 2 м в К.
37. Удельная влажность на поверхности Земли в кг/кг.
38. Общая облачность в %.
39. Облачность верхнего яруса в %.
40. Облачность среднего яруса в %.
41. Облачность нижнего яруса в %.
42. Высота верхнего уровня сухой конвекции в м.
43. Высота верхнего уровня (вершина) конвективных облаков в м.
44. Высота нижнего уровня (основание) конвективных облаков в м.
45. Высота нулевой изотермы в м.
46. Накопленные крупномасштабные осадки в виде дождя в мм.
47. Накопленные крупномасштабные осадки в виде снега в мм.
48. Накопленные конвективные осадки в виде дождя в мм.
49. Накопленные конвективные осадки в виде снега в мм.
50. Накопленные осадки в мм.
51. Водное содержание просочившейся в грунт воды в м.
52. Поверхностный сток на уровне 1-10 см в $\text{кг}/\text{м}^2$.
53. Подземный сток на уровне ниже 468 см в $\text{кг}/\text{м}^2$.
54. Температура снега в К.
55. Водный эквивалент снега в мм.
56. Высота снега в см.
57. Плотность снега в $\text{кг}/\text{м}^3$.
58. Коэффициент шероховатости в м.
59. Альбедо поверхности в %.
60. Осреднённый бюджет коротковолновой радиации на поверхности Земли в $\text{Вт}/\text{м}^2$.

61. Осреднённый бюджет длинноволновой радиации на поверхности Земли в Вт/м².
62. Осреднённый бюджет коротковолновой радиации на верхнем модельном уровне в Вт/м².
63. Осреднённый бюджет длинноволновой радиации на верхнем модельном уровне в Вт/м².
64. Активная фотосинтетическая радиация на поверхности в Вт/м².
65. Явные потоки тепла на поверхности в Вт/м².
66. Скрытые потоки тепла на поверхности в Вт/м².
67. Конвективная доступная энергия в Дж/кг.
68. Общая интегрированная атмосферная рефракция.
69. Интегрированная сухая атмосферная рефракция.
70. Интегрированная влажная атмосферная рефракция.
71. Вертикально интегрированная облачная влага кг/м².
72. Вертикально интегрированный облачный лёд в кг/м².
73. Осаждаемая влага в кг/м².

В настоящее время для сроков 00, 06, 12 и 18 ч ВСВ происходит оперативная визуализация и распространение карт, указанных в табл. 3. Часть прогностических карт и метеограмм можно ежедневно просматривать на сайте Гидрометцентра России (см [7] и [8] соответственно). В 2012 году в дополнение к картам и метеограммам для выбранных станций стали подготавливаться вертикальные профили для 6 прогностических переменных.

Заключение

Разработанная технологическая линия системы COSMO-RU07 позволила на современной вычислительной технике Росгидромета внедрить в оперативную практику учреждений Росгидромета современную систему мезомасштабного негидростатического прогноза погоды.

Помимо подготовки технологической линии COSMO-RU07 в 2009–2012 гг. в Гидрометцентре России была проведена большая работа в рамках деятельности перспективных проектов консорциума по развитию модели и региональной системы усвоения данных, а именно:

- предложена и адаптирована к модели COSMO новая схема параметризации физических процессов в снежном покрове, более реалистично воспроизводящая динамику высоты и характеристик снежного покрова по времени, особенно при описании процессов таяния снега;
- разработан алгоритм расчета масштаба турбулентного перемешивания на основе механизма максимального смещения воздушной частицы, обладающей начальной кинетической энергией;

- проведена работа по анализу применимости современных методов усвоения данных в региональных системах численного прогноза погоды и ведется работа по усвоению спутниковой информации;

- проводится работа по внедрению в практику Гидрометцентра России пакета верификации VERSUS2 для оценки качества мезомасштабных прогнозов и его модификации.

Таблица 3

Оперативно подготавливаемые и распространяемые карты для сроков 00, 06, 12 и 18 ч ВСВ

Метеорологические величины, приведенные на карте	Территория COSMO-RU	Центральный федеральный округ (ЦФО)	Сочи-2014, Черноморское побережье России	Урало-Сибирский регион	Баренцево, Балтийское, Каспийское и Чёрное моря	Республика Татарстан, Приволжский федеральный округ
Давление на уровне моря, облачность среднего яруса, осадки	+	+	+	+		+
Давление на уровне моря, осадки за прошедшие 12 часов	+	+	+	+		
Давление на уровне моря, температура воздуха на высоте 2 м, H500	+	+	+	+		+
Приземный и максимальный ветер на высоте 10 м	+	+	+	+	+	+
Геопотенциал и линии тока на высотах 300, 500, 700 гПа				+		
Геопотенциал и относительная влажность на уровне 850, 925 гПа			+			
Высота верхней границы конвективной облачности, ветер на H500	+	+	+	+		
Высота нижней границы конвективной облачности, ветер на H500	+	+	+			
Точка росы на уровне 2 м над поверхностью	+	+				
Порывы, направление и скорость ветра на высоте 10 м	+	+	+	+	+	

Благодарности

Работа выполнена благодаря неоценимым советам и помощи дирекции и сотрудников ФГБУ "Гидрометцентр России", ФБГУ "Главный вычислительный центр Росгидромета", фирмы «Интел» (Московского и Нижегородского отделений), кафедры метеорологии и климатологии МГУ и коллег из Консорциума COSMO. Особенно хочется выделить тех, чьи советы, предложения и помощь на различных этапах разработки и развития технологической линии COSMO-RU были определяющими. К ним в первую очередь относятся Р.М. Вильфанд, Г.В. Елисеев, Д.Б. Киктев, Д.Ю. Алферов, Ю.В. Алферов, А.Н. Багров, А.Д. Голубев, Л.Р. Дмитриева, И.И. Жабина, А.М. Кабак, М.Ю. Ковтуненко, А.Ю. Недачина, Б.Е. Песков, В.Л. Перов, А.Д. Харлашин и Ю.А. Степанов (ФГБУ "Гидрометцентр России"), В.А. Анцыпович и С.В. Лубов (ФБГУ "Главный вычислительный центр Росгидромета"), А.В. Кислов, Е.В. Казакова, А.В. Кирсанов, А.П. Ревокатова, Е.В. Сапунцова и Г.В. Суркова (МГУ им. М.В. Ломоносова), U. Shaettler, D. Majewski, H. Assensio, M. Baldauf, R. Hess, M. Gertz, D. Mironov, C. Schraff (Германия), M. Arpagaus, J.-M. Bettems, P. Eckert, P. Steiner (Швейцария), T. Rascagnella, A. Raspani (Италия). Всем им выражаем свою глубокую признательность.

Список использованных источников

1. *Алферов Ю.В.* Автоматизированная графическая система для визуализации результатов численных прогнозов // Труды Гидрометцентра России. – 2003. – Вып. 338. – С. 119–124.
2. *Блинов Д.В., Ривин Г.С., Розинкина И.А.* Система краткосрочного прогноза погоды COSMO-RU: технологические аспекты визуализации и распространения прогнозов // Труды Гидрометцентра России. – 2012. – Вып. 346. – С. 53–61.
3. *Вильфанд Р.М., 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.
4. *Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А.* Система COSMO-RU негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 8. – С. 5–20.
5. Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 13 апреля 2011 г. Раздел «Решения ЦМКП» сайта Методического кабинета Гидрометцентра России <http://method.hydromet.ru/> (дата обращения: 12.12.2011).

6. Ривин Г.С., Розинкина И.А., Багров А.Н., Блинов Д.В. Мезомасштабная модель COSMO-RU07 и результаты ее оперативных испытаний // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 15–48.
7. Сайт карт прогнозов модели COSMO-RU <http://www.meteoinfo.ru/cosmo-maps>
8. Сайт прогнозов по пунктам (метеограммы) модели COSMO-RU <http://www.meteoinfo.ru/-cosmo-ru>
9. Description of the Nonhydrostatic Regional COSMO-Model. Part I-VII: сайт <http://www.cosmo-model.org/content/model/documentation/core/default.htm>
10. Majewski D., D. Liermann D., Prohl P., Ritter B., Buchhold M., Hanisch T., Paul G., Wergen W. The operational global icosahedral-hexagonal gridpoint model GME: Description and high-resolution test // Mon. Wea. Rev. – 2002. – Vol. 130, No. 2. – P. 319–338.
11. Steppeler J, Doms G., Shaetler U., Bitzer H.W., Gassmann A., Damrath U., Gregoric G. Meso-gamma scale forecasts using the nonhydrostatic model LM // Meteorol. Atmos. Phys. – 2003. – Vol. 82, No. 1. – P. 75–96.

Поступила в редакцию 30 мая 2012 г.