

МЕЗОМАСШТАБНАЯ МОДЕЛЬ COSMO-RU07 И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ОПЕРАТИВНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Введение

Начиная с сентября 2009 года в Гидрометцентре России на высокопроизводительной ЭВМ SGI Altix 4700 функционирует технология выпуска мезомасштабных гидродинамических прогнозов погоды по европейской части России COSMO-RU07 [2-3] на базе негидростатической модели COSMO. Модель COSMO развивается и поддерживается одноименным Европейским консорциумом по мезомасштабному моделированию [6]. По правилам консорциума, в который Росгидромет вошел в качестве полноправного члена с сентября 2009 года, Немецкая служба погоды (DWD) в оперативном режиме предоставляет из своей системы глобального моделирования начальные и боковые условия, необходимые для интегрирования мезомасштабной модели. Примерно 2 раза в год происходит обновление версий модели с включениями новых алгоритмов и возможностей.

Распространение членам консорциума новых версий технологии (включающей модули подготовки стартовой информации, модели, подготовки выходных данных) производится после детального тестирования новых или усовершенствованных алгоритмов рабочими группами консорциума, обсуждения результатов тестирования на совещаниях и принятия решений на Научном комитете о целесообразности включения модификаций в базовые версии модели. Кроме того, обязательно проводится тестирование программного обеспечения и оформления документации. Таким образом, новые распространяемые версии модели являются уже апробированными в рамках деятельности консорциума. Регулярно страны-члены консорциума в едином согласованном формате обмениваются данными об успешности моделирования COSMO в рамках своих национальных технологий. Сходство климатических условий России и стран Европейского консорциума позволяет с доверием относиться к новым версиям модели, прошедшим тестирование в рамках консорциума, при их реализации для прогнозирования по территории России.

Различия в национальных технологиях, реализуемых странами-членами консорциума на базе модели COSMO, заключаются в особенностях использования начальной информации. Это осуществляется либо на базе глобальной системы усвоения (DWD или других стран), либо с учетом дополнительного регионального усвоения данных, главным

образом синоптических и радарных. Последнее позволило в таких странах, как Германия, Швейцария и Италия, получать более высокие результаты успешности прогнозов по своим национальным технологиям на базе COSMO.

Следует отметить, что технологии COSMO-RU, функционирующие в Гидрометцентре России в оперативном режиме во время проведения авторских, начиная с 2008 г., и оперативных испытаний 2010-2011 гг. работали без дополнительного блока регионального усвоения данных, следовательно, результаты этих испытаний можно интерпретировать как низший уровень успешности этих технологий.

На основе авторских испытаний, включавших, помимо стандартных количественных показателей, экспертные оценки синоптиков, были протестированы следующие версии конфигураций технологий моделирования COSMO-RU:

- COSMO-RU14 [2-3], шаг сетки 14 км (экспериментальный режим, 2008-2009 гг.);
- COSMO-RU07, шаг 7 км, (квазиоперативный режим, начиная с 2010 г.);
- COSMO-RU2.2, шаг сетки 2.2 км, область интегрирования – Центральный федеральный округ, (квазиоперативный режим, начиная с 2011 г.).

На основе методического анализа результатов COSMO-RU был выявлен ряд особенностей продукции мезомасштабного моделирования, ее интерпретации, представления результатов и оценок успешности. Отметим, что ранее прогнозисты Росгидромета не имели опыта работы с продукцией мезомасштабного моделирования. В частности, была показана очевидность развития в Росгидромете новых подходов к верификации прогнозов элементов погоды как продукции мезомасштабного моделирования, с учетом большой пестроты воспроизводимых полей.

Поскольку нормативная база оценки успешности результатов мезомасштабного моделирования в нашей стране еще не создана, оперативные испытания технологии COSMO-RU07 проводились в Гидрометцентре России по существующим в настоящее время нормативам оценок численных и общего назначения прогнозов погоды для теплого (с 1 мая по 30 сентября 2010 года) и холодного (с 1 октября 2010 г. по 25 марта 2011 года) периодов.

1. Система моделирования COSMO-RU

1.1. Краткие сведения о консорциуме COSMO

Международный консорциум COSMO (the Consortium for Small-scale Modelling) был основан в 1998 году метеослужбами Германии, Греции, Италии и Швейцарии. Позднее к

COSMO присоединились метеослужбы Польши (2002 г.), Румынии (2007 г.) и России (2009 г.).

Основная цель консорциума COSMO – развивать и поддерживать оперативную негидростатическую модель атмосферы для прогноза погоды для ограниченной территории и необходимые инфраструктурные компоненты. В основу негидростатической мезомасштабной модели, развиваемой этим консорциумом, легла разработанная в Метеослужбе Германии первая в мире **оперативная** негидростатическая мезомасштабная модель LM (Lokal Modell) с шагом сетки 7 км [9] (оперативное использование для выпуска прогнозов по Европе с 1999 г.). Впоследствии, начиная с 2008 г., вместо названия LM по решению консорциума стало употребляться название модели COSMO, одноименное с названием консорциума.

Выпуск оперативных прогнозов на основе модели COSMO в странах-членах консорциума базируется на применении данных для начальных и боковых граничных условий, полученных с помощью глобальной квазистатической модели атмосферы GME [8] (разработка Метеослужбы Германии) или с помощью глобальной модели IFS Европейского центра среднесрочных прогнозов (ЕЦСПП).

Обязательным условием участия национальных метеослужб в составе консорциума является непосредственное участие специалистов этих метеослужб в разработках алгоритмов и технологий моделирования COSMO. Это условие является большим стимулом для стран-участниц консорциума для работы над усовершенствованием модели на основе улучшения описания физических процессов, происходящих в атмосфере и прилегающем деятельном слое подстилающей поверхности, а также глубокого понимания алгоритмов, кодов и сопутствующих технологий (верификации, регионального усвоения данных, управления выполнением задач, диагностических расчетов). В свою очередь это открывает возможность активного изучения самых последних результатов мирового метеорологического сообщества в данной области с быстрой его реализацией в национальных прогностических технологиях.

1.2. Общая характеристика модели COSMO

Негидростатическая атмосферная модель COSMO основана на системе термогидродинамических уравнений, описывающих сжимаемый поток воздуха во влажной атмосфере. Подробная документация модели приведена на сайте консорциума COSMO [7].

В странах консорциума в настоящее время, как правило, используются версии модели с шагом сетки 7 км (прогнозирование до 3 суток) по достаточно обширным территориям и

использующие результаты этих вычислений в качестве боковых границ конфигурации модели с разрешением сетки от 2.2 до 2.8 км (прогнозирование до 1–1,5 суток), причем пользователям предоставляются результаты моделирования по обеим конфигурациям, что дает возможность достаточно точно прогнозировать широкий диапазон погодных процессов.

1.2.1. Основные уравнения модели COSMO

В дальнейшем используем следующие обозначения:

t – время, с;

p – давление, Па = Н/м², 1 Н = 1 кг×м/с² - единица силы;

ρ – плотность, кг/м³;

$\vec{V} = (u, v, w)$ – скорость, м/с;

T – температура, К;

T_c – температура, измеряемая в градусах Цельсия, °С;

g – ускорение свободного падения, $g \approx 9,81$ м/с²;

$\vec{\Omega}$ – вектор угловой скорости вращения Земли, рад/с, $|\vec{\Omega}| \approx 7,292 \times 10^{-5}$ рад/с;

Q – приток тепла, Дж/кг, 1 Дж = 1 Н×м = 1 кг×м²/с²;

R – удельная газовая постоянная, $R = 287$ Дж/(К × кг);

c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, $c_p = 1004$ Дж/(К × кг);

c_v – удельная теплоемкость при постоянном объеме, $c_v = 717$ Дж/(К × кг);

\vec{F}_V – вектор силы, определяемый в дальнейшем при параметризации физических процессов;

θ – потенциальная температура, К.

Атмосфера в модели представлена как смесь сухого воздуха, водяного пара, жидкой и твердой фаз воды (последние две категории могут быть также разбиты на подкатегории: капли воды в облаках, дождевые капли, кристаллы льда, град и т.п.). Поэтому к приведенным основным уравнениям в модели COSMO добавлены еще и уравнения для всех фаз воды.

Система уравнений прогноза записывается в сферических координатах в системе географических координат со смещенным полюсом («сдвинутой» системе географических координат), в которых экватор перенесен в середину рассматриваемой области, что позволяет практически избежать искажений из-за схождения меридианов к полюсу.

Система уравнений модели, приведенная к координатам $(\lambda, \varphi, \zeta)$, где ζ – криволинейная орографическая координата, выглядит так:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial E_h}{\partial \lambda} - v V_a \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial u}{\partial \zeta} - \frac{1}{\rho a \cos \varphi} \left(\frac{\partial p'}{\partial \lambda} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \lambda} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_u, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a} \frac{\partial E_h}{\partial \varphi} + u V_a \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial v}{\partial \zeta} - \frac{1}{\rho a} \left(\frac{\partial p'}{\partial \varphi} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \varphi} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_v, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} = & - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} u \frac{\partial w}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial w}{\partial \zeta} + \frac{g}{\sqrt{\gamma}} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + M_w + \\ & + g \frac{\rho_0}{\rho} \left\{ \frac{(T - T_0)}{T} - \frac{T_0 p'}{T p_0} + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q^v - q^l - q^f \right\}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial p'}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial p'}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial p'}{\partial \varphi} \right) \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + g \rho_0 w - \frac{c_{pd}}{c_{vd}} p D, \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial T}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial T}{\partial \zeta} - \frac{1}{\rho c_{vd}} p D + Q_T, \quad (5)$$

$$\frac{\partial q^v}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial q^v}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q^v}{\partial \varphi} \right) \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial q^v}{\partial \zeta} - (S^l + S^f) + M_{q^v} \quad (6)$$

$$\frac{\partial q^{l,f}}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \varphi} \right) \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \zeta} - \frac{g}{\sqrt{\gamma}} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\partial p_{l,f}}{\partial \zeta} + S^{l,f} + M_{q^{l,f}} \quad (7)$$

$$\rho = p \left\{ R_d \left(1 + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q^v - q^l - q^f \right) T \right\}^{-1}. \quad (8)$$

Здесь

$$B = g \frac{\rho_0}{\rho} \left\{ \frac{T'}{T} - \frac{T_0 p'}{T p_0} + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q^v - q^l - q^f \right\},$$

$E_h = \frac{1}{2} (u^2 + v^2)$ – кинетическая энергия горизонтального движения,

$$V_a = \frac{1}{a \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial v}{\partial \lambda} - \frac{\partial}{\partial \varphi} (v \cos \varphi) \right\} + f \text{ – абсолютный вихрь,}$$

$\sqrt{\gamma} = \frac{\partial p_0}{\partial \zeta}$ – модифицированный якобиан перехода к ζ – координатам.

Значения $\dot{\zeta}$ и D вычисляются по формулам:

$$\dot{\zeta} = - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \left(\frac{u}{a \cos \varphi} \frac{\partial p_0}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial p_0}{\partial \varphi} + g \rho_0 w \right), \quad (9)$$

$$D = \frac{1}{a \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial u}{\partial \lambda} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \lambda} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (v \cos \varphi) - \frac{\cos \varphi}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \varphi} \frac{\partial v}{\partial \zeta} \right\} - \frac{g \rho_0}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial w}{\partial \zeta}. \quad (10)$$

Члены, обозначенные буквой M с символом, описывают приток из-за турбулентного перемешивания, переменные S^l и S^f описывают источники и стоки соответствующих компонентов из микрофизики облаков на единицу массы сухого воздуха, член

$$Q_T \equiv \frac{1}{\rho c_{pd}} Q_h = \frac{L_v}{c_{pd}} S^l + \frac{L_s}{c_{pd}} S^f + M_T + Q_r,$$

описывает неадиабатический приток тепла в Т-уравнении,

$$Q_r \equiv -\frac{1}{\rho c_{pd}} \nabla \cdot \vec{R}$$

описывает изменение температуры из-за притока/стока тепла за счет солнечной и тепловой радиации.

Если известны члены M_ψ , S^l и S^f , P^l и P^f , а также радиационный нагрев Q_r , то уравнения (1)–(8) составляют замкнутую систему, позволяющую рассчитывать и прогнозировать метеорологические величины u , v , w , T , p' , ρ , q^v , q^l и q^f .

Физическая часть модели содержит описание радиационных и конвективных процессов, процессов происходящих в облаках и деятельном слое почвы, осадков.

1.2.2. Сетка модели

Для решения непрерывных уравнений модели, применяется метод конечных разностей. Переменные модели заданы на сетке S по классификации Аракавы по горизонтали и на сетке Лоренца по вертикали: скаляры задаются в центрах ячейки, а нормальные компоненты скорости – на соответствующих гранях (рис. 1).

Согласно рис. 1 можно ввести следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \psi_{i,j,k} &= \psi(\lambda_i, \varphi_j, \zeta_k), & \psi &= T, p', \rho, q^v, q^l, q^f, \\ u_{i\pm 1/2,j,k} &= u\left(\lambda_i \pm \frac{\Delta\lambda}{2}, \varphi_j, \zeta_k\right), \\ v_{i,j\pm 1/2,k} &= v\left(\lambda_i, \varphi_j \pm \frac{\Delta\varphi}{2}, \zeta_k\right), \\ w_{i,j,k\pm 1/2} &= w\left(\lambda_i, \varphi_j, \zeta_k \pm \frac{\Delta\zeta}{2}\right). \end{aligned} \tag{11}$$

1.2.3. Начальные и граничные условия

При моделировании на ограниченной территории лишь нижняя граница является физической. Верхняя и боковая границы области моделирования обычно задаются искусственно, и условия на них могут быть заданы по-разному, в зависимости от нужд конкретного приложения.

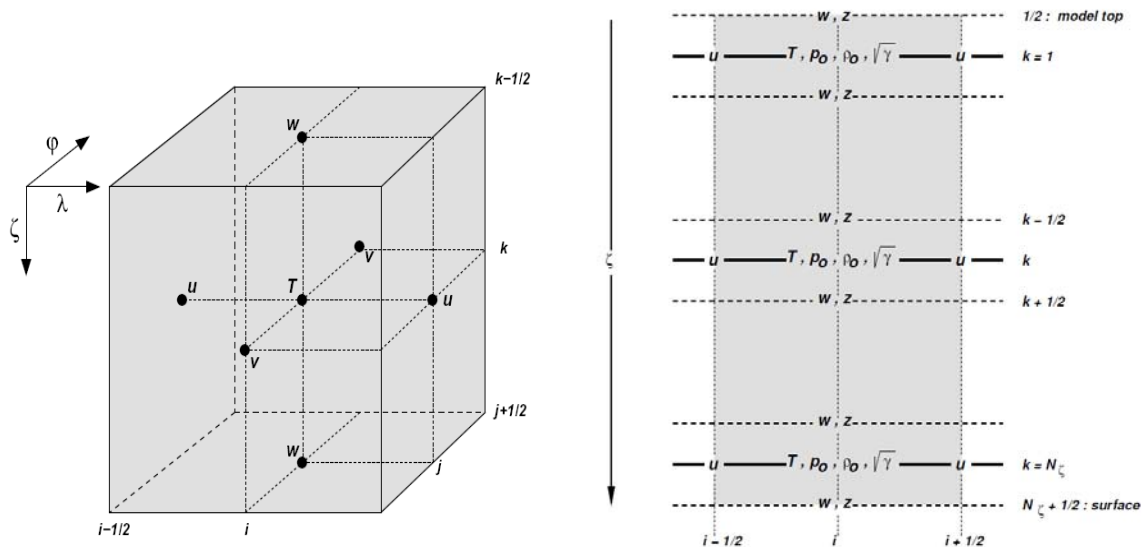


Рис. 1. Задание переменных на сетке Аракавы-С – Лоренца [7].

Начальные и граничные условия в технологиях COSMO обычно задаются интерполяцией данных, полученных из глобальной модели GME (Германия) или варианта модели COSMO с большим шагом сетки. Возможно использование данных и других систем глобального моделирования, например ЕЦСПП.

Основные особенности модели COSMO:

- модель является негидростатической и, следовательно, явно описывает конвективные движения (естественно, соответствующего масштаба, т.е. в первую очередь – процессы глубокой конвекции);

- в модели используется сдвинутая сферическая система координат, в которой в качестве полюса выбирается такая точка, что экватор проходит через центральную часть области интегрирования. Благодаря этому расстояния между ближайшими узлами примерно постоянно для всей области интегрирования;

- в качестве метода решения используется вариант метода расщепления, основанный на расщеплении по быстрым и медленным модам;

- модель COSMO является совместной моделью атмосферы и деятельного слоя почвы.

Схематично основные сведения о системе моделирования COSMO показаны на рис. 2.



Рис. 2. Система моделирования COSMO: входные данные, свойства и блоки модели.

1.3. Технология негидростатической системы краткосрочного прогноза погоды COSMO-RU Гидрометцентра России

Опытная эксплуатация в Гидрометцентре России технологии COSMO-RU (в каждой стране к имени модели добавляется две буквы из имени страны, поэтому в России версия функционирующей технологии имеет идентификатор COSMO-RU) началась с 2007 г, после того, как в соответствии с предложением Росгидромета в феврале 2007 г. Управляющий комитет консорциума COSMO принял решение о принятии России в его состав в качестве ассоциированного члена. Гидрометцентру России были предоставлены исходные коды модели COSMO и препроцессинга на языках программирования Фортран 90 и Си. С июля 2007 г. Немецкая служба погоды на регулярной основе в оперативном режиме начала передавать в Международный метеорологический центр «Москва» информацию о начальных и граничных условиях для модели COSMO-RU по данным прогноза по глобальной модели атмосферы GME [8] по согласованной с российской стороны области моделирования.

Имевшиеся в это время вычислительные ресурсы Гидрометцентра России позволили внедрить в квазиоперативном режиме модель COSMO с разрешением лишь 14 км (COSMO-RU14) для прогнозов на 78 ч. Сетка, используемая моделью COSMO-RU14, первоначально состояла из 168×300×40 узлов (168 узлов по параллели, 300 по меридиану, 40 – количество уровней). В начале 2010 года область интегрирования была расширена до 350×310×40 узлов.

Для достаточно продолжительного периода опытной эксплуатации в квазиоперативном режиме для версии COSMO-RU14 в 2008-2009 гг. были получены результаты апробации на основе анализа прогнозистов в лаборатории методического сопровождения прогнозов погоды Гидрометцентра России. Была показана полезность прогнозов приземной температуры по сравнению с доступными результатами глобальных моделей, а также – сильных снегопадов для субъектов федерации Центрального федерального округа [3]. При этом во время своего анализа синоптиками рассматривались успешность факта прогнозирования явления не в пунктах, а в заданных областях прогноза в их окрестностях. В этом случае, по сравнению с глобальными моделями, был получен вывод об однозначном преимуществе использования информации мезомасштабного моделирования.

С появлением в Гидрометцентре России новой суперЭВМ, на ней сразу же была реализована новая расширенная область интегрирования (рис. 3) модели COSMO-RU практически для всей Европы на сетке с шагом 7 км.

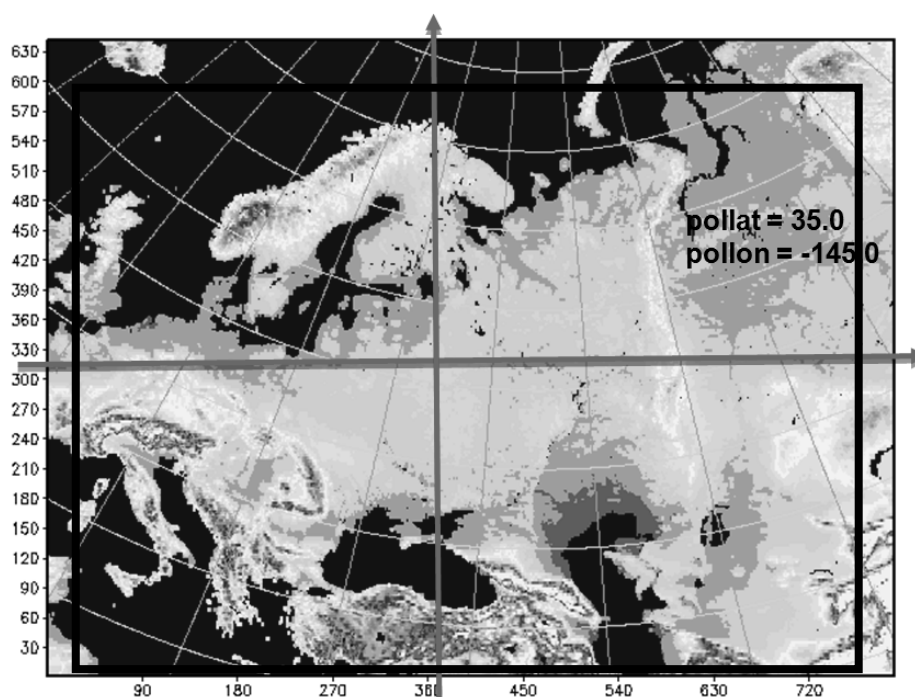


Рис. 3. Географическая и сдвинутая сферические системы координат и область интегрирования для модели COSMO-RU07.

Это позволило, во-первых, реально использовать возможность модели описывать негидростатические процессы (проявляющиеся, как правило, при шаге сетки не более 10 км), расширить область прогнозирования метеополей, уменьшить влияние более грубой детализации глобальной модели на границах области мезомасштабного прогноза на прогноз погоды для Европейской территории России, более полно воспроизводить

метеорологические процессы, связанные с развитием синоптических образований, на модельном пространстве с высокой детализацией.

В настоящее время область COSMO-RU07 включает в себя такие районы циклогенеза, как большая часть Средиземноморья, Черное, Норвежское и Баренцево моря. Кроме того, в область интегрирования включена вся акватория Балтики и Каспия.

Таким образом, после достаточно длительной апробации в квазиоперативном режиме с шагом сетки 14 км и отработки системы выпуска и распространения продукции в видах, адаптированных к использованию прогнозистами, в 2009 году технология COSMO-RU была реализована на мощной вычислительной технике (ALTIX4700) для сетки с $700 \times 620 \times 40$ узлами и шагом 7 км. Прогнозы по модели COSMO данной конфигурации и анализировались во время оперативных испытаний в 2010-2011 гг.

На рис. 4 приводится информация о вертикальной структуре модели COSMO-RU07 (2011 г) на основе базовой версии 4.18 модели COSMO.

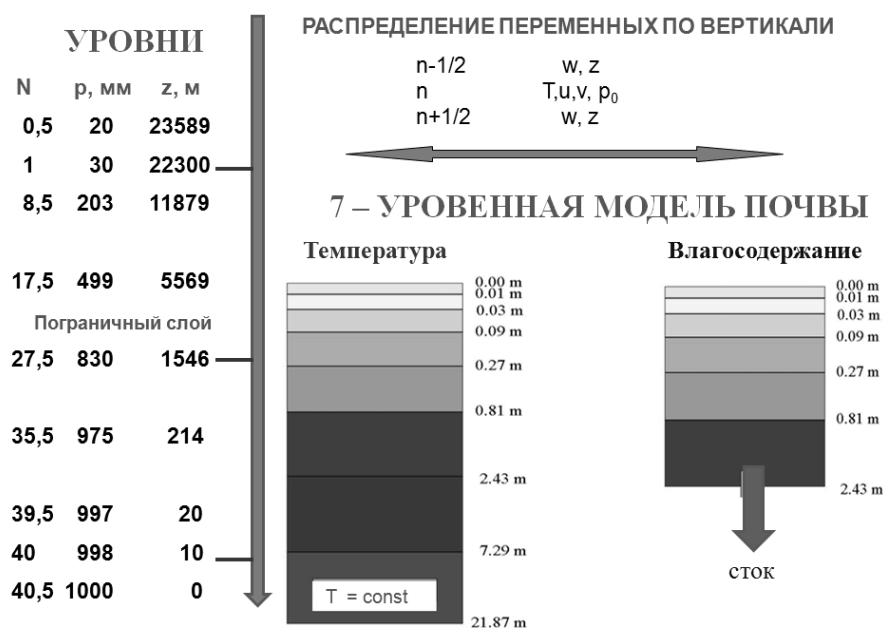


Рис. 4. Расчетные уровни модели COSMO-RU07.

На рис. 5 приведены области интегрирования и основные характеристики технологии COSMO-RU Гидрометцентра России в 2011 году. Отметим, что в 2010–2011 гг. в экспериментальном режиме на фоне основного счета и инфраструктурных функций COSMO-RU07 были реализованы еще три экспериментальные технологии, также устойчиво регулярно формирующие прогностическую продукцию:

- технология COSMO-RU2.2-C – построенная на вложенной в COSMO-RU07 технологии выпуска прогнозов с шагом сетки 2.2 км для Центрального федерального округа;
- технология COSMO-RU2.2-S – построенная на вложенной в COSMO-RU07 технологии выпуска прогнозов с шагом сетки 2.2 км для Южного федерального округа, включающего в себя регион Сочи;
- технология COSMO-RU14-Sib – независимая от COSMO-RU07 технология выпуска прогнозов с шагом сетки 14 км для Сибирского региона. Тожественная технология эксплуатируется в РСМЦ Новосибирска также в режиме регулярного счета.

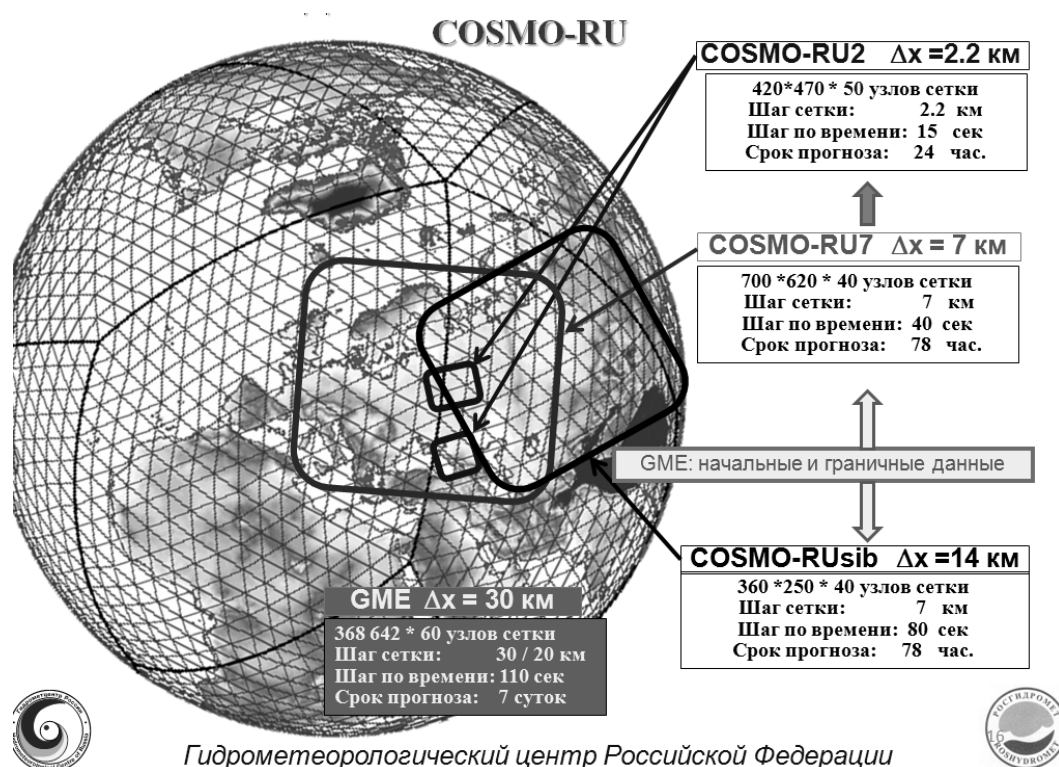


Рис. 5. Области интегрирования и характеристики систем прогноза погоды COSMO-RU, функционирующие в Гидрометцентре России.

Базовым элементом всех перечисленных технологий, представленных на рис. 5, является технологическая цепочка COSMO-RU07 (шаг сетки 7 км) (рис. 6).

По технологии COSMO-RU07 прогнозы заблаговременностью до 78 ч вычисляются дважды в сутки по начальным данным за сроки наблюдений для 00 и 12 ч ВСВ с применением 800 ядер для распараллеливания вычислений. На рис. 6 время указано как отклонение от срока наблюдения.

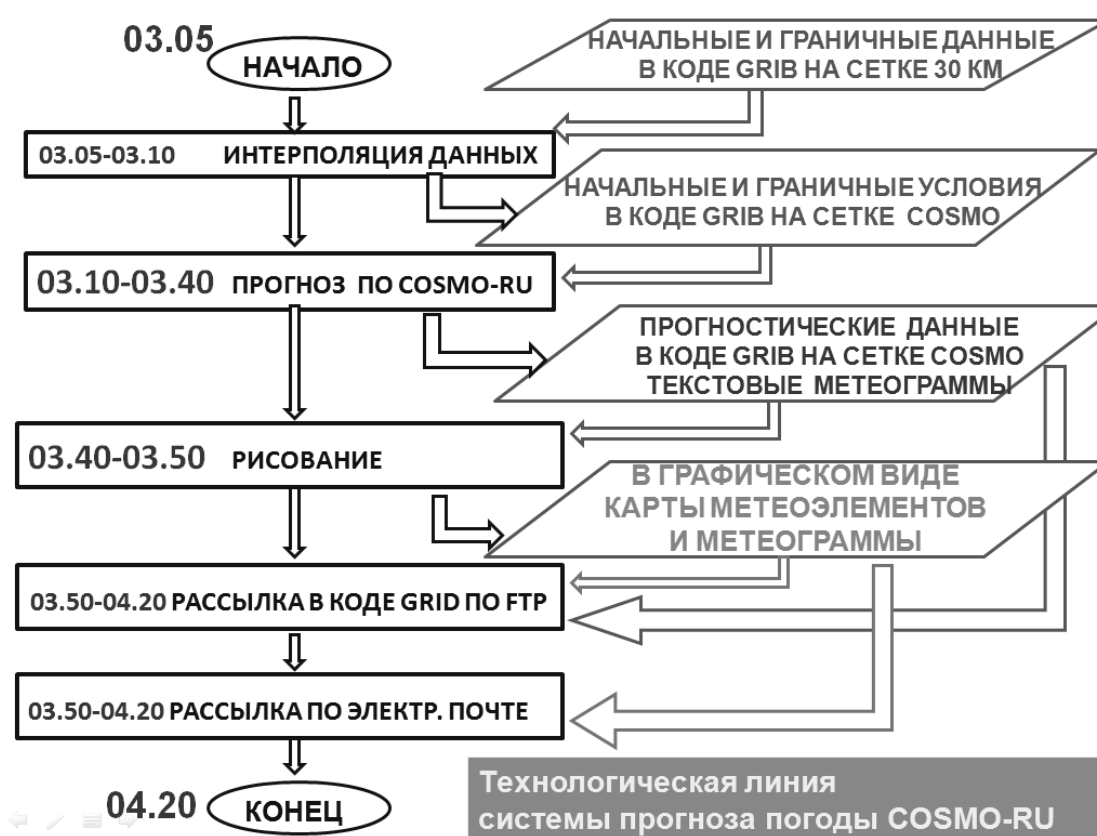


Рис. 6. Технологическая линия системы прогноза COSMO-RU07.

1.4. Основные виды продукции COSMO-RU07 для распространения потребителям

С момента начала функционирования технологии COSMO-RU одним из актуальных вопросов стал вопрос об оптимальности предоставления потребителям продукции вычислений. Дело в том, что продукция мезомасштабного моделирования имеет на порядки большие объемы выходных данных (в силу высокого пространственно-временного разрешения), чем используемая традиционно продукция глобального моделирования. Для доведения до потребителя-прогнозиста продукции моделирования высокого разрешения (передачи ее по каналам связи, визуализации системами, рассчитанными на предварительное размещение информации в пользовательских базах данных), использование стандартных традиционных подходов оперативного информационного обеспечения Росгидромета оказалось либо недостаточно эффективным, либо невозможным.

Для быстрого доведения продукции до потребителя разработчиками COSMO-RU были предложены решения, основанные, во-первых, на использовании Интернет возможностей (FTP или электронной почты), во-вторых, распространении готовых файлов в графических форматах, наряду с возможностями предоставления комплектов GRIB файлов по

согласованию с пользователями. Надо сказать, что подавляющее большинство пользователей – прогностических центров Росгидромета остановили свой выбор на варианте готовой графической продукции.

Графическая продукция формируется в виде наборов карт для районов и различных комплектов прогностических полей: давления на уровне моря (у.м.) + осадков + облачности, высоты H500 + давления на уровне моря + приземной температуры, линий тока + модуля скорости ветра + порывов ветра и т.д. Карты формируются для прогнозов с дискретностью заблаговременностей в 3 часа.

Помимо карт для отдельных пунктов производится формирование метеограмм в виде текстовых файлов и графиков временного хода метеорологических величин: скорости ветра и температуры воздуха: приземных и на нескольких уровнях до высоты 5 км, приземной точки росы, сумм осадков за час с учетом фазы, высоты условий конвекции. В 2011 году по заявкам пользователей число пунктов, для которых формируются и рассылаются метеограммы, достигло 400 за один сеанс расчетов.

Дизайн всех видов карт и метеограмм детально обсуждался с синоптическими подразделениями Гидрометцентра России: Отдела краткосрочных прогнозов погоды и опасных явлений, Лаборатории методического сопровождения прогнозов погоды и Отдела морских гидрологических прогнозов. В ходе этих обсуждений одновременно проводился методический анализ информативности продукции COSMO-RU, выявлялись основные особенности интерпретации нового вида прогнозов.

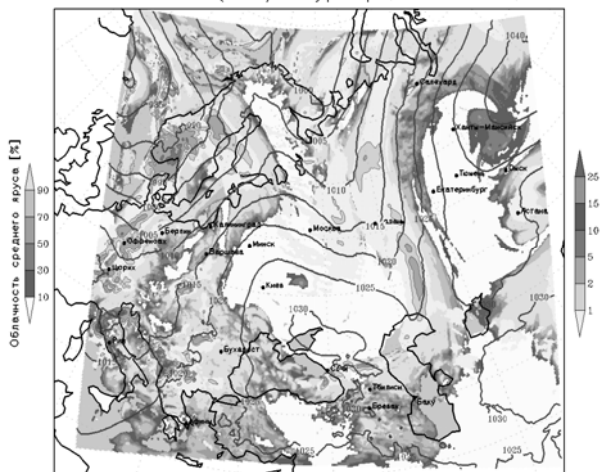
Все перечисленные виды графической продукции распространяются по FTP или электронной почте в течение 10 минут после окончания счета модели.

Примеры продукции технологии COSMO-RU приведены на рис. 7 и 8.

Помимо графических файлов, формируемых средствами GRADS, непосредственно после вычислений из выходных файлов модели средствами удаленного доступа производится перенос, раскодирование и запись информации в форме GRIB в пользовательские базы Гидрометцентра России, после чего продукция становится доступной всем технологиям Гидрометцентра России, сопряженным с этими базами данных.

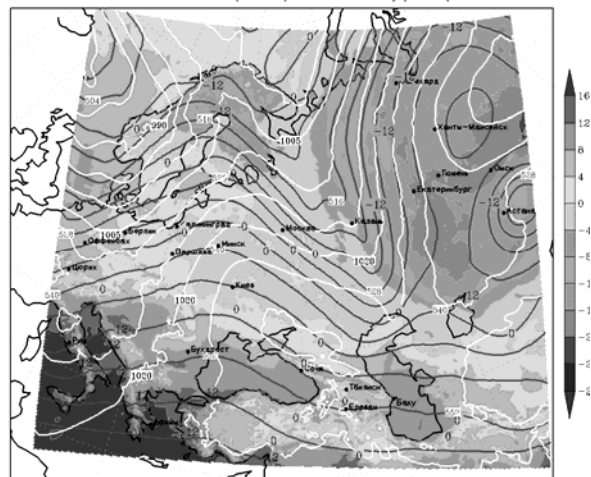
Программы расчета оценок, по результатам которых были выполнены оперативные испытания, использовали продукцию моделирования, размещенную в пользовательских базах данных Гидрометцентра России.

16:00 12дек 2011 (МСК): Р ур.морья, облачность, осадки



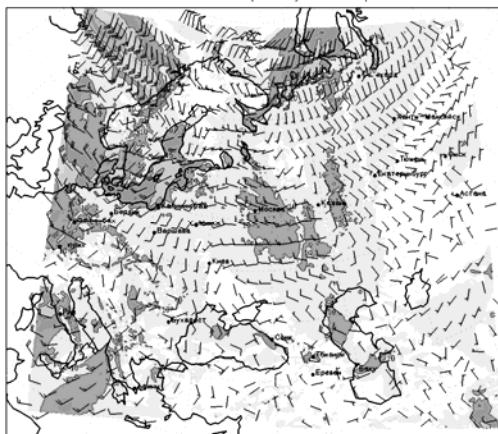
Прогноз на 36ч. от 04:00 11дек 2011 (МСК)
COSMO-RU 7км — Давление на уровне моря

16:00 12дек 2011 (МСК): T2м, Р ур.морья, H500



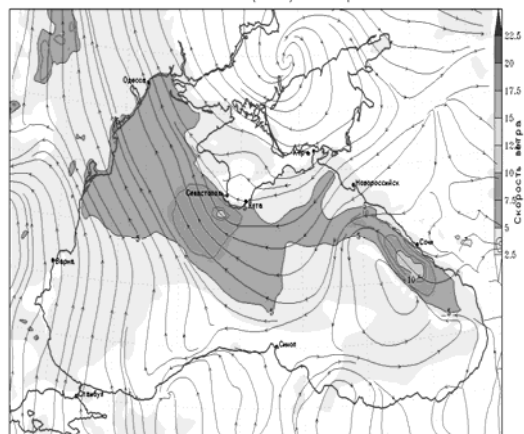
Прогноз на 36ч. от 04:00 11дек 2011 (МСК) — H500
COSMO-RU 7км — Давление на уровне моря

16:00 12дек 2011 (МСК): Ветер на 10м



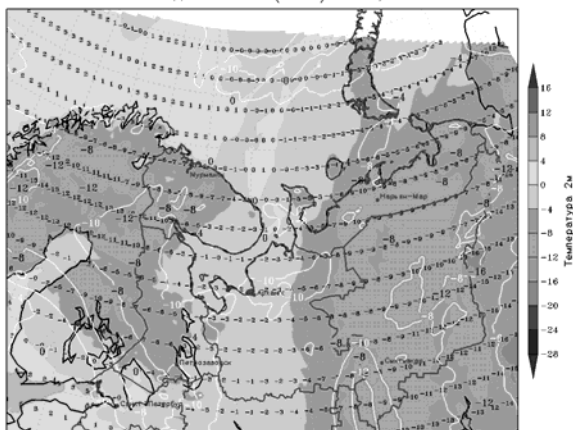
Прогноз на 36ч. от 04:00 11дек 2011 (МСК) — ветер на 10м
COSMO-RU 7км

16:00 12дек 2011 (МСК): Ветер на 10м



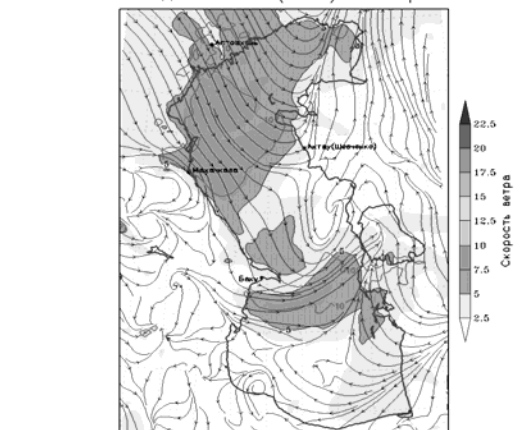
Прогноз на 36ч. от 04:00 11дек 2011 (МСК) — Порывы (от 10м/с, черс 2,5 м/с)
COSMO-RU 7км — Направление ветра

16:00 12дек 2011 (МСК): T2м, T850



Прогноз на 36ч. от 04:00 11дек 2011 (МСК)
COSMO-RU 7км — Температура на 850гПа

16:00 12дек 2011 (МСК): Ветер на 10м



Прогноз на 36ч. от 04:00 11дек 2011 (МСК) — Порывы (от 10м/с, черс 2,5 м/с)
COSMO-RU 7км — Направление ветра

Рис. 7. Образцы продукции COSMO-RU в виде карт различных метеоэлементов для разных регионов (выпускаются в цветном виде).

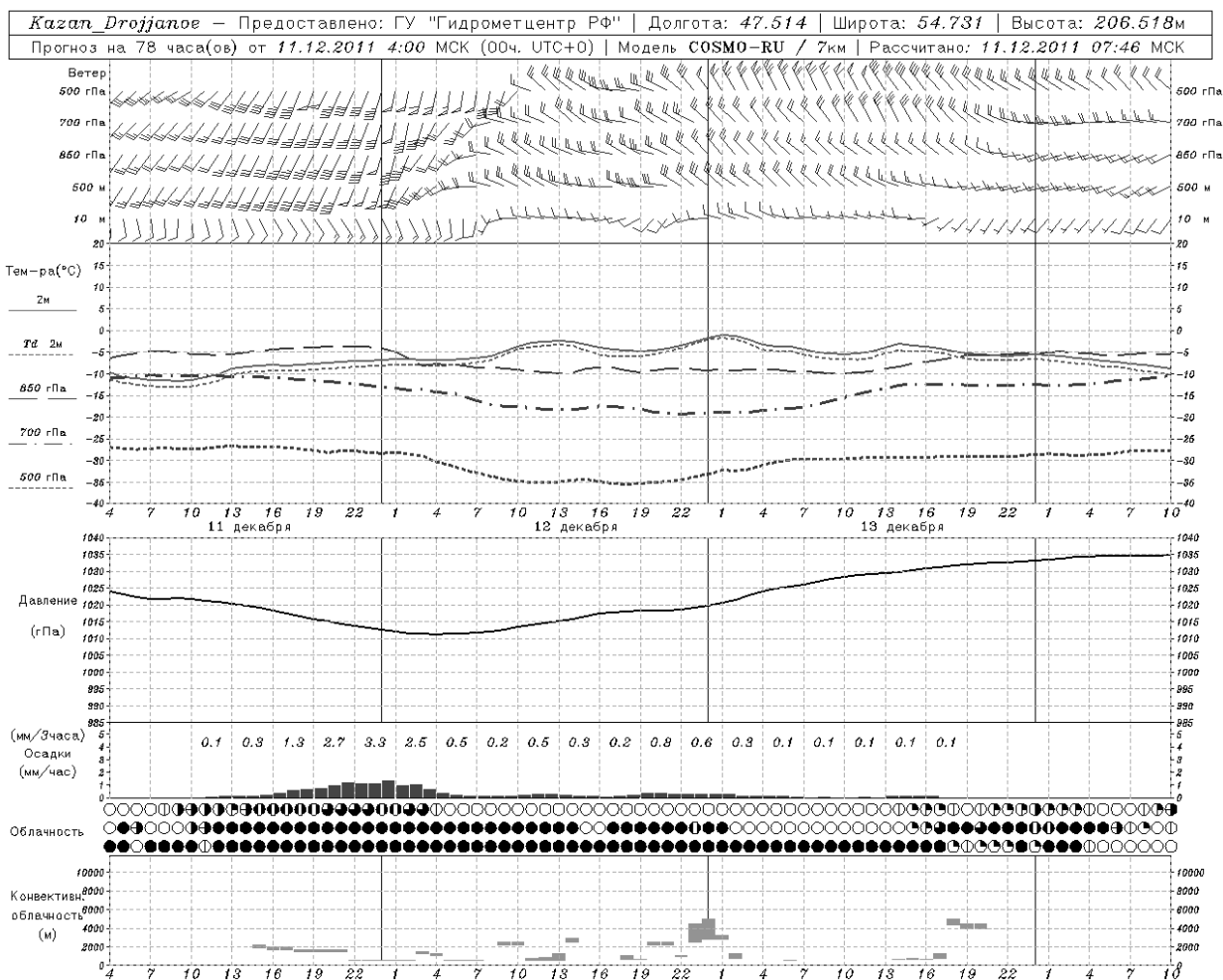


Рис. 8. Образец продукции COSMO-RU в виде метеограммы для конкретного пункта (выпускаются в цветном виде).

Условные обозначения приведены на полях рисунка.

2. Результаты оперативных испытаний системы моделирования COSMO-RU07

Согласно Плану оперативных испытаний на 2011 год, в Гидрометцентре России с мая 2010 г. по март 2011 года были проведены испытания прогнозов приземной температуры воздуха, точки росы, осадков и скорости ветра на высоте 10 м на основе эксплуатируемой в ФГБУ «Гидрометцентр России» модели атмосферы COSMO-RU07 с горизонтальным разрешением 7 км заблаговременностью прогнозов до 78 ч.

Ниже приводятся сведения в соответствии с пп. 3.1.1–3.1.9 Решения Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) от 13 апреля 2011 г. [5].

Прогнозы по модели COSMO-RU07 рассчитывались на суперкомпьютере SGI Altix 4700, заблаговременность прогнозов – до 78 часов, время счета – не более 35 минут при

использовании 800 процессоров. Исходными для прогноза являлись сроки 00 и 12 ч ВСВ. Область прогнозов охватывала Центральную Европу, Европейскую территорию России и Зауралье, шаг расчетной сетки составлял 7 км, модель имела 40 вертикальных уровней.

В качестве начальных и граничных условий для расчета прогнозов использовались данные метеорологического центра Немецкой службы погоды (DWD) для COSMO-RU07.

Одновременно с испытаниями создавалась технология автоматизированного формирования выходной продукции в коде GRIB, визуализации карт и метеограмм.

Сравнительная оценка прогнозов проводилась для теплого (с 1 мая по 30 сентября 2010 года) и холодного (с 1 октября 2010 по 25 марта 2011 года) периодов за исходный срок прогноза 00 ч ВСВ.

В период испытаний оперативный выпуск прогнозов по модели COSMO-RU07 имел место в 96 % случаев, и не состоялся по различным причинам только в 4 % случаев, т.е. модель COSMO-RU07 удовлетворяет требованиям оперативной практики в части надежности и своевременности выпуска прогнозов.

Методика проведения испытаний предусматривала:

- оценку успешности прогнозов давления, приземной температуры воздуха, точки росы, ветра и осадков по данным сети метеорологических станций Европейской территории России (45–65° с.ш., 27–57° в.д., ~ 430 станций);

- сравнение с прогнозами ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба.

В сравнении участвовали следующие модели:

- четыре зарубежные глобальные модели (доступная продукция на основе раскодирования полей в коде GRIB с шагами сетки около 1,25x1,25° при шагах расчетов 35–40 км):

- 1) DWD (ФРГ),
- 2) JARA (Япония);
- 3) NCEP (США),
- 4) UKMO (Великобритания);

- две отечественные глобальные модели:

- 5) спектральная (отв. – И.А. Розинкина), варианты:

- T169 (шаг сетки 72 км),

- T85 (шаг сетки 144 км);

- 6) PLAV (полулагранжева, отв. – М.А. Толстых, шаг сетки 70 км);

- 1 региональная модель:

- 7) Regi (отв. – В.М. Лосев, шаг сетки 50 км);

– три мезомасштабные зарубежные модели, прогнозы по которым рассчитывались в Москве:

8) MM5K (шаг сетки 20 км, отв. – Г.Ю. Калугина, Московское ГМБ);

9) WRF-ARW, 4 варианта:

Ry20 (отв. – К.Г. Рубинштейн, шаг сетки 20 км),

Tros (отв. – И.В. Тросников, шаг сетки 20 км),

Zari (отв. – Р.Б. Зарипов, шаг сетки 20 км),

Zn03 (отв. – В.Д. Жупанов, Н.Ф. Вельтищев, шаг сетки 3 км);

10) COSMO (модель COSMO-RU07, отв. – Г.С. Ривин, шаг сетки 7 км).

Заметим, что, в отличие от остальных моделей, прогнозы по варианту Zn03 модели WRF-ARW (WRF-ARW-Zn03) из-за слишком большого требуемого машинного времени стартовали от срока 12 ч ВСВ.

Кроме оценок прогнозов полей метеорологических величин по указанным выше моделям ниже в таблицах представлены оценки результатов расчетов прогнозов значений метеоэлементов непосредственно на станциях по предложенному в [1] и названному автором «методу ансамбля». Метод является вариантом метода MOS (Model Output Statistic), одновременно примененным к прогнозам соответствующих метеорологических величин двух-трех лучших (за исключением модели ЕЦСПП, распространение продукции элементов погоды по которой производится на коммерческой основе) на данный момент зарубежных глобальных моделей UKMO (Великобритания), NCEP (США) и JAPA (Япония). Соответствующие обозначения в таблицах AnUN, AnUNJ или AnNJ указывают на использованные в комплексировании модели.

Для получения оценок сравнивались проинтерполированные на станцию билинейным способом из узлов прогностической сетки значения метеоэлементов с фактическими их значениями, измеренными на этой станции.

Полученные оценки представлены в табл. 1–18.

Обозначения в табл.1–8 и 16–18: BIAS, RMS, ABS, OTNO, $\% \leq 1$, $\% \leq 2$, $\% \leq 3$ и $\% > 3$ соответствуют средней, среднеквадратической, средней абсолютной и относительной ошибкам, а также проценту прогнозов с ошибками меньше или больше некоторого порога (в гПа, °С или м/с); N – количество оцененных прогнозов (по числу станций). В табл. 13–15 по оценке ветра значения BIAS, RMS и ABS относятся только к скорости ветра, Vek.os, RMSv.os – векторная ошибка и среднеквадратическая величина векторной ошибки ветра.

В табл. 9–12 представлены оценки прогнозов осадков. Для оценки прогнозов осадков используют таблицу сопряженности (табл. 19).

Напомним, что количество осадков на станциях Европейской территории России измеряется за 12-часовые интервалы в 06 и 18 ч ВСВ. За факт осадков принимаются любые осадки, в том числе и менее 0,1 мм/12 ч (так называемые «следы осадков»).

Обозначения в табл. 9–12 следующие: $N_{oc} = k_{01}/k_{00}$, $N_{bo} = k_{02}/k_{00}$ – число наблюдений, %, с осадками и без осадков; $F_{oc} = k_{11}/k_{10}$, $F_{bo} = k_{22}/k_{20}$ – оправдываемость, %, наличия и отсутствия осадков; $PC = k_{21}/k_{00}$ – число случаев, %, когда осадки не прогнозировались, а они наблюдались («пропуск цели»); $LT = k_{12}/k_{00}$ – число случаев, %, когда осадки прогнозировались, но не наблюдались («ложные тревоги»); $PIR = k_{11}/k_{01} - k_{12}/k_{02}$ – критерий Пирси-Обухова; критерий $ETS = (k_{11} - a)/(k_{11} - a + k_{12} + k_{21})$, где $a = (k_{11} + k_{12}) \cdot (k_{11} + k_{21}) / k_{00}$; $BIAS$ и ABS – средняя (систематическая) и средняя абсолютная ошибка прогноза осадков в мм/12 ч; N – общее число случаев (станций). Чем ближе к 1 критерии PIR и ETS , тем лучше прогноз; U – общая оправдываемость прогноза осадков, %, в соответствии с Наставлением [4] в зависимости от фазы наблюдаемых осадков.

Следует отметить, что у большинства мезомасштабных моделей атмосферы по различным техническим причинам ряд с прогнозами оказался неполным (они отмечены в табл. 1–18 знаками * или **, в этом случае результаты оценки недостаточно репрезентативны, особенно для моделей, отмеченных **).

Отдельно была проведена оценка прогнозов температуры и осадков модели COSMO-RU07 и варианту WRF-ARW-Zn03 по одинаковой длине выборки, т.е. по примерно в 1,7 раза меньшему количеству случаев. Результаты оказались весьма похожими на приведенные в табл. 4–12 (поэтому мы их здесь не помещаем).

Сравнение этих двух моделей показало следующее:

- прогнозы осадков обеих мезомodelей имеют достаточно высокую практическую значимость, при этом значения критерия качества Пирси-Обухова у модели COSMO-RU07 составляют 0,41–0,60, а у модели WRF-ARW-Zn03 – 0,37–0,55, т.е. в целом качество прогнозирования факта осадков несколько выше у модели COSMO-RU07; при этом абсолютные ошибки прогноза количества осадков у модели COSMO-RU07 оказались несколько меньше, чем у модели WRF-ARW-Zn03;

- прогнозы приземной температуры воздуха и точки росы по модели COSMO-RU07 и WRF-ARW-Zn03 имели близкое качество, при этом в разные сезоны года имелись небольшие преимущества либо у модели COSMO-RU07, либо у модели WRF-ARW-Zn03 (различия абсолютной ошибки находились в пределах 0,4 °C);

- прогнозы ветра по модели COSMO-RU07 имели преимущество перед соответствующими прогнозами WRF-ARW-Zn03.

Сравнительная оценка успешности прогнозов осадков и температуры воздуха отечественных и зарубежных моделей по полному ряду случаев показала следующее:

– прогнозы осадков по модели COSMO-RU07 оказались наиболее успешными среди всех рассматриваемых моделей (включая оперативные зарубежные);

– абсолютные ошибки прогнозов приземной температуры воздуха по мезомасштабным моделям COSMO-RU07 и WRF-ARW-Zn03 оказались на 0,3–0,8 °С меньше, чем у отечественных глобальных моделей.

Отметим, что к сопоставлению результатов мезомасштабного моделирования с более гладкими полями, получаемыми по результатам глобального моделирования, следует относиться с осторожностью. Из-за высокой пространственно-временной изменчивости метеорологических полей, формируемых на основе мезомасштабного моделирования, могут возникать ситуации «двойных штрафов» за неточное попадание, в принципе, удачно спрогнозированного явления (или градации значений) в точки, для которых производятся оценки. В будущем представляется необходимым развитие систем верификации, учитывающих значения элементов в окрестностях точек сравнения.

Можно также отметить, что прогнозы на станциях по «методу ансамбля» MOS оказались наиболее успешными из всех рассматриваемых моделей.

3. Решение ЦМКП

ЦМКП констатировала (п. 3.1.9), что эксплуатируемые в ФГБУ «Гидрометцентр России» мезомасштабные модели атмосферы достигли определенных успехов в успешности прогнозов осадков, температуры и влажности воздуха, фонового приземного ветра.

ЦМКП решила (п. 3.2) рекомендовать ФГБУ «Гидрометцентр России»:

– 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;

– продолжить работу по развитию мезомасштабных моделей атмосферы с целью повышения качества прогнозов, а также для возможности прогнозирования опасных природных гидрометеорологических явлений и резких изменений погоды, в том числе на основе использования ансамблевого подхода;

– в течение года подготовить методическое письмо для пользователей-прогнозистов о новом виде прогностической информации высокого пространственного и временного

разрешения с некоторыми рекомендациями по практическому использованию этой информации;

– продолжить работу по совершенствованию методики оценки качества прогнозов на основе мезомасштабных моделей атмосферы.

ЦМКП решила (п. 3.3) рекомендовать оперативно-прогностическим подразделениям Росгидромета использовать в практической работе выходную продукцию мезомасштабной модели COSMO-RU07.

Список литературы

1. *Багров А.Н.* Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды на основе ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба // Информационный сборник № 35. – 2008. – С. 3–20.

2. *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.

3. *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.

4. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.

5. Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и геиогеофизическим прогнозам от 13 апреля 2011 г. Раздел "Решения ЦМКП" сайта Методического кабинета Гидрометцентра России [http // method.hydromet.ru/](http://method.hydromet.ru/) (дата обращения: 12.12.2011).

6. COSMO: Consortium for Small-scale Modelling. URL: <http://www.cosmo-model.org> (дата обращения: 12.12.2011).

7. Description of the Nonhydrostatic Regional COSMO-Model. Part I-VII: сайт <http://www.cosmo-model.org/content/model/documentation/core/default.htm>

8. *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.

9. *Stappeler 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.

Таблица 1

**Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 24 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% \leq 1	% \leq 2	% \leq 3	% $>$ 3	N
UKMO	-0,64	1,24	0,97	0,20	62	91	98	2	146062
NCEP	-0,09	1,11	0,85	0,17	70	94	99	1	143116
JAPA	-0,54	1,27	0,98	0,20	62	90	98	2	145621
PLAV	-0,97	1,81	1,48	0,30	40	73	92	8	147838
Zn03**	-0,23	1,57	1,11	0,21	59	86	95	5	96633
COSMO	-0,07	1,52	1,15	0,23	55	85	95	5	144271

Таблица 2

**Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 36 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% \leq 1	% \leq 2	% \leq 3	% $>$ 3	N
UKMO	-0,56	1,41	1,09	0,17	58	87	97	3	145566
NCEP	-0,17	1,45	1,10	0,17	58	86	96	4	142095
JAPA	-0,69	1,69	1,29	0,20	50	81	93	7	145572
PLAV	-1,04	2,17	1,72	0,27	37	66	85	15	147344
Zn03**	-0,17	1,94	1,42	0,21	48	77	90	10	83787
COSMO	-0,51	2,14	1,67	0,26	39	69	86	14	143775

Таблица 3

**Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 48 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% \leq 1	% \leq 2	% \leq 3	% $>$ 3	N
UKMO	-0,87	1,81	1,42	0,19	44	76	92	8	146023
NCEP	-0,10	1,77	1,33	0,18	50	80	92	8	142566
JAPA	-0,55	1,95	1,47	0,20	46	75	90	10	145580
PLAV	-1,76	2,97	2,42	0,33	25	48	68	32	147799
Zn03**	-0,37	2,45	1,74	0,23	41	69	85	15	69092
COSMO	-0,10	2,49	1,91	0,26	36	63	80	20	142021

Таблица 4

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 24 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%_{≤1}	%_{≤2}	%_{≤3}	%_{>3}	N
UKMO	0,88	2,41	1,79	0,59	41	67	82	18	145798
NCEP	-0,35	2,47	1,87	0,62	37	64	82	18	147228
DWD	0,72	3,03	2,32	0,77	31	55	72	28	142242
JAPA	1,70	3,41	2,38	0,79	36	59	73	27	144461
T85	-0,28	3,28	2,53	0,83	28	50	68	32	144458
T169	-1,06	3,33	2,50	0,83	29	52	69	31	137870
PLAV	0,41	3,53	2,79	0,92	24	45	62	38	145805
Regi	1,11	2,64	1,98	0,66	36	62	79	21	141329
MM5K	0,49	2,90	2,13	0,71	35	60	76	24	144461
Zari*	0,25	2,86	2,03	0,68	37	63	79	21	117227
Tros*	0,72	2,96	2,18	0,72	35	59	75	25	23428
Zn03**	-0,19	3,09	2,24	0,72	33	58	75	25	97445
Ry20*	-0,68	2,88	2,12	0,71	34	60	77	23	128226
COSMO	1,19	3,08	2,30	0,76	33	57	73	27	144458
AnUNJ	0,03	2,08	1,56	0,52	44	73	88	12	147906

Таблица 5

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 36 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%_{≤1}	%_{≤2}	%_{≤3}	%_{>3}	N
UKMO	-0,02	2,29	1,71	0,23	41	69	84	16	142936
NCEP	-0,08	2,55	1,90	0,26	38	64	80	20	146145
DWD	-0,43	3,00	2,26	0,31	32	57	74	26	142495
JAPA	0,16	2,70	2,02	0,28	36	62	78	22	143389
T85	-0,28	3,47	2,67	0,37	26	48	66	34	143944
T169	-2,20	4,30	3,31	0,46	22	40	55	45	137217
PLAV	0,05	3,10	2,36	0,33	29	53	72	28	145179
Regi	0,23	2,46	1,83	0,25	39	66	82	18	140694
MM5K	-0,53	2,96	2,30	0,32	29	54	72	28	143831
Zari*	-0,60	2,95	2,24	0,30	30	56	74	26	115210
Tros*	0,55	2,76	2,12	0,30	33	58	76	24	125131
Zn03**	-0,08	2,87	2,06	0,28	36	61	78	22	84097
Ry20*	-0,69	2,71	2,11	0,28	31	57	76	24	127563
COSMO	-0,31	2,81	2,13	0,29	33	59	76	24	143830
AnUNJ	-0,01	2,03	1,51	0,21	45	74	88	12	147325

Таблица 6

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 48 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%_{≤1}	%_{≤2}	%_{≤3}	%_{>3}	N
UKMO	0,98	2,64	1,98	0,49	37	62	79	21	145714
NCEP	-0,33	2,67	2,02	0,51	34	61	78	22	147786
DWD	0,78	3,18	2,45	0,61	29	52	69	31	142604
JAPA	1,93	3,67	2,61	0,65	32	54	69	40	143921
T85	-0,29	3,92	3,02	0,75	23	43	60	31	144363
T169	-1,13	3,70	2,82	0,70	25	46	63	37	137327
PLAV	0,68	3,82	3,03	0,76	21	41	58	42	145710
Regi	1,18	2,85	2,14	0,53	34	59	75	25	140807
MM5K	0,56	3,21	2,36	0,59	32	56	72	28	144366
Zari*	0,32	3,23	2,28	0,57	34	59	75	25	115858
Tros*	0,88	3,20	2,38	0,59	31	55	72	28	125695
Zn03**	-0,09	3,37	2,44	0,60	31	55	72	28	69801
Ry20*	-0,60	3,06	2,26	0,57	33	57	74	26	127686
COSMO	1,26	3,31	2,47	0,62	30	53	70	30	141693
AnUNJ	0,03	2,30	1,72	0,43	40	68	84	16	146916

Таблица 7

**Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 60 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%_{≤1}	%_{≤2}	%_{≤3}	%_{>3}	N
UKMO	-0,01	2,62	1,97	0,26	36	63	79	21	141151
NCEP	-0,06	2,82	2,12	0,28	34	59	76	24	144362
DWD	-0,30	3,28	2,50	0,33	29	52	69	31	141613
JAPA	0,35	2,93	2,19	0,29	34	58	74	26	143391
T85	-0,26	4,08	3,17	0,42	22	41	57	43	143831
T169	-2,42	4,73	3,70	0,49	19	35	50	50	137028
PLAV	0,16	3,38	2,58	0,34	27	50	68	32	145181
Zari*	-0,74	3,36	2,56	0,33	27	50	68	32	114304
Ry20*	-0,80	3,03	2,36	0,30	28	52	71	29	126678
COSMO	-0,26	3,13	2,39	0,31	29	53	71	29	135343
AnUNJ	0,02	2,28	1,72	0,23	40	68	84	16	145517

Таблица 8

**Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 72 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% _{≤1}	% _{≤2}	% _{≤3}	% _{>3}	N
UKMO	0,96	2,85	2,15	0,49	33	58	75	25	135605
NCEP	-0,39	2,96	2,22	0,50	32	57	75	25	141919
DWD	0,77	3,51	2,70	0,61	27	48	65	35	140508
JAPA	2,04	3,86	2,79	0,63	29	50	66	34	141391
T85	-0,28	4,54	3,51	0,79	20	38	53	47	141830
T169	-1,28	4,04	3,12	0,70	22	41	58	42	134372
PLAV	0,74	4,12	3,27	0,74	20	38	54	46	143182
Zari*	0,23	3,43	2,43	0,56	32	56	72	28	113351
Ry20*	-0,67	3,34	2,47	0,57	29	53	71	29	125223
COSMO*	1,34	3,57	2,70	0,62	27	49	65	35	120903
AnUNJ	0,04	2,54	1,91	0,43	37	63	81	19	142912

Таблица 9

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 18 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	N
UKMO	77	40	60	37	35	3	25	0,30	0,50	0,66	1,14	141437
NCEP	82	40	60	36	42	5	18	0,39	0,59	0,42	0,99	142726
DWD	82	40	60	30	48	10	12	0,37	0,55	—	—	140176
JAPA	83	40	60	25	53	15	6	0,38	0,53	-0,73	0,77	141489
T85	80	40	60	17	55	23	4	0,23	0,35	-0,27	0,83	142352
T169	82	41	59	20	55	20	4	0,29	0,43	-0,08	0,86	136264
PLAV	81	40	60	28	47	12	13	0,32	0,49	0,05	0,86	142786
Regi	80	40	60	30	42	10	17	0,29	0,46	0,07	0,87	139334
MM5K	82	40	60	33	46	8	14	0,39	0,58	0,24	0,92	141917
Zari*	83	40	60	34	46	7	14	0,41	0,60	0,21	0,93	115404
Tros*	83	41	59	27	51	15	8	0,35	0,51	-0,16	0,73	124590
Zn03**	83	41	59	29	49	12	10	0,37	0,54	0,08	0,80	93705
Ry20*	82	39	61	32	45	7	15	0,38	0,57	0,34	0,98	124548
COSMO	83	41	59	32	47	8	12	0,42	0,60	0,09	0,82	141915
AnUN	85	40	60	32	50	9	10	0,44	0,61	0,01	0,70	143441

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 30 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	NN
UKMO	80	36	64	32	43	4	21	0,34	0,55	0,37	0,89	141838
NCEP	82	37	63	32	45	5	19	0,37	0,58	0,20	0,82	142716
DWD	82	36	64	27	51	9	13	0,36	0,54	–	–	140529
JAPA	83	37	63	24	55	13	9	0,36	0,52	–0,67	0,71	140965
T85	81	37	63	18	57	18	6	0,27	0,40	0,03	0,93	142708
T169	81	37	63	22	55	15	7	0,33	0,48	0,33	1,05	136651
PLAV	83	37	63	26	50	10	13	0,34	0,52	–0,09	0,73	143146
Regi	79	37	63	28	43	8	20	0,27	0,46	0,15	0,87	139662
MM5K	82	37	63	29	47	8	16	0,35	0,54	0,11	0,81	142270
Zari*	81	37	63	32	45	5	18	0,35	0,56	0,17	0,88	114072
Tros*	83	38	62	26	52	11	11	0,35	0,52	–0,10	0,69	124036
Zn03**	83	37	63	28	51	9	12	0,37	0,55	–0,02	0,70	87132
Ry20*	82	36	64	29	47	7	18	0,33	0,53	0,04	0,77	124907
COSMO	83	37	63	29	51	8	12	0,41	0,59	0,19	0,85	140974
AnUN	85	37	63	29	52	8	12	0,42	0,60	–0,03	0,65	143701

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 42 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	NN
UKMO	75	40	60	36	34	4	27	0,27	0,47	0,75	1,27	138810
NCEP	81	40	60	35	42	5	18	0,37	0,57	0,39	1,06	142292
DWD	81	40	60	30	47	10	13	0,36	0,54	–	–	137939
JAPA	83	40	60	26	51	14	9	0,35	0,51	–0,72	0,78	140547
T85	79	40	60	22	51	18	8	0,27	0,41	0,11	1,12	142283
T169	79	41	59	26	50	15	9	0,32	0,48	0,37	1,25	136209
PLAV	80	40	60	30	45	10	14	0,33	0,50	0,13	0,98	142721
Regi	78	40	60	30	42	11	18	0,27	0,43	0,06	0,98	139241
MM5K	80	40	60	32	45	9	15	0,35	0,53	0,26	1,05	141844
Zari*	79	40	60	34	40	6	19	0,34	0,53	0,29	1,10	113617
Tros*	81	41	59	28	47	13	12	0,32	0,48	–0,05	0,87	123651
Zn03**	81	41	59	31	46	10	13	0,36	0,53	0,11	0,95	72510
Ry20*	79	40	60	32	42	7	18	0,33	0,52	0,42	1,20	124534
COSMO	81	41	59	32	46	9	13	0,38	0,56	0,17	0,97	140979
AnUN	83	40	60	32	47	8	13	0,40	0,58	0,02	0,78	142960

Таблица 12

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 54 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	N
UKMO	83	36	64	21	56	16	8	0,30	0,44	-0,22	0,71	141085
NCEP	80	37	63	31	44	6	19	0,33	0,54	0,18	0,91	141538
DWD	79	37	63	27	48	10	15	0,31	0,49	–	–	135103
JAPA	82	36	64	23	53	13	10	0,32	0,47	-0,66	0,71	140228
T85	78	37	63	21	53	15	11	0,27	0,41	0,29	1,20	141526
T169	78	37	63	24	51	13	12	0,30	0,46	0,55	1,34	135103
PLAV	81	37	63	27	48	10	15	0,31	0,49	-0,03	0,84	141963
Zari*	79	37	63	31	41	6	22	0,29	0,49	0,18	0,97	112257
Zn03**	81	39	61	28	48	10	14	0,34	0,51	0,02	0,88	55926
Ry20*	80	36	64	29	44	7	20	0,29	0,49	0,04	0,87	123853
COSMO	80	36	64	27	50	9	14	0,35	0,53	0,29	1,01	136764
AnUN	82	37	63	29	48	8	15	0,35	0,54	0,11	0,85	141307

Таблица 13

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 24 ч
в период с июня 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%>3	N
UKMO	1,31	1,99	1,63	2,17	2,50	21	129212
NCEP	1,05	1,83	1,46	2,01	2,34	15	127490
JAPA	-0,37	1,70	1,22	1,59	2,03	11	129212
PLAV	0,65	1,78	1,36	1,89	2,29	17	130953
Zn03**	1,88	2,56	2,09	2,64	3,06	33	85441
Ry20*	1,86	2,57	2,06	2,61	3,07	32	111102
COSMO*	1,37	2,21	1,70	2,28	2,79	22	119683
AnNJ*	0,07	2,09	1,18	1,61	2,43	10	115384

Таблица 14

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 36 ч
в период с июня 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%>3	N
UKMO	0,83	1,91	1,46	2,29	2,70	25	128762
NCEP	0,45	1,77	1,32	2,15	2,58	21	127033
JAPA	-1,29	2,24	1,67	2,14	2,64	22	128762
PLAV	0,56	1,88	1,42	2,30	2,73	25	130502
Zn03**	2,01	2,86	2,30	3,20	3,69	49	73818
Ry20*	1,85	2,70	2,18	3,08	3,54	46	110594
COSMO*	1,20	2,44	1,75	2,68	3,33	33	119619
AnNJ*	-0,59	2,35	1,45	2,04	2,79	19	114835

Таблица 15

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 48 ч
в период с июня 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%>3	N
UKMO	1,34	2,08	1,69	2,29	2,63	24	129158
NCEP	1,04	1,88	1,50	2,12	2,46	18	127419
JAPA	-0,38	1,74	1,25	1,67	2,11	12	128723
PLAV	0,69	1,91	1,46	2,04	2,48	21	130889
Zn03**	1,93	2,69	2,18	2,84	3,31	38	60319
Ry20*	1,94	2,79	2,18	2,81	3,35	36	111019
COSMO*	1,44	2,32	1,80	2,47	2,96	27	117883
AnNJ*	-0,07	2,08	1,17	1,63	2,44	11	115324

Таблица 16

**Показатели успешности прогнозов точки росы (°C) на 24 ч
в период с сентября 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,56	3,69	2,37	0,68	37	61	75	25	90581
NCEP	0,59	2,71	1,91	0,55	40	66	81	19	88416
JAPA	1,61	3,96	2,65	0,76	35	57	71	29	90581
PLAV	-0,62	3,21	2,50	0,71	26	49	68	32	90581
Zn03**	0,90	3,25	2,27	0,64	36	61	75	25	64679
Ry20*	0,54	3,11	2,22	0,64	35	60	76	24	76688
COSMO	0,68	2,86	2,03	0,58	38	64	79	21	87980
AnUN	0,09	2,78	1,95	0,56	38	64	80	20	90581

Таблица 17

**Показатели успешности прогнозов точки росы (°C) на 36 ч
в период с сентября 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,32	3,04	2,16	0,50	35	61	77	23	89859
NCEP	1,33	2,96	2,19	0,50	35	59	74	26	87688
JAPA	1,24	3,34	2,38	0,55	33	57	73	27	89859
PLAV	0,49	2,92	2,25	0,52	31	55	73	27	89859
Zn03**	1,33	3,20	2,35	0,52	32	56	72	28	54720
Ry20*	1,35	3,06	2,28	0,52	33	56	73	27	75955
COSMO	0,70	2,70	1,99	0,46	37	62	78	22	87687
AnUN	0,10	2,61	1,86	0,43	37	64	81	19	89859

Таблица 18

**Показатели успешности прогнозов точки росы (°С) на 48 ч
в период с сентября 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% \leq 1	% \leq 2	% \leq 3	% $>$ 3	N
UKMO	0,69	3,30	2,34	0,50	34	58	73	27	90568
NCEP	0659	2,97	2,11	0,46	37	62	77	23	88402
JAPA	1,73	4,29	2,94	0,63	31	53	67	33	90568
PLAV	-0,46	3,54	2,75	0,59	24	46	64	36	90568
Zn03**	1,12	3,68	2,60	0,55	32	55	70	30	45319
Ry20*	0,64	3,43	2,47	0,54	32	56	71	29	76679
COSMO	0,86	3,27	2,32	0,50	34	58	74	26	86255
AnUN	0,11	2,99	2,12	0,46	35	60	76	24	90568

Таблица 19

Таблица сопряженности для оценки прогнозов осадков

Прогноз	Фактическое количество случаев		Сумма
	с осадками	без осадков	
С осадками	k_{11}	k_{12}	k_{10}
Без осадков	k_{21}	k_{22}	k_{20}
Сумма	k_{01}	k_{02}	k_{00}