

# Прогноз мезомасштабной погоды



## МЕЗОМАСШТАБНЫЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ЛАНДШАФТ

С 1 октября 2009 г. Росгидромет является  
полноправным членом консорциума.

- **ВЕЛИКОБРИТАНИЯ: UM**

- **МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ  
КОНСОРЦИУМЫ ЕВРОПЫ:**

- **ALADIN**

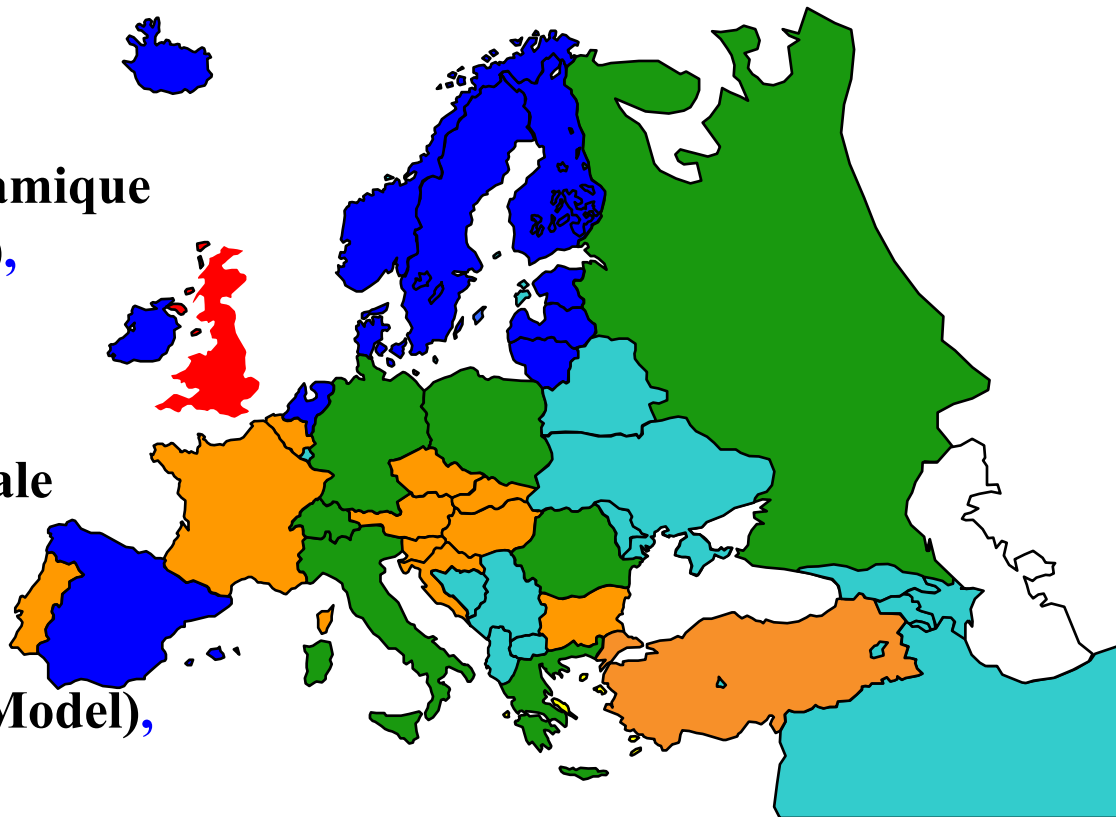
(Aire Limitée Adaptation dynamique  
Développement InterNational),  
(Франция);

- **COSMO**

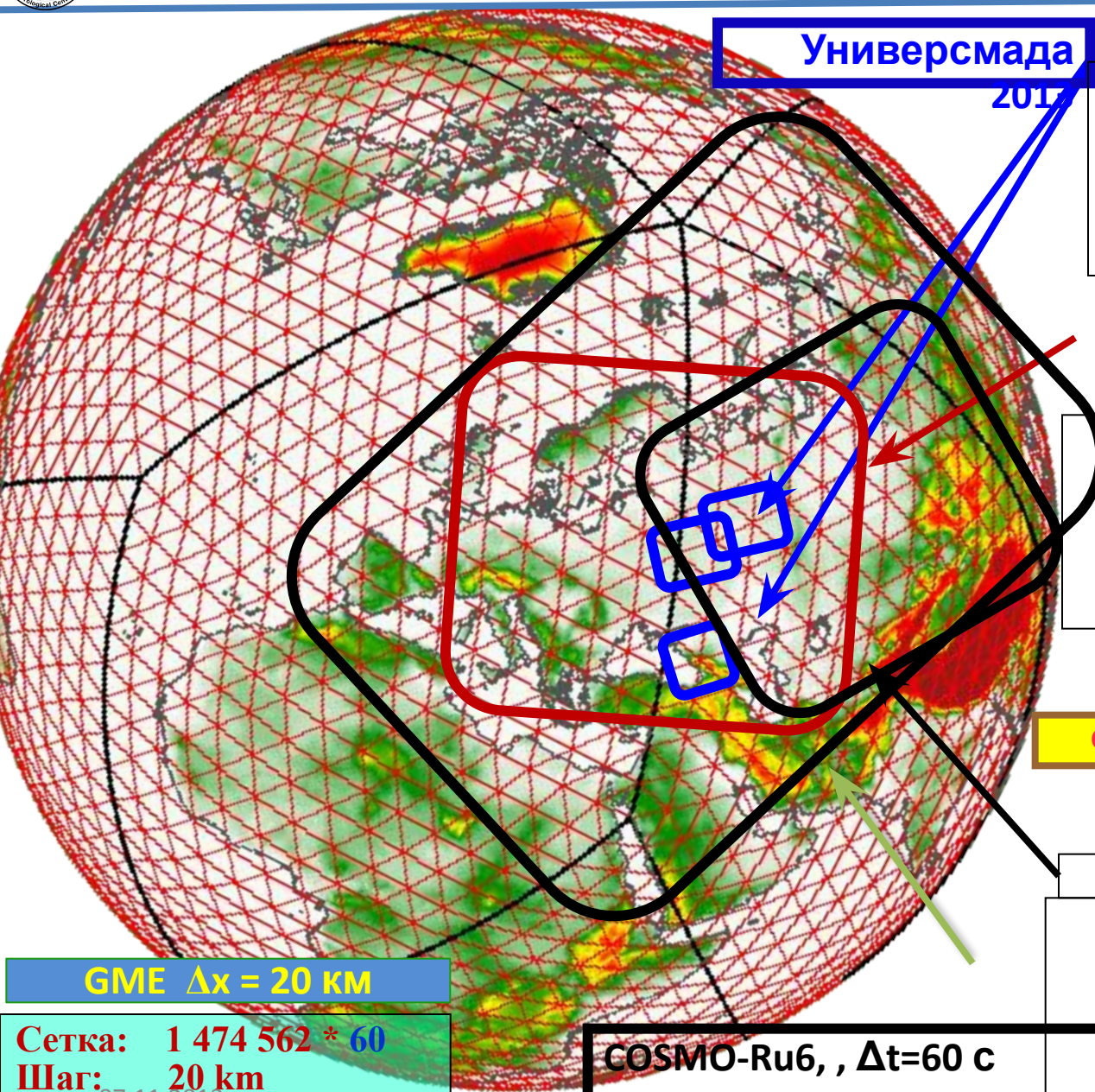
(The Consortium for Small-scale  
Modeling), (Германия);

- **HIRLAM**

(High Resolution Limited Area Model),  
(Скандинавские страны);



- **США: WRF – ARW (Advanced Research WRF),  
WRF – NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model)**



Универсада

**COSMO-Ru2**  $\Delta x = 2.2 \text{ км}$

Область: 900 км \* 1000 км  
Сетка: 420\*470 \* 50  
Шаг: 2.2 км  
Шаг  $\Delta t$ : 20 с  
Прогноз: 24 / 42 час

**COSMO-Ru7**  $\Delta x = 7 \text{ км}$

Область: 4900 км \* 4340 км  
Сетка: 700\*620 \* 40  
Шаг: 7 км  
Шаг  $\Delta t$ : 66 с  
Прогноз: 78 / 48 час

**GME: начальные и граничные условия**

**COSMO-RuSib**  $\Delta x = 14 \text{ км}$

Область: 5000 км \* 3500 км  
Сетка: 360\*250 \* 40  
Шаг: 14 км  
Шаг  $\Delta t$ : 80 с  
Прогноз: 78 / 48 час

**GME**  $\Delta x = 20 \text{ км}$

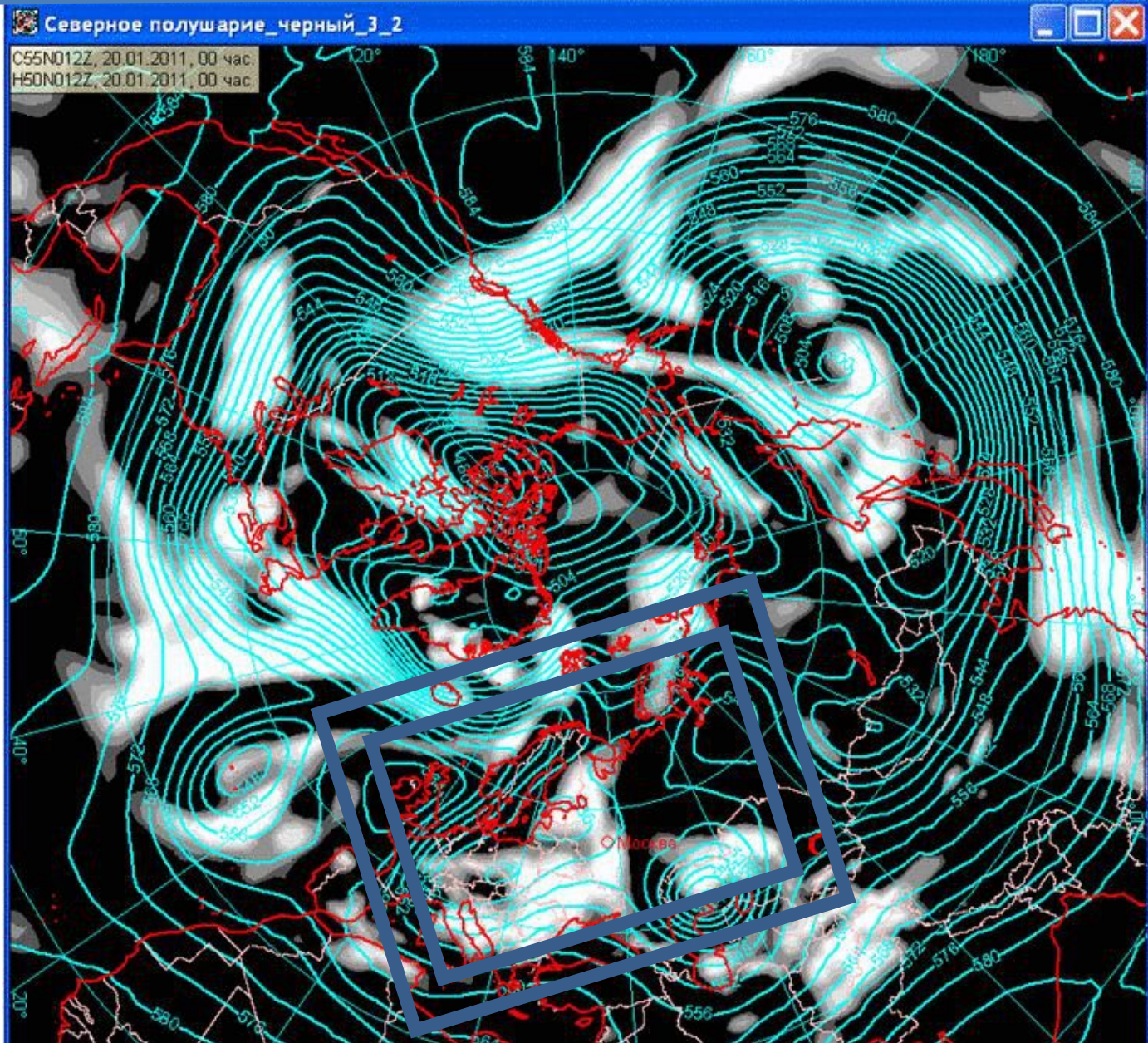
Сетка: 1 474 562 \* 60  
Шаг: 20 км  
 $\Delta t$ : 110 с

**COSMO-Ru6**,  $\Delta t = 60 \text{ с}$

**COSMO-Ru13**,  $\Delta t = 120 \text{ с}$

**Прогностическое  
моделирование  
движения  
атмосферы над  
Северным  
полушарием:  
внешняя модель  
(предоставляет  
начальные  
данные и  
боковые  
условия),  
внутренняя  
модель**

07.11.2013





**13 апреля 2011 г. ЦМКП приняла решение о **ВНЕДРЕНИИ** системы мезомасштабного прогноза погоды **COSMO-RU** в оперативную практику в качестве базовой для использования в ГУ "Гидрометцентр России" и других прогностических учреждениях Росгидромета.**

$$F = ma$$

$$\frac{d_a \mathbf{v}_a}{dt} = \mathbf{F} / m$$

$$\frac{du}{dt} = -\frac{\alpha}{r \cos \varphi} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + F_\lambda + \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \varphi}\right)(v \sin \varphi - w \cos \varphi)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\alpha}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + F_\varphi - \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \varphi}\right)u \sin \varphi - \frac{vw}{r}$$

$$\frac{dw}{dt} = -\alpha \frac{\partial p}{\partial r} - g + F_r + \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \varphi}\right)u \cos \varphi + \frac{v^2}{r}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{v})$$

$$p\alpha = RT$$



$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{R}{C_p}} \quad Q = C_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt} \quad \frac{ds}{dt} = C_p \frac{1}{\theta} \frac{d\theta}{dt} = \frac{Q}{T}$$

$$\frac{\partial \rho q}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{v} q) + \rho(E - C)$$

## МЕТОД РЕШЕНИЯ



### 4.3.4 Outline of an Integration Step

*A Description of the  
Nonhydrostatic Regional Model LM*

Part I :  
Dynamics and Numerics

G. Doms and U. Schättler

LM.F90 2.18

November 2002

As mentioned in the previous subsection, not all terms contributing to the tendency due to slow modes are considered by the forcing function  $f_\psi$ , which is used in the small time step sub-integration of the equations. The remaining terms are integrated subsequent to time splitting using the Marchuk splitting method (Marchuk, 1975)

To illustrate this method, we rewrite the model equations in the symbolic form (4.31) as

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = s_\psi + f_\psi^{TS} + S_\psi^c + M_\psi^{CM} + M_\psi^{LB} + M_\psi^{RD}. \quad (4.89)$$

$s_\psi$  denotes the terms related to the fast modes and  $f_\psi^{TS}$  represents the slow-mode tendencies except for cloud condensation and evaporation ( $S_\psi^c$ ), computational mixing ( $M_\psi^{CM}$ ), lateral boundary relaxation ( $M_\psi^{LB}$ ) and Rayleigh damping at the upper boundary ( $M_\psi^{RD}$ ).

**Marchuk, G. I., 1975: Numerical Methods in Weather Prediction.  
Academic Press, 227 p.**

## УРОВНИ

**N**    **p, mm**    **z, m**

0,5    20    23589

1    30    22300

8,5    203    11879

17,5    499    5569

Пограничный слой

27,5    830    1546

35,5    975    214

39,5    997    20

40    998    10

40,5    1000    0

## АТМОСФЕРА: 40 – уровней

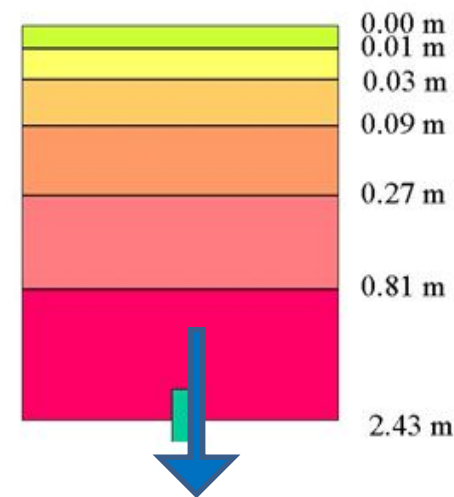
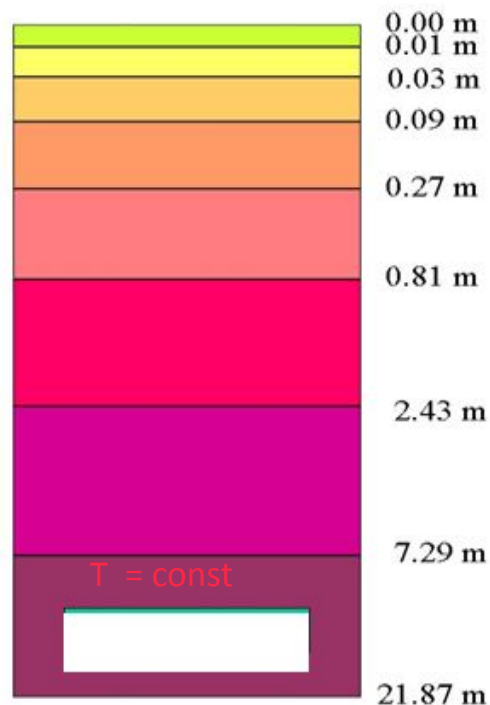
n-1/2    w, z  
n    T, u, v, p<sub>0</sub>  
n+1/2    w, z

## COSMO-Ru7

## ПОЧВА: 7 – уровней

### БАЛАНС ЭНЕРГИИ

### ВОДНЫЙ БАЛАНС





7 N	Z	2.2 N	Z
1	23 589	1	22 000
3	18 834	4	19 085
5	15 978	8	15 587
7	13 763	10	13 998
9	11 879	13	11 807
11	10 211	15	10 470
13	8 711	18	8 643
15	7 355	20	7 539
17	6 132	23	6 050
19	5 035	25	5 162
21	4 060	26	4 750
23	3 201	29	3 630
25	2 456	32	2 680
27	1 823	35	1 891
29	1 295	38	1 254
31	871	41	757
33	542	43	500
35	303	45	299
37	143	47	150
39	49	49	51
41	0	51	0

7 N	Z	2.2 N	Z
21	4 060	38	3 984
22	3 616	29	3 630
23	2 101	34	2 137
24	2 815	32	2 680
25	2 456	35	1 891
26	2 126	36	1 662
27	1 823	37	1450
28	1 546	38	1254
29	1 295	39	1 073
30	1 070	40	908
31	871	41	757
32	695	42	621
33	542	43	500
34	412	44	393
35	303	45	299
36	214	46	218
37	143	47	150
38	89	48	65
39	49	49	51
40	20	50	20
41	0	51	0



**< 1550 м :**  
**12 уровней**  
**13 уровней**

**< 550 м :**  
**8 уровней**  
**8 уровней**

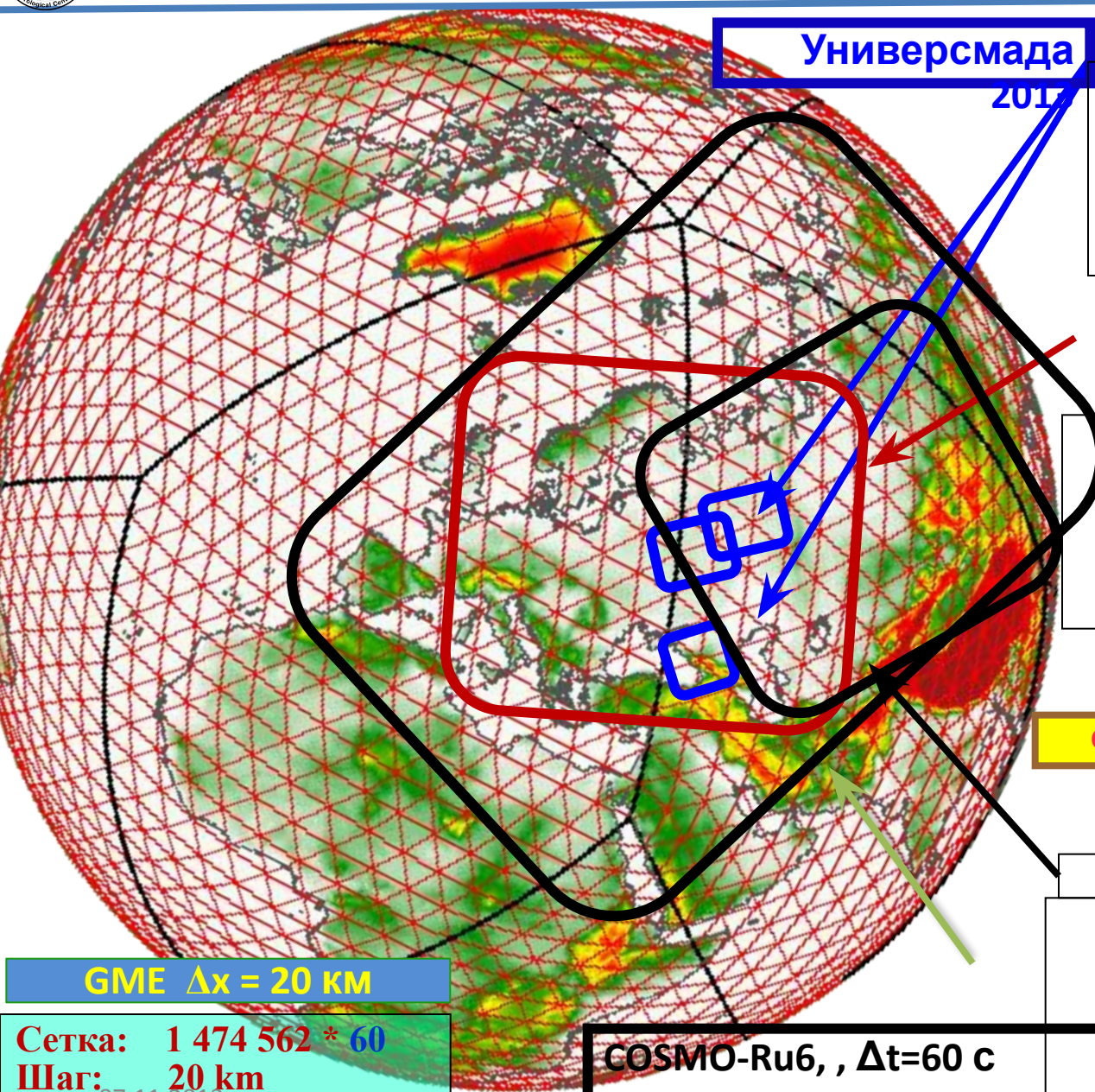
**CCSMO-RU07**  
**&&**  
**CCSMO-RU02**



**Пояснение к следующему слайду:**

**Ниже приведена система негидростатического краткосрочного прогноза погоды COSMO-Ru для 5 территорий : COSMO-Ru7, COSMO-Ru2 для ЦФО, COSMO-Ru2 для Сочи-2014, COSMO-Ru14Sib и COSMO-Ru13 для всей Европы и северной части Азии. Прогнозы проводятся 4 раза в сутки, ежедневно подготавливается и рассылается пользователям примерно 8000 прогностических карт и около 1000 метеограмм.**

**Подготовлена специальная версия COSMO-Ru2 для проведения метеорологического обслуживания Универсиады 2013 г., Казань. Для метеорологического обеспечения Зимней олимпиады Сочи-2014 подготовлен международный проект CORSO, в его рамках проведена работа по консолидации усилий членов консорциума COSMO по разработке и применению ансамблевых прогнозов с шагом сетки 2,2 км, усвоению данных наблюдений эффективной версии совместной модели атмосферы и деятельного слоя подстилающей поверхности с шагом сетки 1,1 км.**



Универсада

2013

**COSMO-Ru2  $\Delta x = 2.2 \text{ км}$**

Область: 900 км \* 1000 км  
Сетка: 420\*470 \* 50  
Шаг: 2.2 км  
Шаг  $\Delta t$ : 20 с  
Прогноз: 24 / 42 час

**COSMO-Ru7  $\Delta x = 7 \text{ км}$**

Область: 4900 км \* 4340 км  
Сетка: 700\*620 \* 40  
Шаг: 7 км  
Шаг  $\Delta t$ : 66 с  
Прогноз: 78 / 48 час

**GME: начальные и граничные условия**

**COSMO-RuSib  $\Delta x = 14 \text{ км}$**

Область: 5000 км \* 3500 км  
Сетка: 360\*250 \* 40  
Шаг: 14 км  
Шаг  $\Delta t$ : 80 с  
Прогноз: 78 / 48 час

**GME  $\Delta x = 20 \text{ км}$**

Сетка: 1 474 562 \* 60  
Шаг: 20 км  
 $\Delta t$ : 110 с

COSMO-Ru6, ,  $\Delta t=60 \text{ с}$

COSMO-Ru13 ,  $\Delta t=120 \text{ с}$

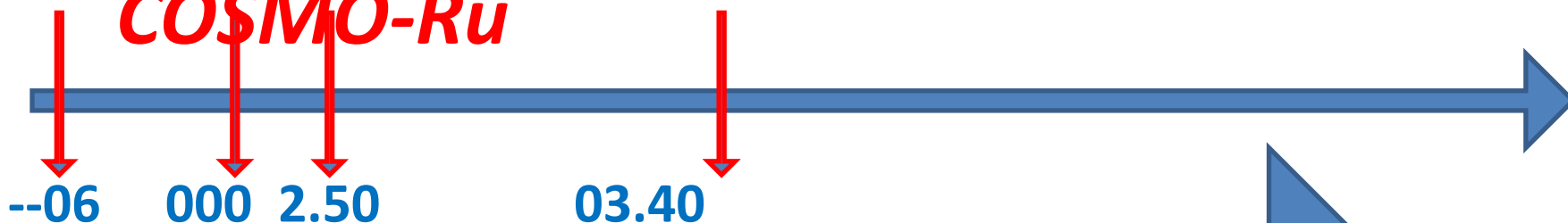
## Высокопроизводительный вычислительный комплекс Росгидромета

	<b>SGI ALTEX 4700</b>	<b>SGI ICE 8200</b>	<b>РСК ТОРНАДО</b>
Тип процессоров	<b>Intel Itanium 2 (2-ядерный)</b>	<b>Intel Xeon (4-ядерный)</b>	<b>Intel® Xeon® E5-2600 (8-ядерный)</b>
Количество узлов / ядер на узел	<b>13 / 128</b>	<b>177 / 8</b>	<b>96 / 1536</b>
Оперативная память на ядро	<b>4 Гбайт</b>	<b>2 Гбайт</b>	<b>4 Гбайт</b>
Пиковая производительность	<b>11 Тфлопс</b>	<b>16 Тфлопс</b>	<b>35 Тфлопс</b>

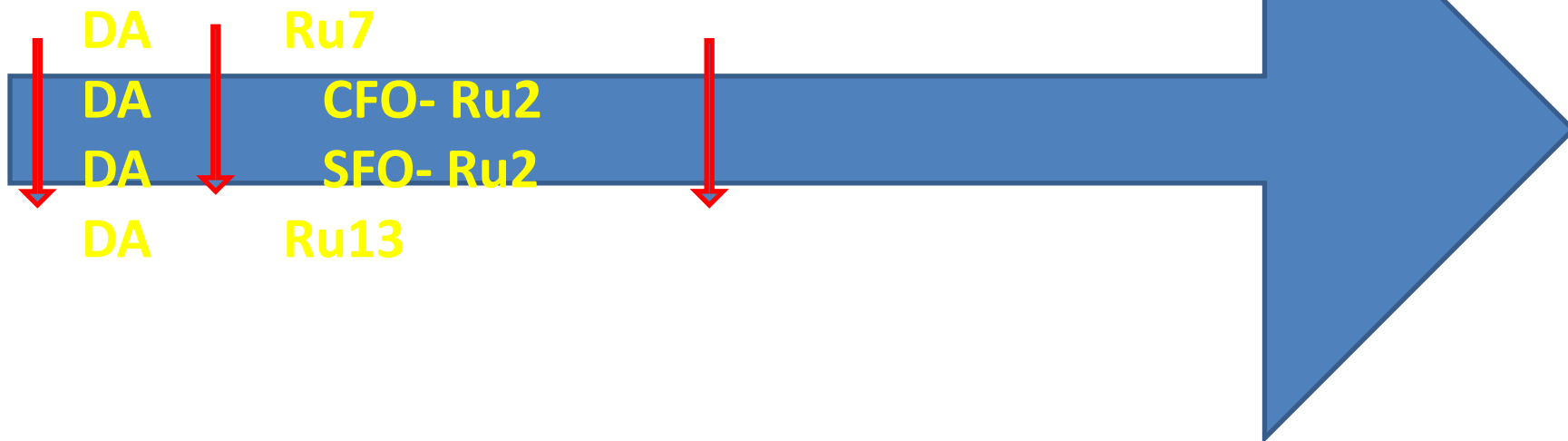
**1 Тфлопс =  $10^{12}$  операций в сек =  
=  $1\,000 \cdot 10^9$  = тысяча миллиардов операций в сек.**

# Технологическая линия

**COSMO-Ru**



Время





**02.45** НАЧАЛО

02.45-02.50 GME ==> COSMO-RU

02.50-03.20 COSMO-RU

03.20-03.30 ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

03.30-03.35 E-MAILS

03.30-03.45 FTP: ФАЙЛЫ,

**03.45** КОНЕЦ

GME (h=20 км):  
НАЧАЛЬНЫЕ и ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ  
(GRIB)

НАЧАЛЬНЫЕ и ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ  
COSMO-RU - GRID

GRIB: COSMO-RU ПРОГНОЗЫ и  
ТЕКСТОВЫЕ МЕТЕОГРАММЫ

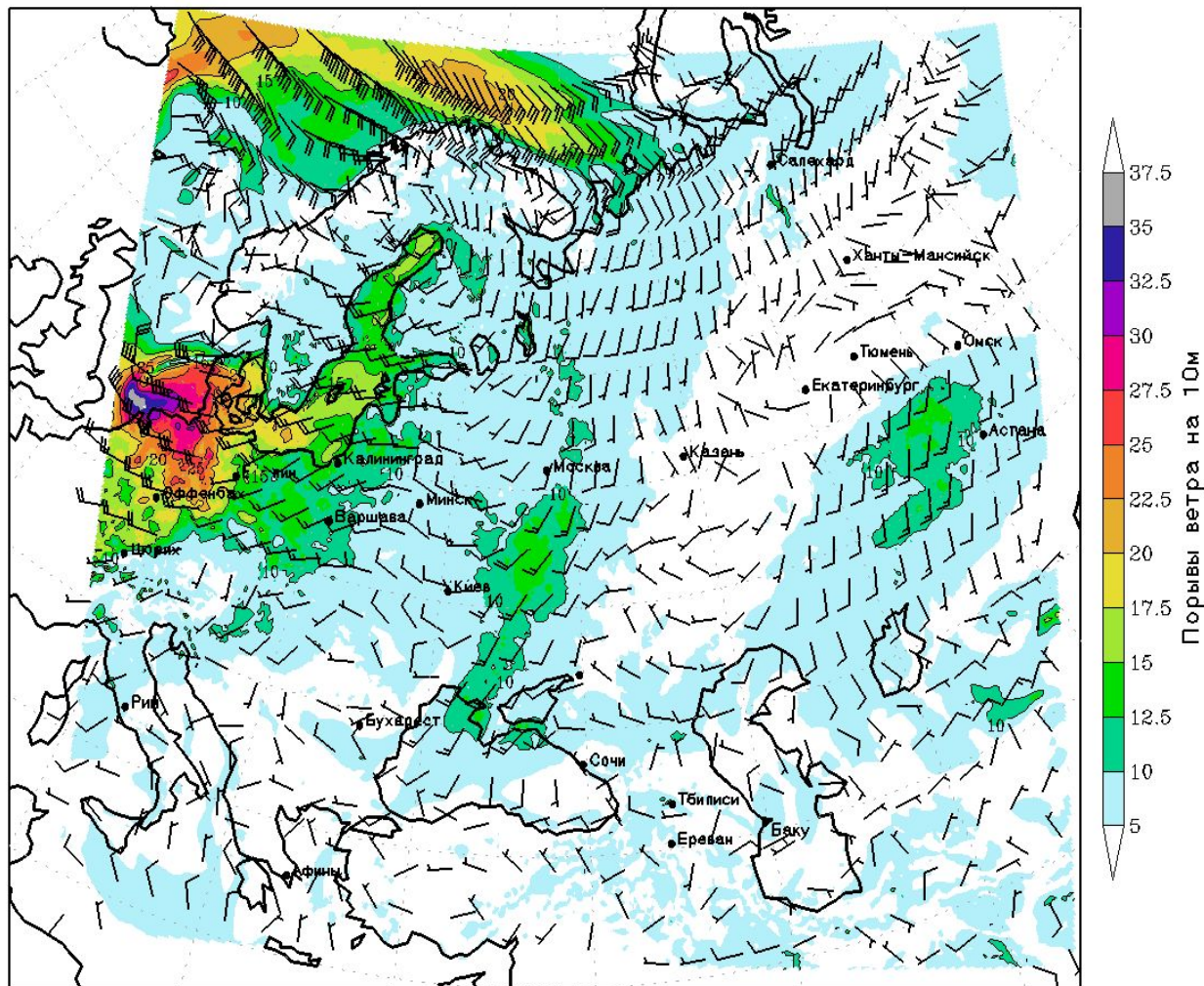
КАРТЫ и МЕТЕОГРАММЫ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ  
ОПЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ**

- В настоящее время ежедневно**  
**(для 00, 06, 12 и 18 часов ВСВ)**  
**через 3 часа 50 мин. после срока наблюдения**  
**система COSMO-RU07/02 км:**
- **за сутки подготавливает около**  
**8000** прогностических карт и  
**1000** метеограмм,
  - **автоматически рассылает их в прогностические**  
**учреждения Росгидромета,**
  - **выкладывает около 70 гб** файлов в коде GRIB на  
**ftp-серверы (за месяц > 2 Тб).**

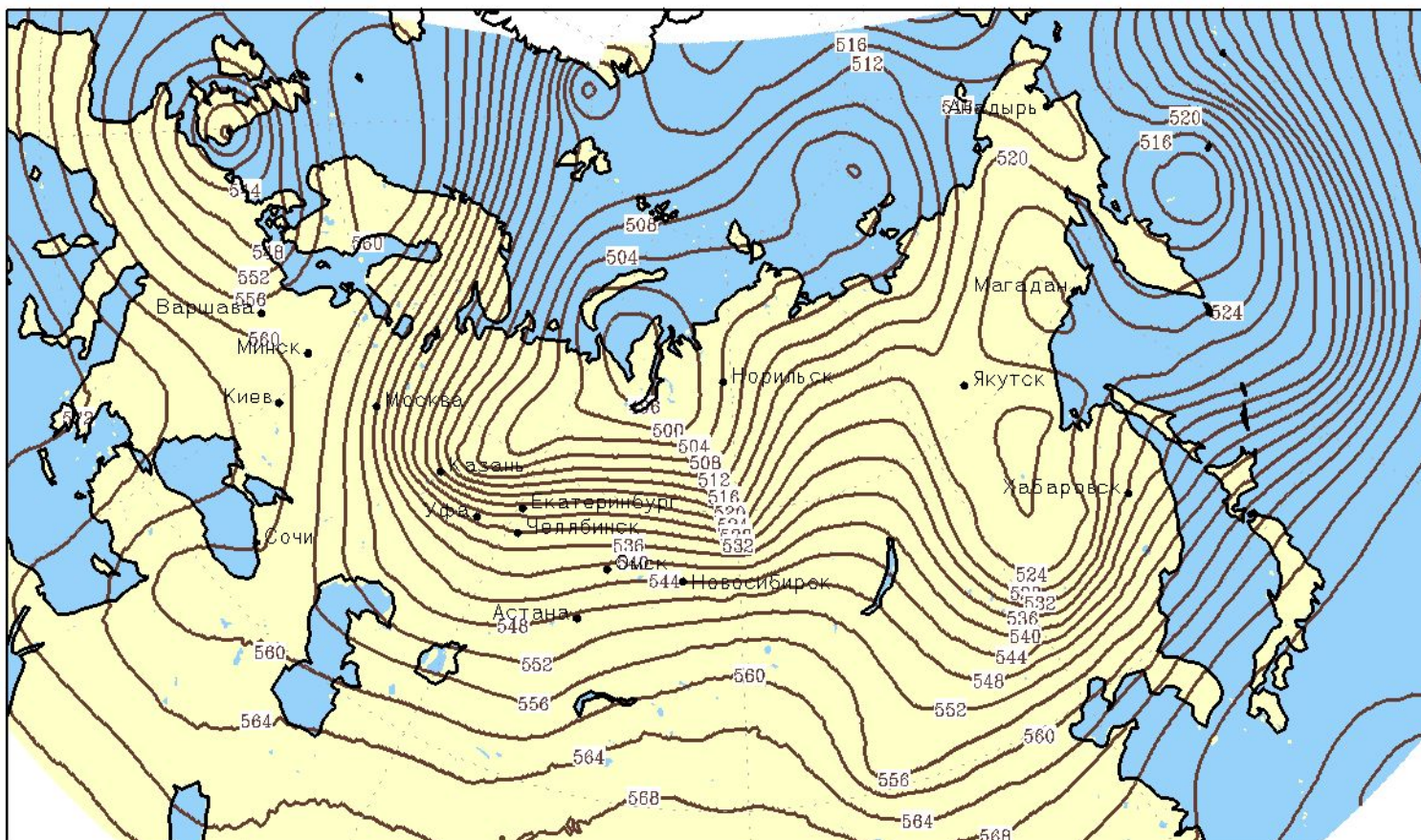
Пример  
прогноза  
порывов ветра с  
помощью  
модели  
COSMO-Ru7 по  
данным за 12  
час.  
28 октября  
2013 г.

16:00 28окт 2013 (МСК): Ветер на 10м





00:00 14 окт 2013 (UTC+0): H500

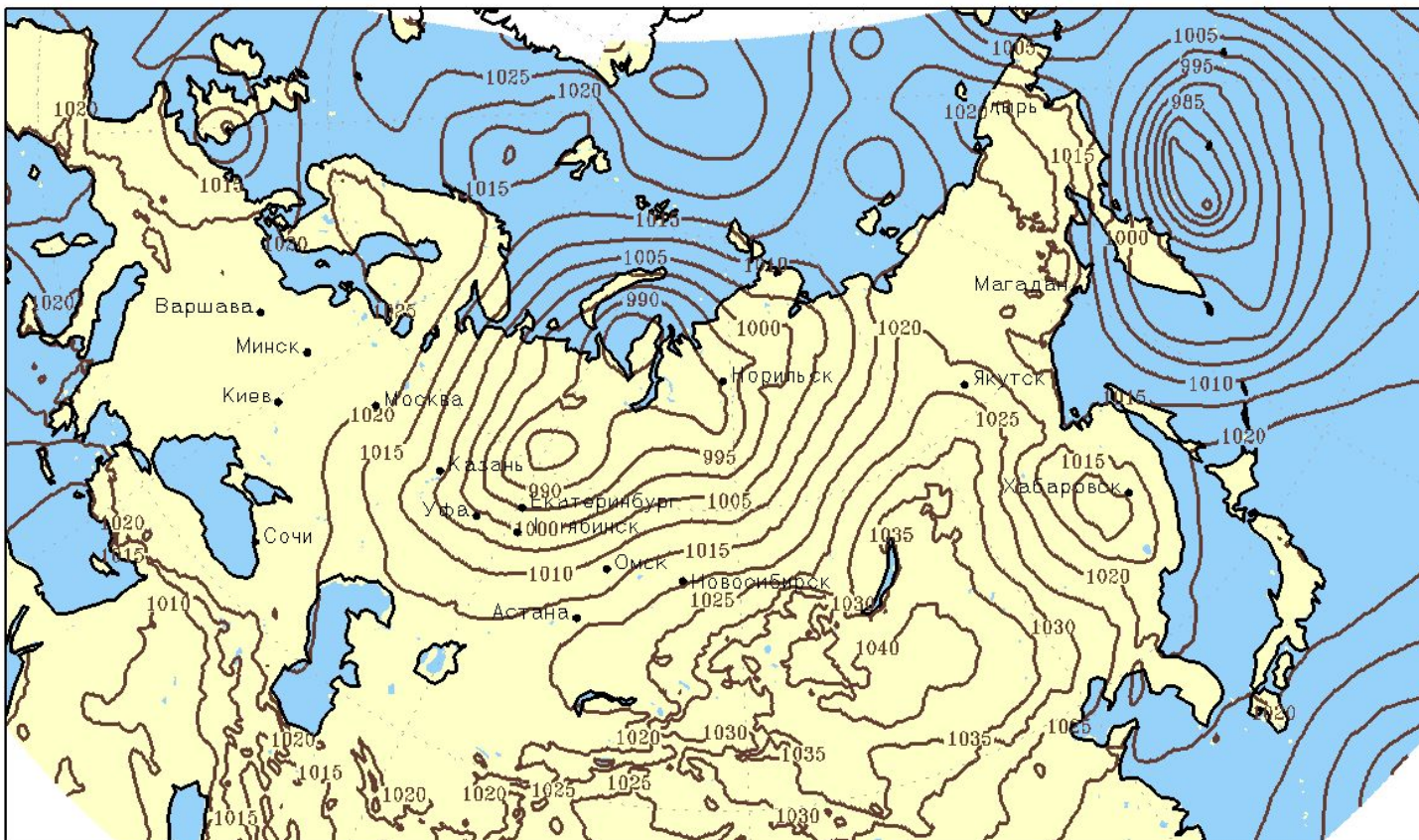


Прогноз на 0ч. от 00:00 14 окт 2013 (UTC+0) — H500

COSMO-RU 13км

07.11.2013

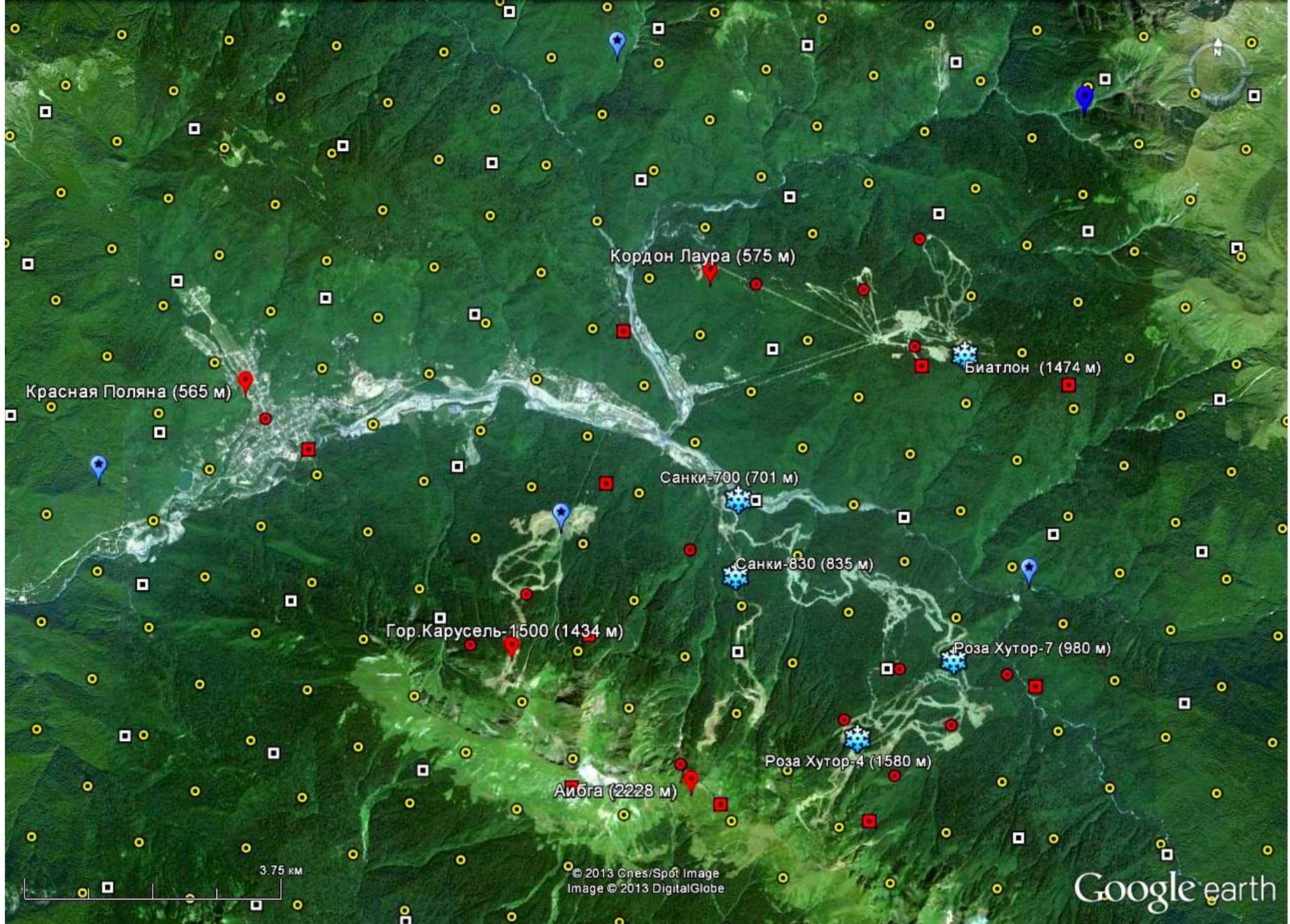
00:00 14 окт 2013 (UTC+0): PMSL



Прогноз на Оч. от 00:00 14 окт 2013 (UTC+0)

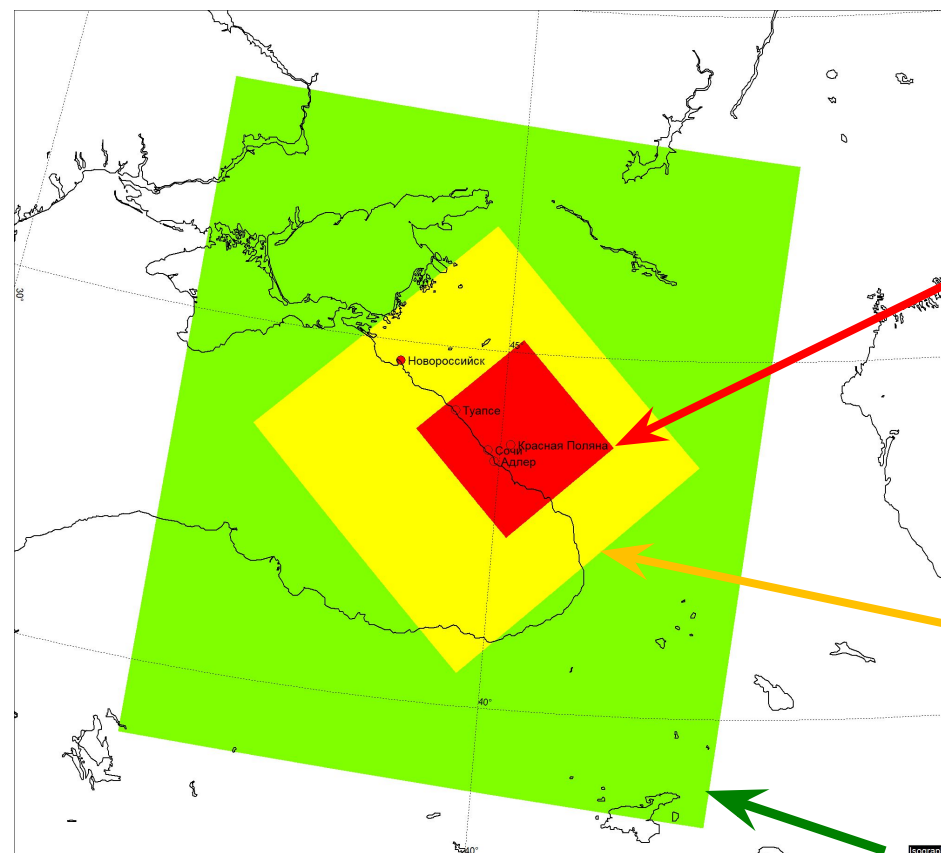
COSMO-RU 13км

— PMSL



07.11.2013  
 ГМС Росгидромета  
 АМС

Узлы модельных сеток  
 COSMO-Ru7  
 COSMO-Ru2  
 COSMO-Ru1



## COSMO-Ru1

**Область:** 220 км x 220 км  
**Сетка:** 200 x 200 x 50  
**Шаг по пространству:** 1.1 км  
**Шаг по времени:** 10 с  
**Заблаговременность прогноза:** до 24 ч  
**Время счета:** 15.5 мин

**Область:** 495 км x 495 км  
**Сетка:** 450 x 450 x 50  
**Шаг по пространству:** 1.1 км  
**Шаг по времени:** 10 с  
**Заблаговременность прогноза:** до 24 ч  
**Время счета:** 54 мин

Расчет выполняется на  
 РСК «Торнадо», на 288  
 ядрах

## Основные параметры

Начальные и граничные условия из

**COSMO-Ru2** Область: 900 км x 1000 км

Сетка: 420 x 470 x 50

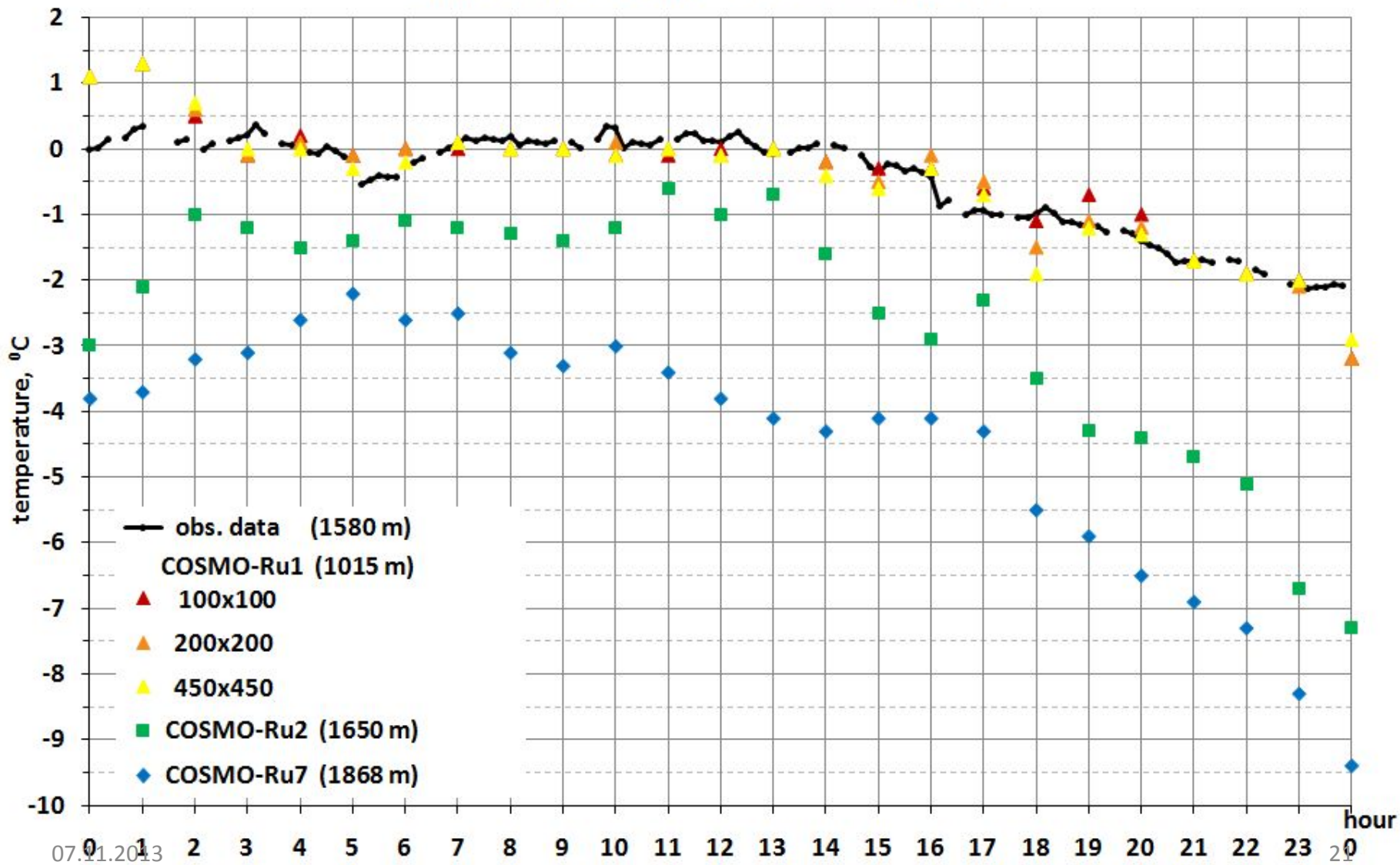
Шаг по пространству: 2.2 км

Шаг по времени: 20 с

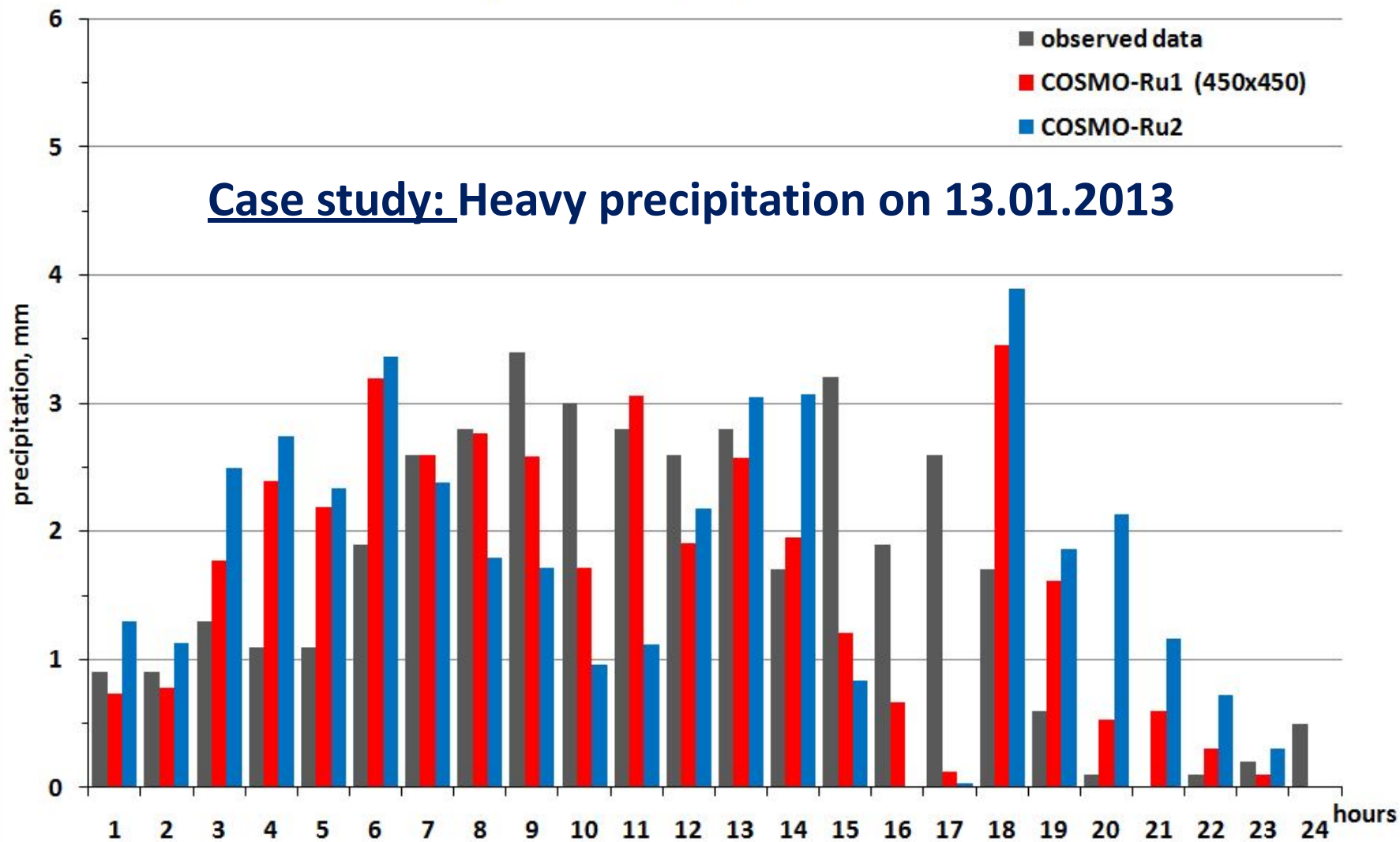
Заблаговременность прогноза: до 48 ч

COSMO-Ru1

## Temperature at 2 m, 13.01.2013. RKHU-4



Precipitation sum (mm). Station: RKHU-4



## Основные результаты

В рамках проектов FROST2014 (проект WWRP) и CORSO (проект консорциума COSMO) разработана и реализована система мезомасштабного ансамблевого прогноза COSMO-RU2-EPS для территории Сочинского региона

Модель COSMO-RU, разрешение 2.2 км, 10 реализаций, граничные и начальные условия предоставляются итальянскими коллегами

Зимой и весной 2013 года (период соревнований в Сочи) система функционировала в квазиоперативном режиме

Прогнозы на 48 часов дважды в сутки по срокам 00 ВСВ  
и 12 ВСВ

Готовность прогнозов ~12:30 and 00:30 ВСВ  
(~12,5 часов после срока наблюдений)

Анализ результатов для отдельных случаев (case studies) показал успешность ансамблевых прогнозов

# COSMO-Ru7-ART

## COSMO

Consortium for  
Small Scale Modelling

## ART

Aerosols and  
Reactive Traces Gases



- **Химические преобразования веществ в газовой фазе**

Модель атмосферной химии RADMKA (модифицированная RADM2 (Stockwell, 1990, 1997 и др.) - 172 реакции, более 60 веществ.

- **Фотолиз**

Модель фотолиза PAPA (Bangert, 2007); Стандартные вертикальные профили константы фотолиза – модель STAR (Ruggaber, 1994);

- **Аэрозоли**

Модель MADEsoot (Riemer et al., 2003; Vogel, 2006, 2009, 2011 и др.)

Коагуляция, конденсация, нуклеация, осаждение, выведение, вымывание, химия