



*Федеральная служба по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды*



ПРОГНОЗ ПОГОДЫ

**как задача физики, химии, математики, географии и биологии
(на примере моделей атмосферы и деятельного слоя
подстилающей поверхности
COSMO, COSMO-ART, ICON, ICON-ART и ICON-LAM)**

РИВИН Г.С.

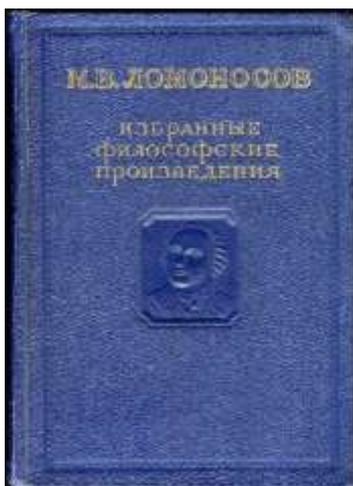
**Зав. лабораторией численного прогноза погоды, Гидрометцентр России
Профессор кафедры метеорологии и климатологии МГУ им.М.В.Ломоносова**

Школа CITES 2017

28 августа 2017 г., 17.55-18.45 , Таруса

<http://www.scert.ru/ru/conference/cites2017/>

Часть 1. ВВЕДЕНИЕ



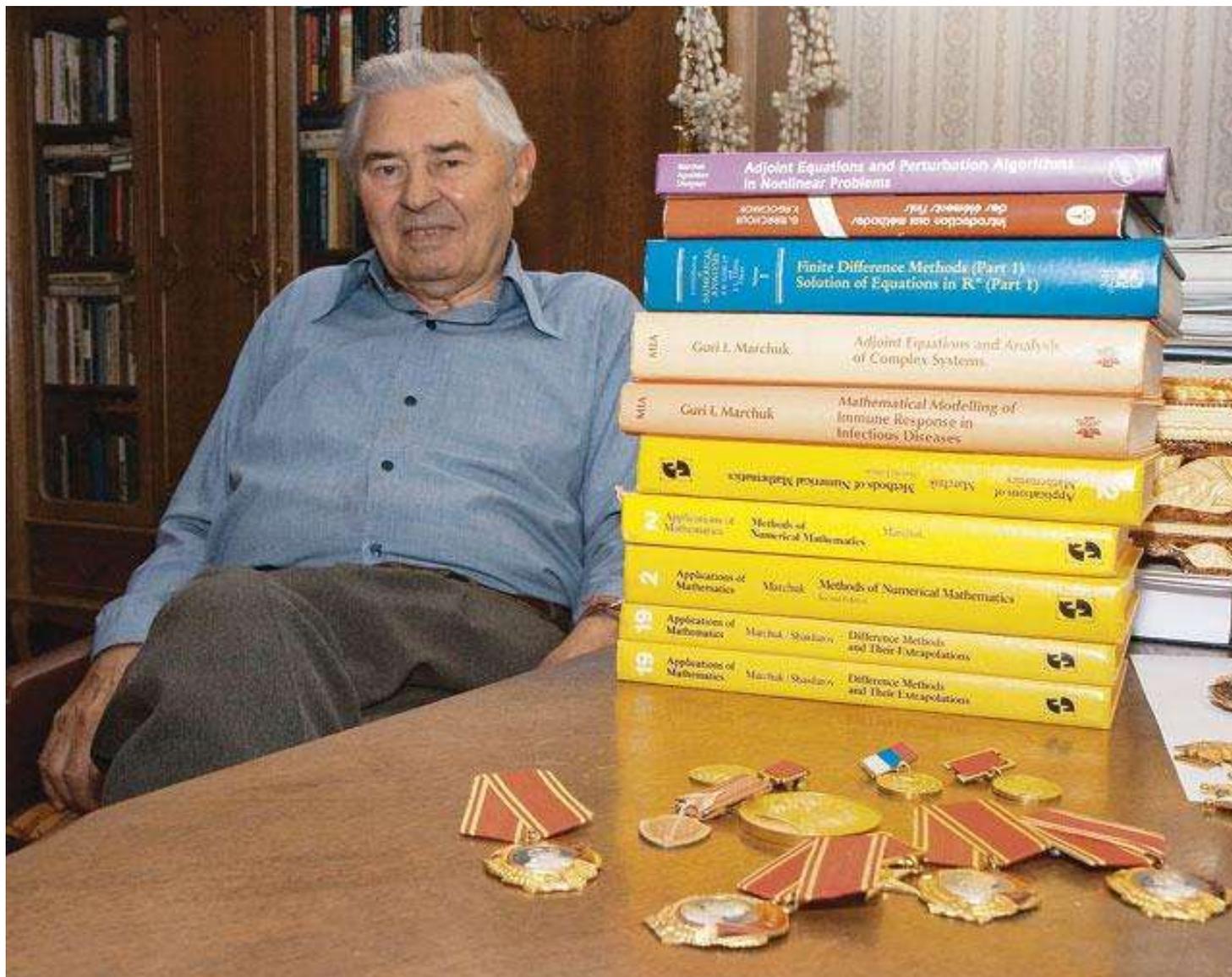
Что больше от всевышнего божества
смертному дано и позволено быть может, как
чтобы он перемены погод мог предвидеть?
Что подлинно претрудно и едва постижимо
быть кажется. (1753 г.)

М. В. Ломоносов.

**Слово о явлениях воздушных,
от электрической силы происходящих**

// Избранные философские произведения

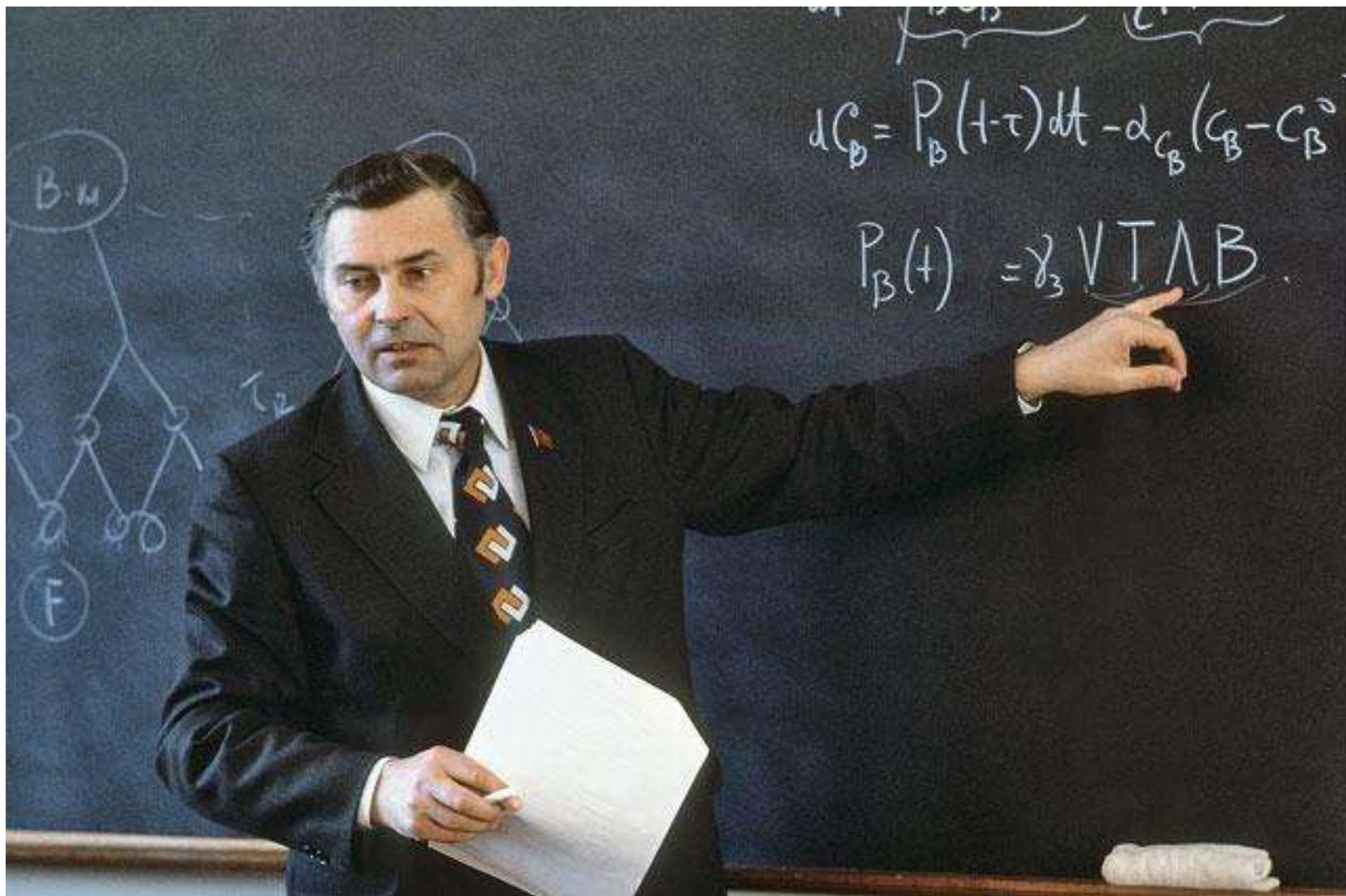
М.: Госполитиздат, 1950.— С.216-233.



Академик Г.И. Марчук, книги и награды, 1913 г.



**Директор ВЦ СО АН СССР
член-корреспондент АН СССР Г.И.Марчук (1964г.) в машинном зале**



**Академик АН СССР Г.И.Марчук
на лекции по вычислительной математике**

Выдержки из интервью А.Робера, данном в 1987 г.,
опубликованном в 2011 г. в специальном выпуске журнала
“ATMOSPHERE-OCEAN”

в честь этого выдающегося канадского специалиста
в области численного прогноза погоды .



Atmosphere-Ocean

Publication details, including instructions for authors
and subscription information:

<http://www.tandfonline.com/loi/tato20>

A Historical Perspective on Numerical Weather Prediction: A 1987 Interview with André Robert

Harold Ritchie¹ & André Robert²

² Recherche en prévision numérique Service de
l'environnement atmosphérique , Dorval, Québec,
Canada , H9P 1J3

Published online: 26 Jul 2011.

Пример 1.

To cite this article: Harold Ritchie & André Robert (1997) A Historical Perspective on Numerical Weather Prediction: A 1987 Interview with André Robert, Atmosphere-Ocean, 35:sup1, 1-24, DOI: [10.1080/07055900.1997.9687340](https://doi.org/10.1080/07055900.1997.9687340)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/07055900.1997.9687340>

A Historical Perspective on Numerical Weather Prediction: A 1987 Interview with André Robert

Harold Ritchie and André Robert*
Recherche en prévision numérique
Service de l'environnement atmosphérique
Dorval, Québec, Canada H9P 1J3

[Original manuscript received 22 February 1995; in revised form 28 August 1995]

ABSTRACT *In view of André Robert's outstanding scientific contributions, he was selected for a personal interview as part of the Oral History Project of the Canadian Meteorological Service. The interview covered a variety of topics including André's education, early career, the beginnings of numerical weather prediction (NWP) in Canada, the evolution of NWP models at the Canadian Meteorological Centre, André's general research methodology and his views on the impact and future of NWP. These phases are illustrated by many personal glimpses and anecdotes such as puzzles that his relatives challenged him with in his youth, his explanation of why "a lot of time in my life was spent trying to avoid reading literature", and his expectation that "one day we are going to see forecasts of such a high quality that these will be even more accurate than the observations". In addition to capturing André's characteristically clear and unconventional insights, the contents also provide a very informative complement to the more technical details of his contributions by setting the historical perspective in which they occurred. The interview was conducted in November 1987, when André was on the point of retiring from the Atmospheric Environment Service and becoming a professor in the Physics Department at l'Université du Québec à Montréal. Some minor editing and updating have been done, but changes have been minimized to avoid interfering with André's typically expressive style.*

QUESTION: Whose work would you say has had the greatest influence on your own, either in a personal way, or through publications?

ВОПРОС: Вы можете сказать, что чья работа имела на Вас наибольшее влияние - при личном общении или через публикации?

ОТВЕТ: Я бы сказал – Марчук.

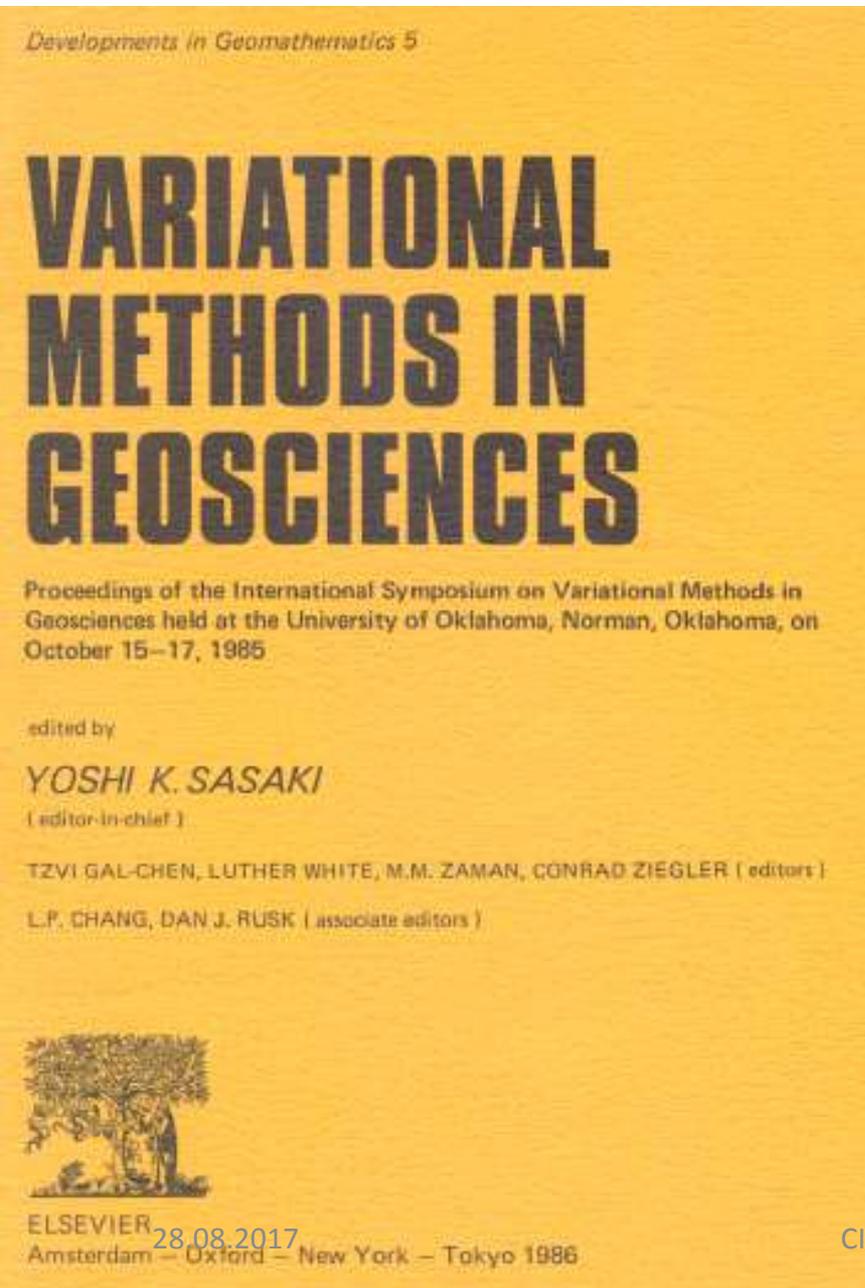
22 / Harold Ritchie and André Robert

ANSWER: I would say Marchuk. I was very impressed when I read a paper by Marchuk (Marchuk,1965), where he tried to integrate the primitive equations by what one would call a fully-implicit scheme. He admitted right away that his fully-implicit scheme was very time consuming. As a matter of fact, when he was making his comparisons against an explicit scheme and running his fully-implicit scheme with a time step four times larger, in spite of the fact that the time step was four times larger, his integration took much more time than the explicit integration. So it was a very, very expensive technique. But Marchuk wanted to demonstrate that implicit schemes are feasible, that there is nothing wrong with increasing the time step, that it can be done and it can be done with no loss of accuracy. That is what he was really trying to demonstrate. He recognized that his technique was less efficient, but that's not what he worried about at the time. So when I read that paper, I said, "Okay, yes, it can be done, now all we need to do is find an efficient way of doing it." And that's when I decided to start to concentrate on finding ways of making implicit schemes efficient. And that's how the idea of using semi-implicit schemes came about. So really, that has been the big influence in my life. It came almost suddenly, because on one of my visits to NMC in Washington, one day Marchuk came and he gave a presentation at NMC about splitting techniques and about implicit treatment of terms and equations and it's immediately after that, that I tried to get whatever papers had been published by Marchuk and tried to look into his way. But that is probably the most significant influence during my career. It came from him.

Я вышел из Марчука.

Пример 2.

Выдержки из обзорной статьи I.M.Navon'a, опубликованной в 1986 г. в сборнике докладов Международной конференции «Вариационные методы в науках о Земле», главным редактором которого являлся Йоши Сасаки - основатель применения вариационных методов в метеорологии.



A Review of Variational and Optimization Methods in Meteorology

by

I.M. Navon

Supercomputer Computations Research Institute

The Florida State University

Tallahassee, Florida 32306-4052

ABSTRACT

A condensed overview of variational and optimization methods in Meteorology is presented. It is aimed at giving the reader a short concise perspective of the developments in the discipline in the last thirty years and to present briefly recent developments in the application of optimization and optimal control theory in Meteorology.

Optimal control methods (the adjoint method)

The adjoint method is an application of optimal control theory where a functional is minimized by finding its gradient with respect to one of the analysis states (e.g. the initial state) and then using unconstrained minimization methods such as the conjugate gradient to iterate towards the optimal state.

Finding the gradient involves use of adjoint equations. The method was pioneered by Marchuk (1974, 1982) and described by Kontarev (1980). Hall and Cacuci (1984) used the method to study sensitivity of numerical models with respect to physical parameters. Recent advances on this topic were done by Talagrand (1985), Le-Dimet and Talagrand (1985), Courtier (1985), Lewis and Derber (1985) and Derber (1985). Lewis and Derber (1985) used the adjoint

32

method to solve a variational adjustment problem with advective constraints while Derber (1985) used the adjoint method for a variational 4-D data assimilation using quasi-geostrophic models as constraints. Courtier (1985) applied it to a shallow water equations model. Le-Dimet and Talagrand (1985) used the method for data assimilation with a 1-D shallow water equations model.

REFERENCES

Пример 3.

Влияние Г.И.Марчука и его школы ощущается и на работах, связанных с развитием системы COSMO-Ru.

Так, приятно отметить, что метод решения конечно-разностной схемы системы уравнений **модели COSMO** также основан на связанном с расщеплением по времени варианте **метода расщепления Марчука**.

<http://cosmo-model.org/content/model/documentation/core/cosmoDyncsNumcs.pdf>

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

28.08.2017

Consortium for Small-Scale Modelling



*A Description of the
Nonhydrostatic Regional COSMO-Model*

Part I:
Dynamics and Numerics

G. Doms and M. Baldauf

COSMO-Model 5.1

May 2015



www.cosmo-model.org



Printed at Deutscher Wetterdienst, P.O. Box 100465, 63004 Offenbach, Germany

4.3.4 Outline of an Integration Step

As mentioned in the previous subsection, not all terms contributing to the tendency due to slow modes are considered by the forcing function f_ψ , 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_ψ denotes the terms related to the fast modes and f_ψ^{TS} represents the slow-mode tendencies except for cloud condensation and evaporation (S_ψ^c), computational mixing (M_ψ^{CM}), lateral boundary relaxation (M_ψ^{LB}) and Rayleigh damping at the upper boundary (M_ψ^{RD}).

The idea of the Marchuk method is to split a complex system of equations into a number of simpler subsystems representing different processes. These are then solved consecutively one at a time, where different numerical schemes may be applied for each subsystem. Starting with given initial values of the variables, the integration of the first subsystem yields updated variables which are then used as initial conditions to integrate the second subsystem (thus, the Marchuk splitting is much different from the mode splitting scheme described above). This procedure is continued until the last subsystem is integrated yielding the final values of the variables at time level $n + 1$.

Applying the Marchuk method to the model equations (4.89) results in the following organization of time stepping.

(1) *Calculation of the Tendencies due to Slow Modes*

Given the values of the variable at time level $n - 1$ and n , the slow-mode forcing f_ψ^{TS} has to be set up first. The calculation of this term has been described in Section 4.3.3.



Tracer transport in ICON General design and performance



Eruption of Eyjafjallajökull (NASA-MODIS)

Daniel Reinert

Deutscher Wetterdienst

3rd ICON Training Course

February/March 2017, Langen, Germany



Solution of 3D continuity equation is split into two (simpler) parts:

- Part I: solve equation in vertical direction (1D)
- Part II: solve equation in horizontal direction (2D)

continuity equation
(schematic)

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = \mathcal{H}(\Psi) + \mathcal{V}(\Psi)$$

$\Psi : \rho q$

$\mathcal{H} : \text{horizontal operator}$

$\mathcal{V} : \text{vertical operator}$

$$\begin{array}{ccc} & \text{I} & \text{II} \\ & \swarrow & \searrow \\ \frac{\partial \Psi^I}{\partial t} = \mathcal{V}(\Psi^I) & & \frac{\partial \Psi^{II}}{\partial t} = \mathcal{H}(\Psi^{II}) \end{array}$$

⇒ **splitting error (price to pay)**

Different numerical schemes are used in the horizontal and vertical





Directional splitting II



Two options are available in ICON

Istrang=.FALSE.

Namelist
transport_nml

Istrang=.TRUE.

Marchuk splitting $\mathcal{O}(\Delta t)$

Odd time steps

$$\Psi^* = \Psi^n + \Delta t \mathcal{V}(\Psi^n)$$

$$\Psi^{n+1} = \Psi^* + \Delta t \mathcal{H}(\Psi^*)$$

Even time steps

$$\Psi^* = \Psi^n + \Delta t \mathcal{H}(\Psi^n)$$

$$\Psi^{n+1} = \Psi^* + \Delta t \mathcal{V}(\Psi^*)$$

Default

Strang splitting $\mathcal{O}(\Delta t^2)$

$$\Psi^* = \Psi^n + \frac{1}{2} \Delta t \mathcal{V}(\Psi^n)$$

$$\Psi^{**} = \Psi^* + \Delta t \mathcal{H}(\Psi^*)$$

$$\Psi^{n+1} = \Psi^{**} + \frac{1}{2} \Delta t \mathcal{V}(\Psi^{**})$$

**Formally more accurate
but more expensive**



		АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ (глобальные, региональные)	МАСШТАБ, км	ШАГ СЕТКИ для разрешения процесса моделью и ВРЕМЯ ЖИЗНИ процесса
МАКРО		планетарные волны	> 10000	1000 км / 1 месяц
		антициклоны, циклоны,	10 000 – 2000	200 км / 1 мес.- 1 нед.
МЕЗО	α	фронты, мезоциклоны (полярные и тропические)	2 000 – 200	20 км / 1 нед. – 1 сут.
	β	горные ветры и волны, кластеры кучево-дождевых облаков, морской бриз, <u>полярные циклоны</u> , низкоуровневые струйные течения	200 – 20	2 км / 1 сут. – 1 час
	γ	городская циркуляция, гравитационные волны, кучево-дождевые облака, турбулентность ясного неба	20 – 2	200 м / 1 час
МИКРО		кучевые облака, торнадо	2 – 0,2	20 м / 1 – 0,5 час
		термики, смерчи	0,2 – 0,002	0,2 м / 30 – 1 мин
		турбулентность	< 0,002	1мин. – 1 с.

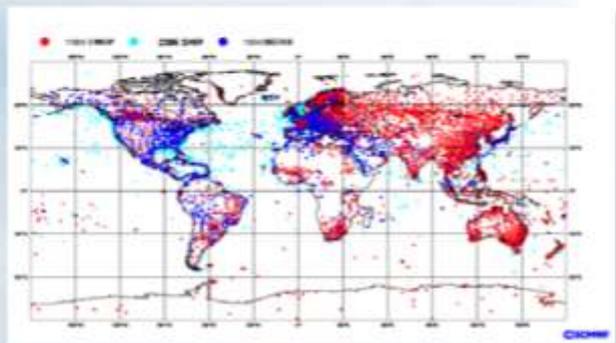
КОМПОНЕНТЫ ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

1. Люди.
2. Наблюдательная система
3. Телекоммуникационная система
4. Вычислительная система
5. Система усвоения данных
6. Препроцессинг
7. Модель окружающей среды
8. Постпроцессинг

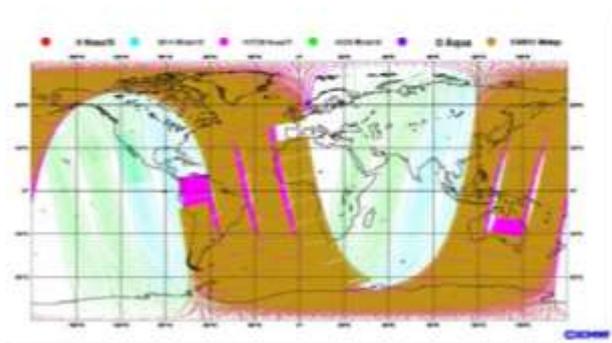
Major assimilated datasets

Receive **300 million** observations from **130 sources** daily.

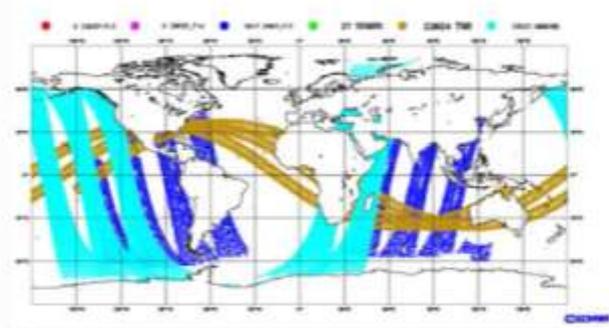
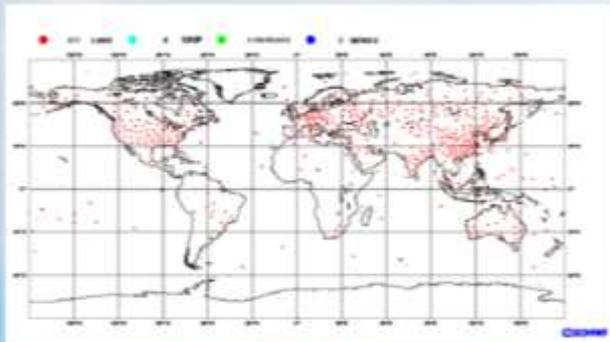
Surface stations



Polar, infrared

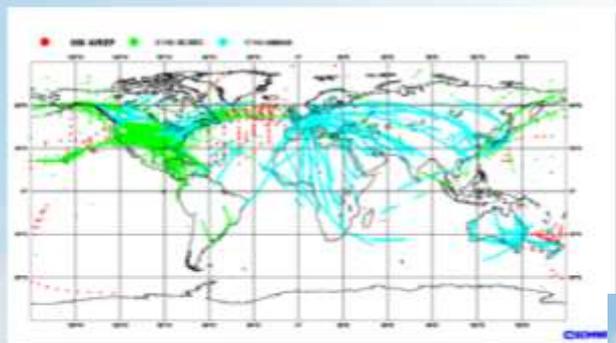


Radiosonde balloons

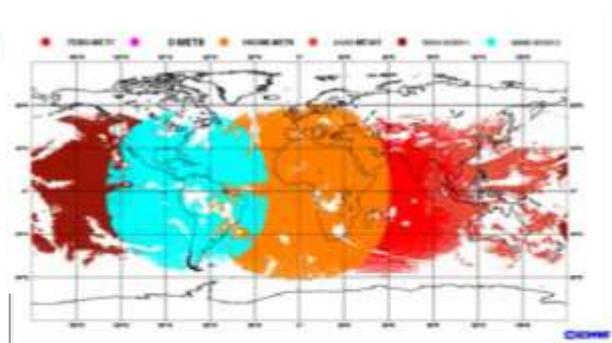


Polar, microwave

Aircraft



Geostationary, IR



ECMWF's Future challenges in Handling and Manipulating Model and Observational Data
 Questions in "Big Data"
 Tiago Quintino
 B. Raouf, M. Fuentes, S. Siemen
 ECMWF

ECMWF's **M**eteorological **A**rchival and **R**etrieval **S**ystem

- **Fully distributed** (migrated 2012)
 - 15 servers for metadata and data movers
 - **40 PB** primary archive
 - **1 PB** of disk cache (2.5%)
 - **110 billion** fields in 8.5 million files
 - **200 million** objects/**65 TB** added daily
 - 7000 registered users
 - 650 daily active users
 - **100 TB** retrieved per day, in 1.5 million requests

Users and # Requests **not** directly under our control...

➔ **Scale with # Users / Requests !**

ECMWF's Future challenges in Handling and Manipulating Model and Observational Data

Questions in "Big Data"

Tiago Quintino
Data Handling

B. Raoult, M. Fuentes, S. Siemen
ECMWF

Slide 1

© ECMWF



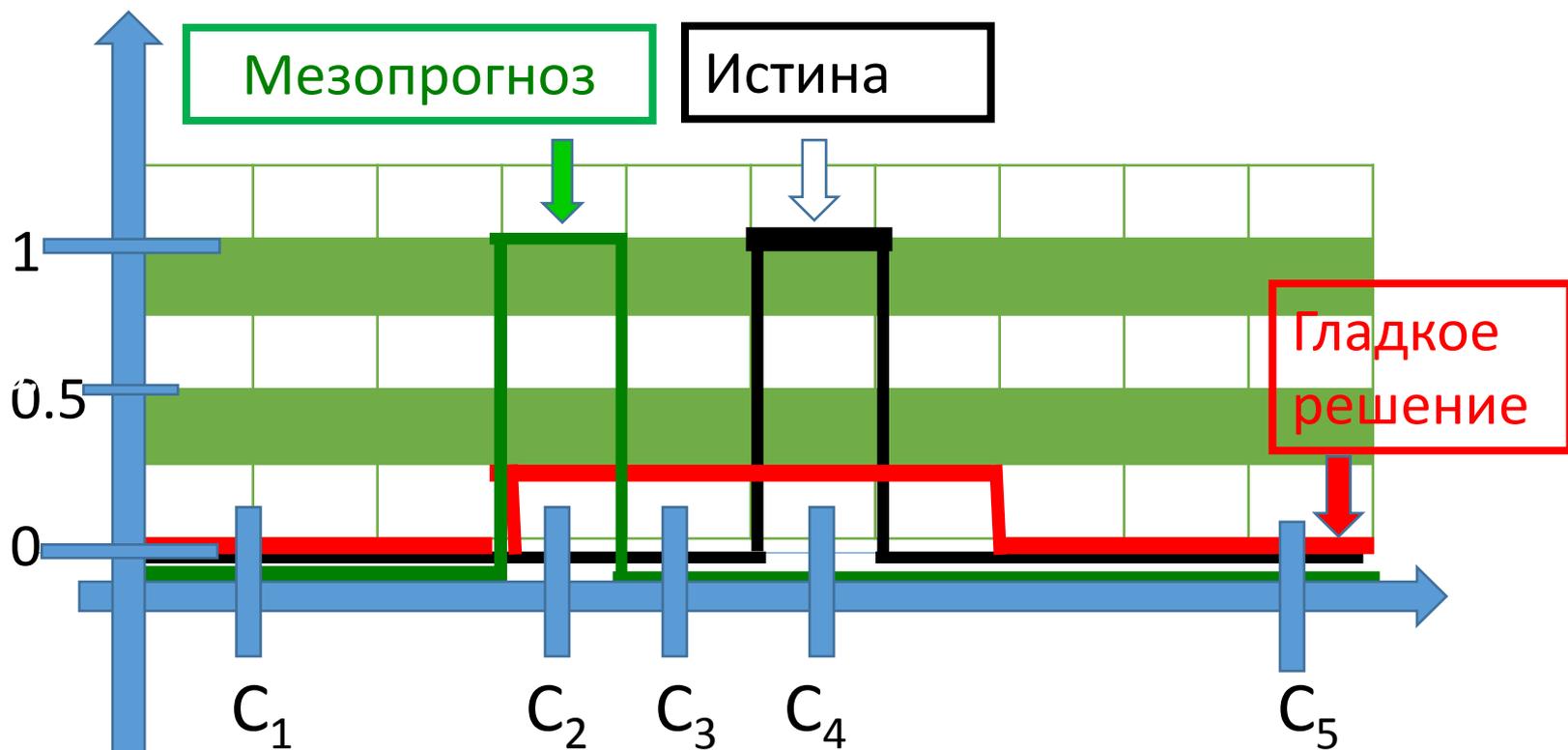
Вычислительный комплекс Росгидромета

	SGI ALTEX 4700	SGI ICE - X	РСК ТОРНАДО
Тип процессоров	Intel Itanium 2 (2-ядерный)	Intel Xeon (10-ядерный)	Intel® Xeon® E5-2600 (8-ядерный)
Количество узлов / ядер на узел (всего)	13 / 128 (1664)	72 / 10 (720)	96 / 16 (1536)
Оперативная память на ядро	2 Гбайт	3.2 Гбайт	4 Гбайт
Пиковая производительность	11 Тфлопс	14 Тфлопс	35 Тфлопс

**1 Тфлопс = 10^{12} операций в сек =
= 1 000 000 × 1 000 000 = миллион миллионов операций в сек.**

2017 декабрь: Cray XL40, 1.2 Пфлопс

ДЕМОНСТРАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТА ФОРМАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ОСАДКОВ ДЛЯ МЕЗОПРОГНОЗА



Макс. ошибка “мезопрогноза” равна 1
 Макс. ошибка “гладкого решения” равна 0.75.

Среднеkv. ошибка “мезопрогноза” $\sqrt{(1+1)/5} = \sqrt{0.4} \approx 0.64$

Среднеkv. ошибка “гладкого прогноза”

$$\sqrt{(0.25^2 + 0.25^2 + 0.75^2)/5} = \sqrt{0.1375} = 0.37$$

Макс. ошибка “мезопрогноза” равна 1

Макс. ошибка “гладкого решения” равна 0.75.

Среднеквадратическая . ошибка “мезопрогноза”

$$\sqrt{(1+1)/5} = \sqrt{0.4} \approx 0.64$$

Среднеквадратическая ошибка “гладкого прогноза”

$$\sqrt{(0.25^2 + 0.25^2 + 0.75^2)/5} = \sqrt{0.1375} = 0.37$$

Итак, среднеквадратическая . ошибка “мезопрогноза” в

$$0.64 / 0.37 \approx 1.73$$

БОЛЬШЕ среднеквадратической ошибки “гладкого прогноза”!

ТЕРМИНОЛОГИЯ

- 1. глобальные и региональные модели**
- 2. усвоение данных наблюдений,**
- 3. погода и климат,**
- 4. заблаговременность прогноза,**
- 5. масштабы процессов,**
- 6. шаг сетки и разрешение модели**
- 7. негидростатичность,**
- 8. ансамбли прогнозов,**
- 9. система численного прогноза погоды**

**ГЛОБАЛЬНЫЕ
МОДЕЛИ
ПО СОСТОЯНИЮ
НА 1.01.2017**

**Цветом
выделена
информация
По состоянию
на 1.01.2016 на**

Forecast Centre (Country)	2017	2018	2019
ECMWF (Europe)	TCo1279 L137 (~9km)	Coupled O-A 0.25 TCo1279 L137 (~9km)	Coupled O-A 0.25 TCo1279 L137 (~9km)
Met Office (UK)	12km L70 7 days	12km L70 7 days	Coupled O-A 10/12km L120-200 7days
Météo France (France)	TL1198c2.2 L105 (8km on W Europe)	~TL1618c2.4 L105 (5km on W Europe)	~TL1618c2.4 L105 (5km on W Europe)
DWD (Germany)	13 km L90 (6.5 km for Europe)	13 km L90 (6.5 km for Europe)	
HMC (Russia)	(0.16-0.24)°x0.225° L51 T339 L31	(0.16-0.24)°x0.225° L60 T339 L63	0.1°x0.08° L90 T679L63
NCEP (USA)	T2046 L64 (10km)	T2046 L128 (10km)	TBD
Navy/FNMOC/NRL (USA)	T425L60	T681L80	T1000L100 (~12 km)
(Canada)	Yin-Yang (0.14°x0.14°) L120	Yin-Yang (0.09°x0.09°) L120	Yin-Yang (0.09°x0.09°) L160
CPTEC/INPE (Brazil)	T666L64 (~20km)	9km L64	9km L96
JMA (Japan)	TL959 L100	TL959 L100	
CMA (China)	GRAPES(0.25,L60)	GRAPES(0.25,L60)	GRAPES(0.15,L90)
KMA (Korea)	17kmL70	12kmL70	12km L120
NCMRWF (India)	17km L70	10kmL70	10kmL70
BoM (Australia)	12 km L70	12 km L70	12 km L120

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ
МОДЕЛИ
ПО СОСТОЯНИЮ
НА 1.01.2017**

**Цветом
выделена
информация
По состоянию
на 1.01.2016**

Forecast Centre (Country)	2017	2018	2019	2020
ECMWF (Europe)				
Met Office (UK)	950x1015; 1.5km vrb L70	950x1015; 1.5km vrb L120	950x1015; 1.5km vrb L120	950x1015; 1.5km vrb L120
Météo France (France)	1536x1440; 1.3 km; L90	1536x1440; 1.3 km; L90	1536x1440; 1.3 km; L90	
DWD (Germany)	zooming 6.5 km; L60 651x716; 2.2 km; L65	zooming 6.5 km; L60 651x716; 2.2 km; L65		
HMC (Russia)	1000x500, 13.2km, L40 700x620, 7km, L40 3 dom.: 420x470, 2.2km, L50 190x190, 1.1km, L50	1000x500, 13.2km, L40 700x620, 7km, L40 3 dom.: 420x470, 2.2km, L50 190x190, 1.1km, L50	2000x1000, 6.5km, L60 2 dom. 2000x1000, 2.2km, L80 2 dom.: 800x400, 2.2km, L80 2 dom.: 1000x500, 1.1km, L80	
NCEP (USA)	935x835; 12 km; L60 1827x1467; 3 km; L60 1189x1249; 3 km; L60 373x561; 3 km; L60 401x325; 3 km; L60 501x501; 1 km; L60 935x835; 12 km; L60 1827x1467; 3 km; L60	935x835; 12 km; L60 1827x1467; 3 km; L60 1189x1249; 3 km; L60 373x561; 3 km; L60 401x325; 3 km; L60 501x501; 1 km; L60 935x835; 12 km; L60 1827x1467; 3 km; L60	1122x1002; 10 km; L60 2193x1761; 2.5 km; L60 1427x1499; 2.5 km; L60 448x673; 2.5 km; L60 481x390; 2.5 km; L60 601x601; 833 m; L60 1122x1002; 10 km; L60 2193x1761; 2.5 km; L60	1122x1002; 10 km; L60 2193x1761; 2.5 km; L60 1427x1499; 2.5 km; L60 448x673; 2.5 km; L60 481x390; 2.5 km; L60 601x601; 833 m; L60 1122x1002; 10 km; L60 2193x1761; 2.5 km; L60
Navy/FNMOC/NRL (USA)	~100 relocatable areas. Nested, Variable size, inner nests: 15, 5, or 1.67 km L60	~100 relocatable areas. Nested, Variable size, inner nests: 15, 5, 1.67, or 0.55 km L60	~100 relocatable areas. Nested, Variable size, inner nests: 15, 5, 1.67, or 0.55 km L60	~100 relocatable areas. Nested, Variable size, inner nests: 15, 5, 1.67, or 0.55 km L80
CMC (Canada)	- 3750x3000; 2.5 km; L120	- 3750x3000; 2.5 km; L120	- 2.0 km; L120	2.0 km; L160
CPTEC/INPE (Brazil)	379x779x50, 15km, L50 1360x1489x55, 5km, L60	1360x1489x55, 5km, L60	2700x2900, 2km, L75	TBD
JMA (Japan)	817x661; 5 km; L76 1581x1301, 2km, L58	817x661; 5 km; L76 1581x1301, 2km, L58	TBD	TBD
CMA (China)	751x501, 10km, L50	751x501, 10km, L50	2251x1501, 3km, L70	
KMA (Korea)	540x432, 12km, L70 1188x1148, 1.5km~4km, L70	540x432, 12km, L70 1188x1148, 1.5km~4km, L140	1188x1148, 1.5km~4km, L140/ ~0.5km, L140, Nested	
NCMRWF (India)	4kmL70	1.5kmL70	TBD	
BoM (Australia)	1650x1120; 8km L70 816x668; 1.5km, L70 Nil 300*300; 12km, L70	1650x1120; 8km L70 816x668; 1.5km, L~120 816x668; 1.5km, L~120 800*800; 4.5km, L~70	2900x1990; 4.5km L~120 816x668; 1.5km, L~120 816x668; 1.5km, L~120 800*800; 4.5km, L~120	2900x1990; 4.5km L~120 816x668; 1.5km, L~120 816x668; 1.5km, L~120 800*800; 4.5km, L~120

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЧИСЛЕННЫХ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ И КЛИМАТА

1. **Многодисциплинарность.**
2. **Бесшовность (следовательно, негидростатичность моделей).**
3. **Большие данные (big data).**
4. **Суперкомпьютерные вычислительные системы.**
(согласно списку **ТОР500 (июнь 2017)** пятиста самых мощных в мире суперкомпьютеров в число 60 самых быстрых суперкомпьютеров вошли 9 суперкомпьютеров, используемых для оперативных прогнозов погоды (ЕЦСПП (25 и 26 места), Метеорологические службы Великобритании (11, 42 и 43), Южной Кореи (53 и 54) и Франции (57 и 58))! Кроме того, в этом списке суперкомпьютеры метеослужб Германии (99 место), Индии (260), США (272 и 273) и Китая (362). Отметим, что устанавливаемый к концу 2017 г. суперкомпьютер в Главном вычислительном центре Росгидромета (ГВЦ Росгидромета) занял бы примерно 210 место в этом списке).
5. **Объединение больших коллективов для разработки и развития новых моделей окружающей среды.**
6. **Сферическая система координат и треугольные сетки.**

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

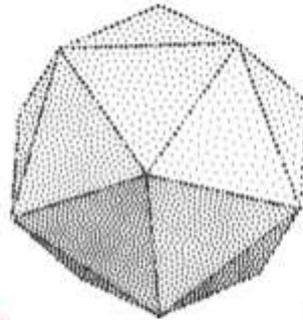
Reinert D., Prill F., Zängl G. Overview of the ICON model.

3rd ICON Training Course of DWD and KIT, February 28th - March 3rd, 2017

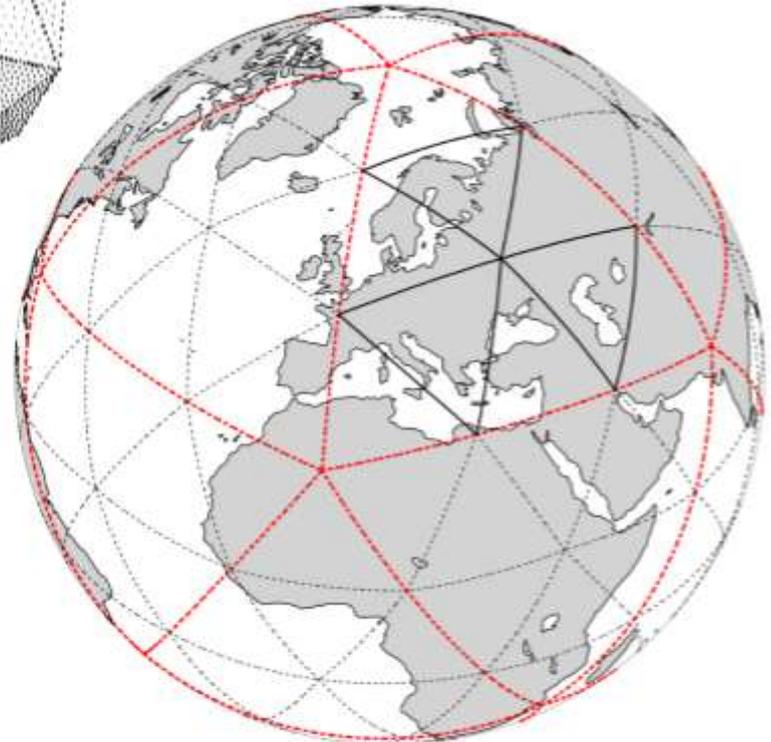
- 2001:** решение о кооперации между Немецкой службой погоды (НСП) и Метеорологическим институтом М.Планка (Гамбург, МИП) о совместном развитии новой глобальной системой моделирования ЧПП и климата;
- 2004:** первые сотрудники, развитие модели мелкой воды для структуры сетки модели ICON;
- 2008:** гидростатическое динамическое ядро с частичным использованием модели ЕСНАМ МИП; начало работы схем переноса трассеров;
- 2010:** негидростатическое динамическое ядро, взаимосвязь с физическими параметризациями;
- 2011:** первые тесты с реальными данными, основанными на анализах ЕЦСПП;
- 2012:** адаптация 3D-Var схемы усвоения данных к структуре сетки модели ICON;
- 2013:** объединение ICON – 3D-Var, дальнейшие эксперименты по оптимизации;
- 2014:** (август) начало предоперативной фазы;
- 2015:** (январь) начало оперативных прогнозов (13 км, 90 уровней до 75 км) после месяца дополнительной параллельной проверки с предыдущей квазистатической оперативной глобальной моделью GME;
- 2015:** (июль) активация вложенной области над Европой (6.5 км, 60 уровней до 22,5 км);
- 2016:** (январь) ансамблевое (40 членов) усвоение данных (метод VarEnKF).

Icosahedral grid similar to GME, but unstructured triangular C-grid

R2B00



R3B00



Часть 2.
COSMO
и
COSMO-Ru

Система уравнений модели (вывод дан в работе [36]), приведенная к координатам $(\lambda, \varphi, \zeta)$, где ζ — криволинейная орографическая координата, выглядит следующим образом:

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

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

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

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

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

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

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

$$\frac{\partial q^f}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial q^f}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q^f}{\partial \varphi} \right) \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial q^f}{\partial \zeta} - \frac{g}{\sqrt{\gamma}} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\partial P^f}{\partial \zeta} + S^f + M_{q^f}, \quad (8)$$

$$\rho = p \left\{ R_d \left(1 + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q^v - q^l - q^f \right) T \right\}^{-1}. \quad (9)$$

Конфигурация COSMO-Ru

Усвоение

- Обработка данных наблюдений
- Анализ для подстилающей поверхности
- «Nudging» атмосферных наблюдений и давления на подстилающей поверхности
- «Nudging» скрытой теплоты

Нач. & гран. условия.

- | | |
|------------|-------|
| • CM | ГМЦ |
| • COSMO-Ru | ГМЦ |
| • ICON | DWD |
| • IFS | ECMWF |
| • GFS | USA |
| • GSM | Japan |

Инициализация

- Цифровая фильтрация

Динамика

- 2^x слойная схема Рунге-Кутта 2^{го} и 3^{го} порядка аппроксимации
- 5^{го} порядка аппроксимация адвективных членов

Химия

- Химия (для газовых компонент)
- Фотолиз
- Аэрозоли
- Гетерогенные реакции

Физика

- Облачность и осадки
- Радиация
- Замыкание турбулентности подсеточного масштаба
- Параметризация приземных потоков
- Влажная конвекция
- Орoграфия подсеточного масштаба
- Почва и подстилающая поверхность (многослойная почва, озера, морской лед)

Диагностика

- Характеристики приземной погоды
- Средние значения
- Метеограммы
- Трехмерные и двумерные интегралы
- Искусственные спутниковые снимки

I/O

- Grib
- NetCDF
- Restart

COSMO-Ru2 / Ru1

АТМОСФЕРА: 50 / 70 уровней

n-1/2 w, z
 n T, u, v, p₀
 n+1/2 w, z

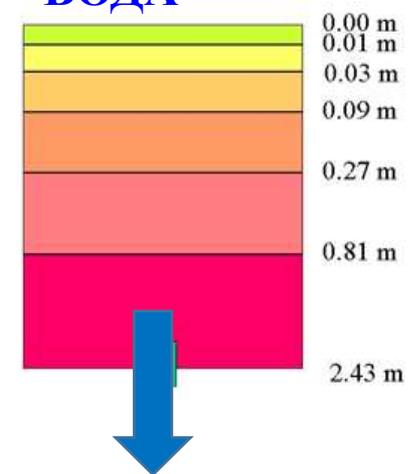


7 – слойная модель почвы

ЭНЕРГИЯ



ВОДА



Уровни в атмосфере

N	p, mm	z, m
0,5	22000	
...	...	
12,5	11807	
Ниже 1550 м - 13 уровней		
24,5	5162	
Пограничный слой		
36,5	1450	
Ниже 550 м - 8 уровней		
42,5	500	
49,5	20	
50	10	
50,5	0	

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	6 122	22	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

COSMO-Ru7/13
&
COSMO-Ru2/1



Г	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	1 450
28	1 546	38	1 254
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

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

15 декабря 2016 г. ЦМКПТ приняла решение:

- **ВНЕДРИТЬ** в оперативную практику по территории **Московской области и ЦФО** прогнозы осадков и скорости ветра по **COSMO-Ru2**, как дополняющие и детализирующие основной метод прогноза по **COSMO-Ru7**;
- **ИСПОЛЬЗОВАТЬ** прогнозы **COSMO-Ru2** (температуры, ветра, осадков) по территории **Северного Кавказа** в оперативной практике **в качестве ОСНОВНОГО** численного метода краткосрочного прогноза погоды

Система COSMO-Ru создана коллективом сотрудников следующих организаций:

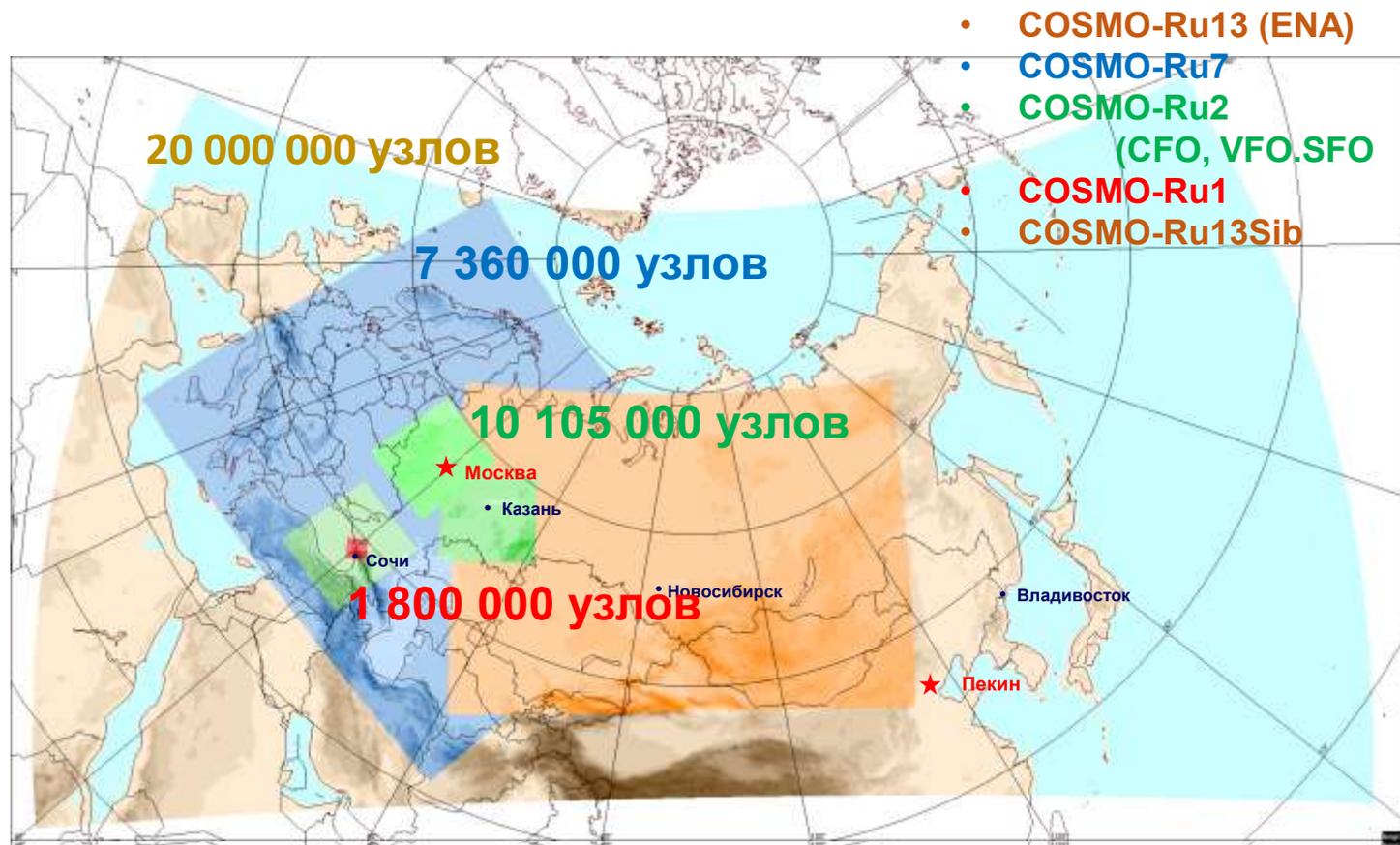
1. **ФГБУ "Гидрометцентр России"**
(в том числе большая группа молодых выпускников кафедры метеорологии и климатологии географического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова) ,
2. **ФГБУ "ГВЦ Росгидромета",**
3. **Кафедра метеорологии и климатологии географического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова,**
4. **ФГБУ "СибНИГМИ".**

Команда (33/20/6/13/5)

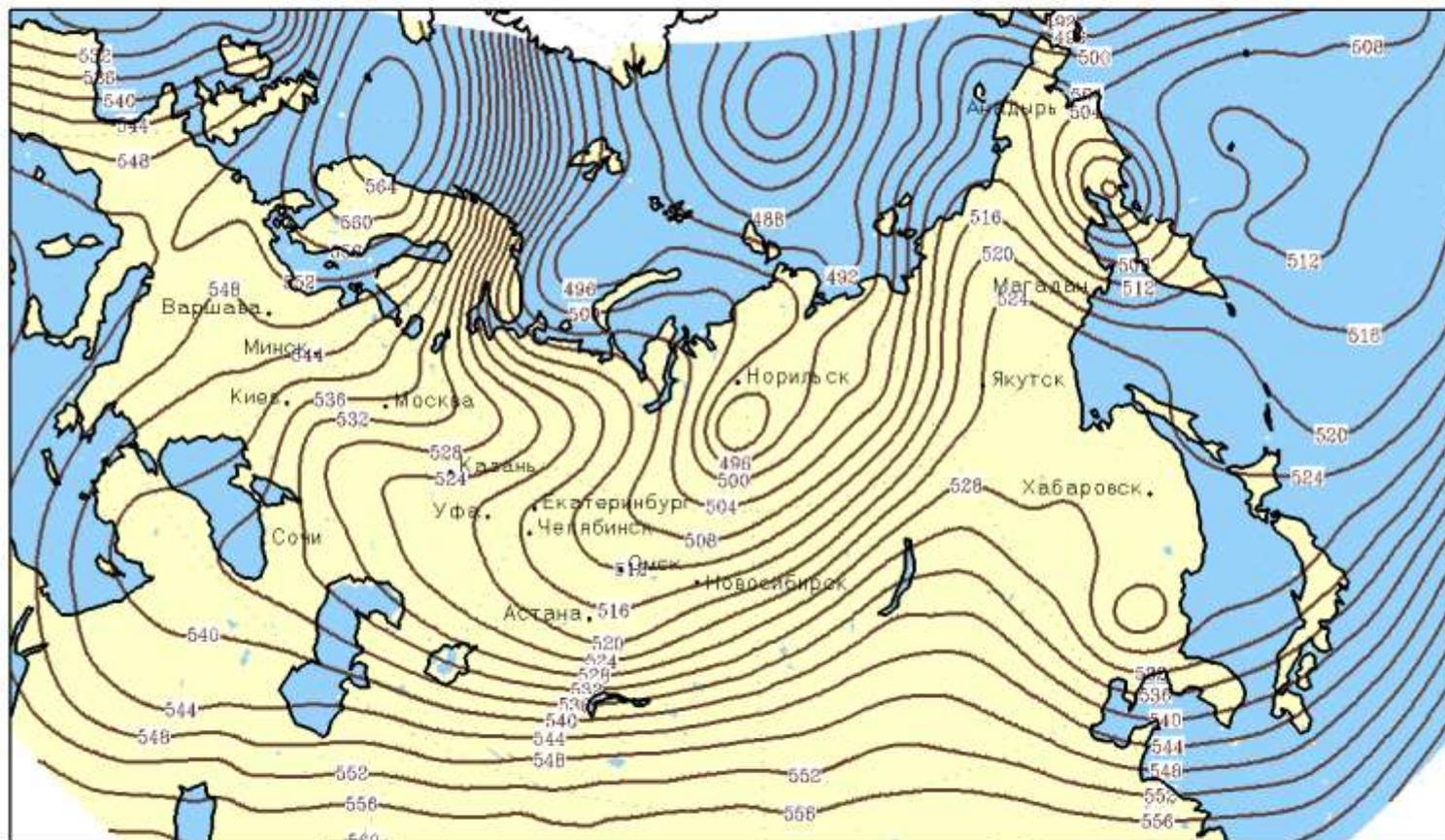
1. Техн. линия : Г.С.Ривин, Д.В.Блинов, И.А.Розинкина;
2. Т2м : И.А.Розинкина, Д.В.Блинов, А.П.Ревокатова, Г.С.Ривин;
3. ART : А.А.Кирсанов, У.Кострова, А.П.Ревокатова, Г.В.Суркова, ;
4. Снег : И.А.Розинкина, Е.В.Кузьмина, М.И.Чумаков, В.В.Копейкин, Е.Чурюлин;
5. Сетки : Г.С.Ривин, Д.В.Блинов, Е.В.Татаринovich, М.В.Шатунова;
6. Ансамбли : Е.Д.Астахова, Д.Ю.Алферов, Г.С.Ривин;
7. Погр. слой : В.Л.Перов, М.А.Никитин, М.И.Чумаков;
8. VERSUS-2 : А.Ю.Бундель, М.В.Зайченко, А.А.Кирсанов, А.В.Муравьев;
9. Усв. данных : Г.С.Ривин, Д.В.Блинов, Е.Финкельберг, М.Д.Цырульников;
10. Постпроцессинг : И.А.Розинкина, Е.В.Кузьмина, М.И.Чумаков;
11. Болота : А.Ю. Юрова, М.А.Никитин;
12. Почва : И.А.Розинкина, Д.Я.Прессман, Г.С.Ривин;
13. Опасные М.Я. : Б.Е.Песков, Д.В.Блинов, В.Л.Перов, Г.С.Ривин.
14. Поляр. циклоны : Г.С.Ривин, М.А.Никитин, М.И.Чумаков;
15. Радиация : Н.Е.Чубарова, А.Полюхов, Г.С.Ривин, М.В.Шатунова.
16. Лес : А.В.Ольчев, Г.С.Ривин, И.А.Розинкина, И.А.Розинкина М.А.Никитин;
17. Климат : А.В.Кислов, М.А.Никитин, Г.С.Ривин, В.С.Платонов, М.И.Варенцов
18. Числ. методы : В.М.Головизнин, Г.С.Ривин, Д.В.Блинов,

Система COSMO-Ru: области оперативного прогноза погоды.

За сутки подготавливается и рассылается более 8000 карт и 2500 метеограмм (количество узлов 3-мерной сетки для атмосферы)



00:00 13фев 2017 (UTC): H500



Прогноз на Оч. от 00:00 13фев 2017 (UTC)

— H500 [gp dam]

COSMO-Ru 13.2km

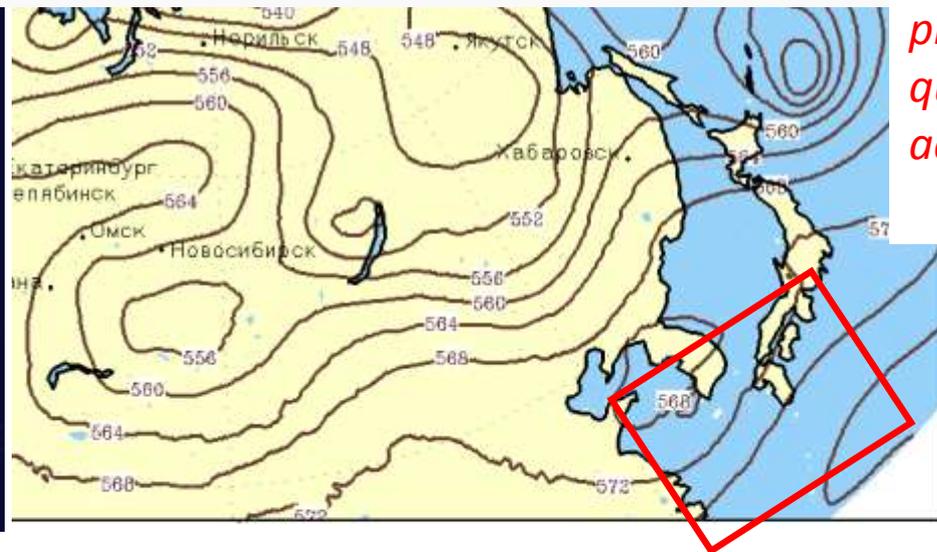
COSMO-Ru system products

English: Track map of Typhoon Neoguri of the 2014 Pacific typhoon season. The points show the location of the storm at 6-hour intervals. The colour represents the storm's maximum sustained wind speeds as classified in the Saffir–Simpson hurricane wind scale (see below), and the shape of the data points represent the nature of the storm, according to the legend below.

Saffir–Simpson hurricane wind scale

	Tropical depression	≤38 mph	≤62 km/h		Category 3	111–129 mph	178–208 km/h
	Tropical storm	39–73 mph	63–118 km/h		Category 4	130–156 mph	209–251 km/h
	Category 1	74–95 mph	119–153 km/h		Category 5	≥157 mph	≥252 km/h
	Category 2	96–110 mph	154–177 km/h		Unknown		

Location and pressure in the center of the cyclone were predicted quite accurately



The background image is from NASA.
Tracking data is from NOAA.

Lead time 0ч. от 00:00 06июл 2014 (UTC+0)

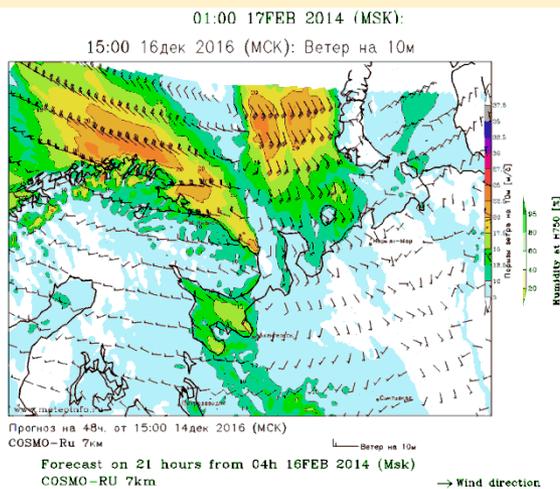
— H500

Продукты системы COSMO-Ru (в сутки 8000 карт и 2000 метеограмм)

Карты

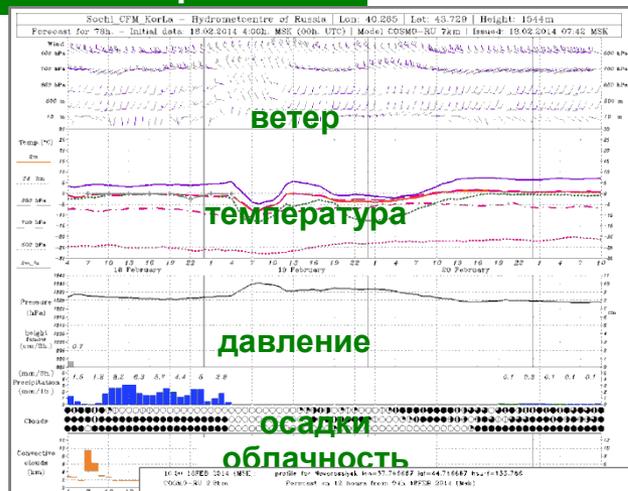
- ❑ Комбинации параметров
- ❑ Обширные регионы
- ❑ «Вырезки» повышенной детализации
(Центральный регион, Дальний Восток, , Сибирь, Балтийское, Черное, Каспийское, Баренцево моря и т.д.)

Часть области COSMO-Ru7



метеограммы

Для пунктов

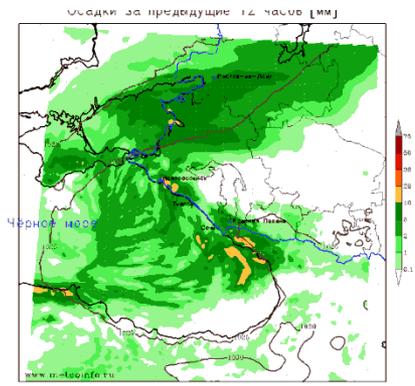


Вертикальные
профили

Продукция GRIB, а также-
дополнительно – согласованных с
пользователями форматах (ASCII, XML,
CVS & etc.)

Примеры продукции COSMO-Ru2 (Сев. Кавказ)

Сумма осадков за 12ч



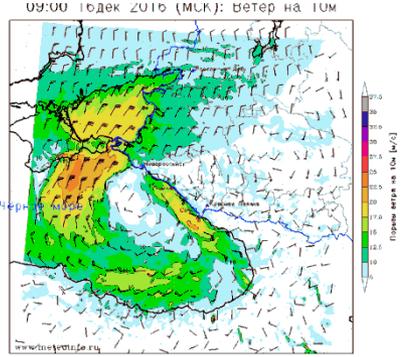
Прогноз на 42ч. от 15:00 14дек 2016 (МСК)
МО-Ru 2.2км
— Давление на уровне моря

Влажность и линии тока



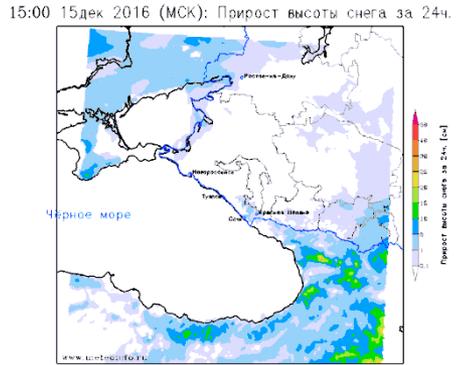
Прогноз на 14ч. от 15:00 14дек 2016 (МСК)
МО-Ru 2.2км
→ Направление ветра

Ветер, Туман



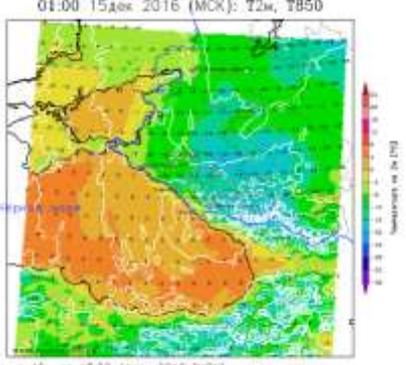
Прогноз на 42ч. от 15:00 14дек 2016 (МСК)
МО-Ru 2.2км
— Ветер на 10м

Прирост высоты снега



Прогноз на 24ч. от 15:00 14дек 2016 (МСК)
Постпроцессинг COSMO-Ru 2.2км

T2m,

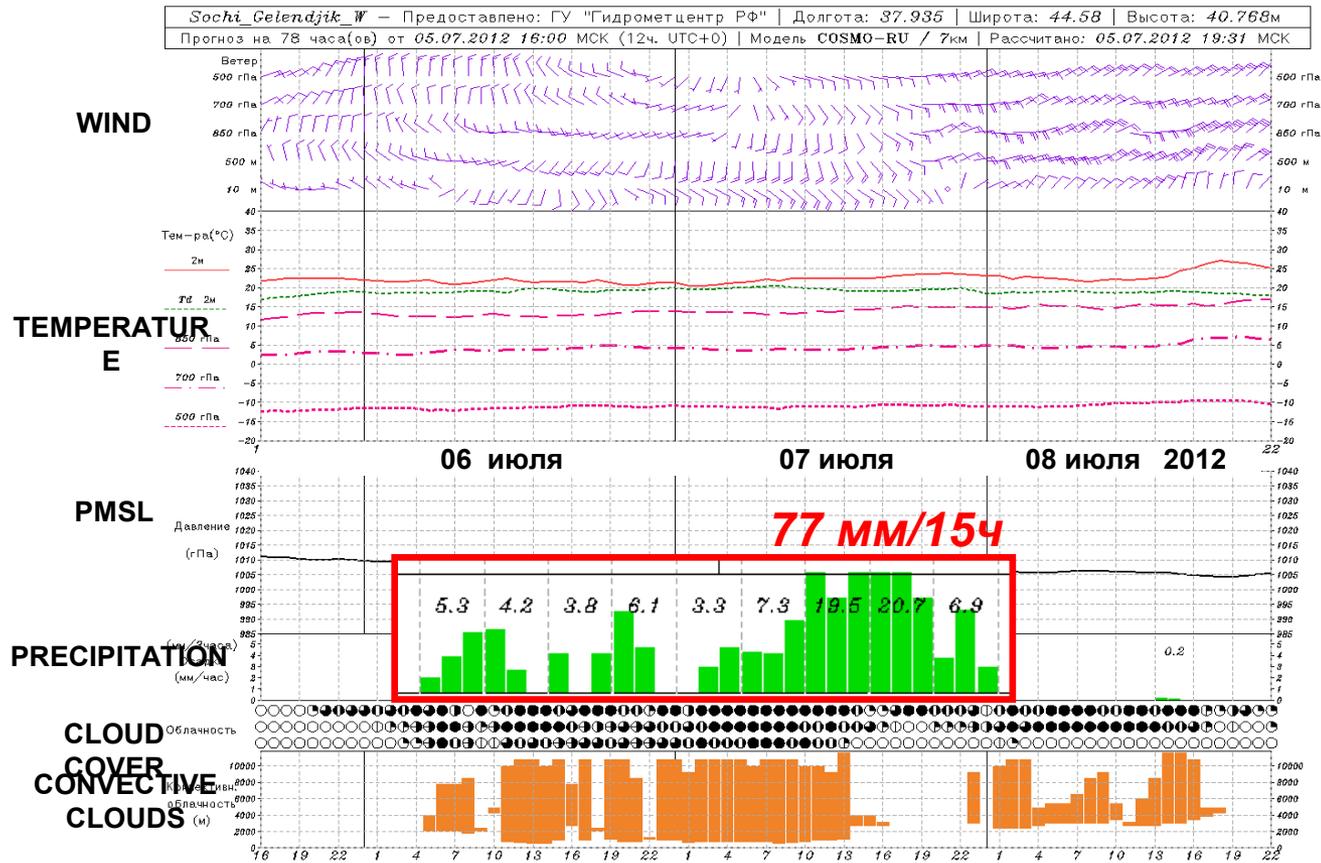


Прогноз на 10ч. от 15:00 14дек 2016 (МСК)
МО-Ru 2.2км
— Температура на 850гПа

Продукты системы COSMO-Ru: COSMO-Ru7

Сильные дожди вызвали катастрофические паводки

**Метеограмма для Геленджика
05/07/12, 12 UTC, fc+78 h**

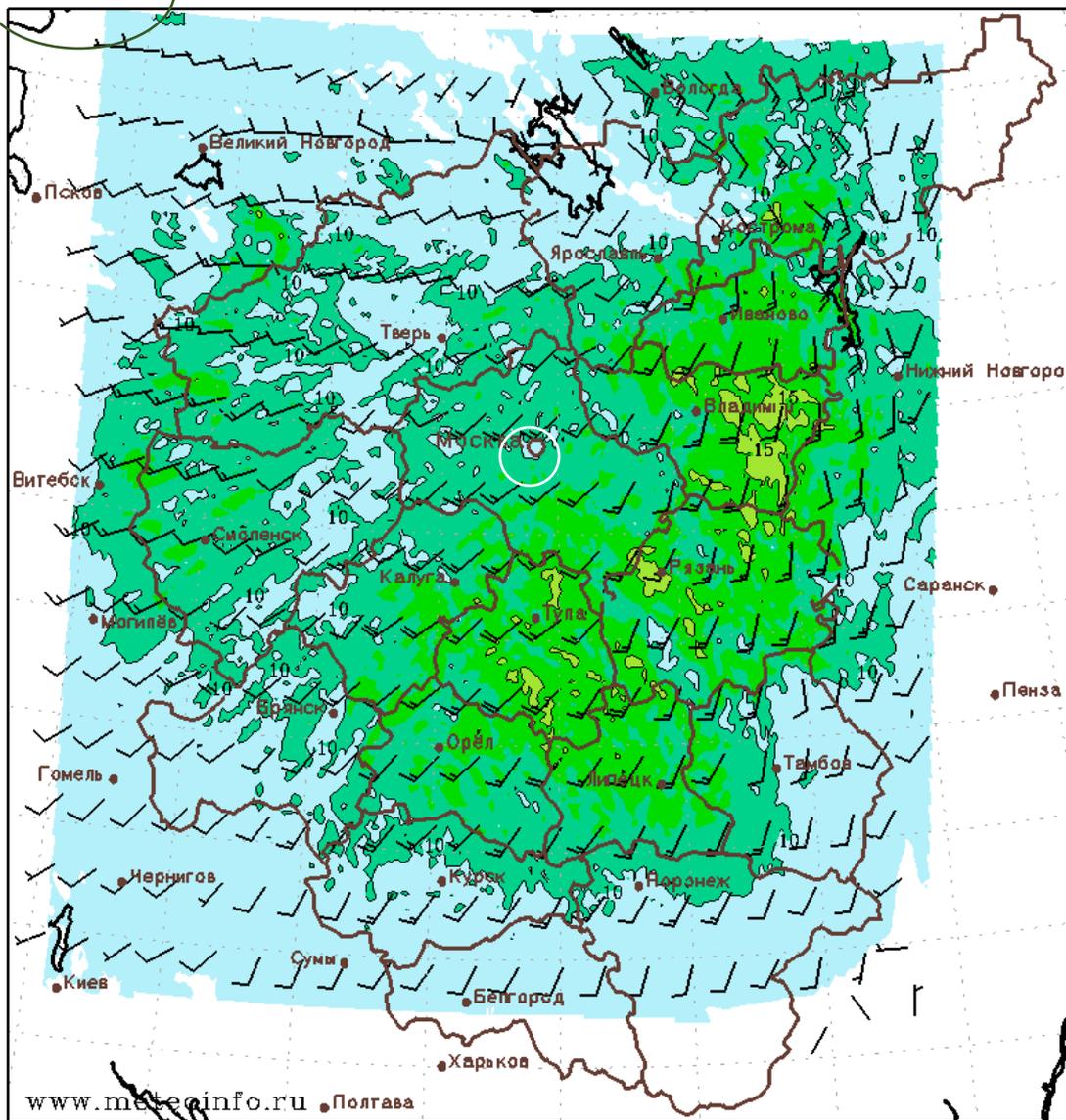


09:00 29мая 2017 (МСК): Ветер на 10м

Прогноз порывов
ветра по модели
COSMO-Ru2.2
за 3.5 часа до
события
(выпущен в 11.30
МСК)

Белая окружность –
положение МКАД

Красным показаны
зоны с усилениями
ветра выше 25 м/с



Прогноз на 0ч. от 09:00 29мая 2017 (МСК)

COSMO-Ru 2.2km

28.08.2017

CITES-2017, Таруса

Ветер на 10м

46

Область квазиоперативного прогноза COSMO-Ru7-ART



- в 0:00 ВСВ прогноз на 48 ч.
- в 12:00 ВСВ прогноз на 60 ч.
- сетка 135x150x40
- ~30-45°в.д., 50-60°с.ш.
- шаг сетки 7 км
- $\Delta t = 40$ с
- начальные и граничные условия **COSMO-RU7**
- антропогенные эмиссии TNO
- CO, NO, NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀

ЛЕСА

ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Ольчев А.В., Авилов В.К., Байбар А.С., Белотелов Н.В., Болондинский В.К.,
Иванов Д.Г., Кузьмина Е.В., Курбатова Ю.А., Левашова Н.Т., Мамкин В.В.,
Мангура П.А., Молчанов А.Г., Мухартова Ю.В., Никитин М.А., Новенко Е.Ю.,
Придача В.Б., Ривин Г.С., Розинкина И.А., Сазонова Т.А., Сандлерский Р.Б.,
Суркова Г.В., Холопцева Е.С.



МОСКВА 2017

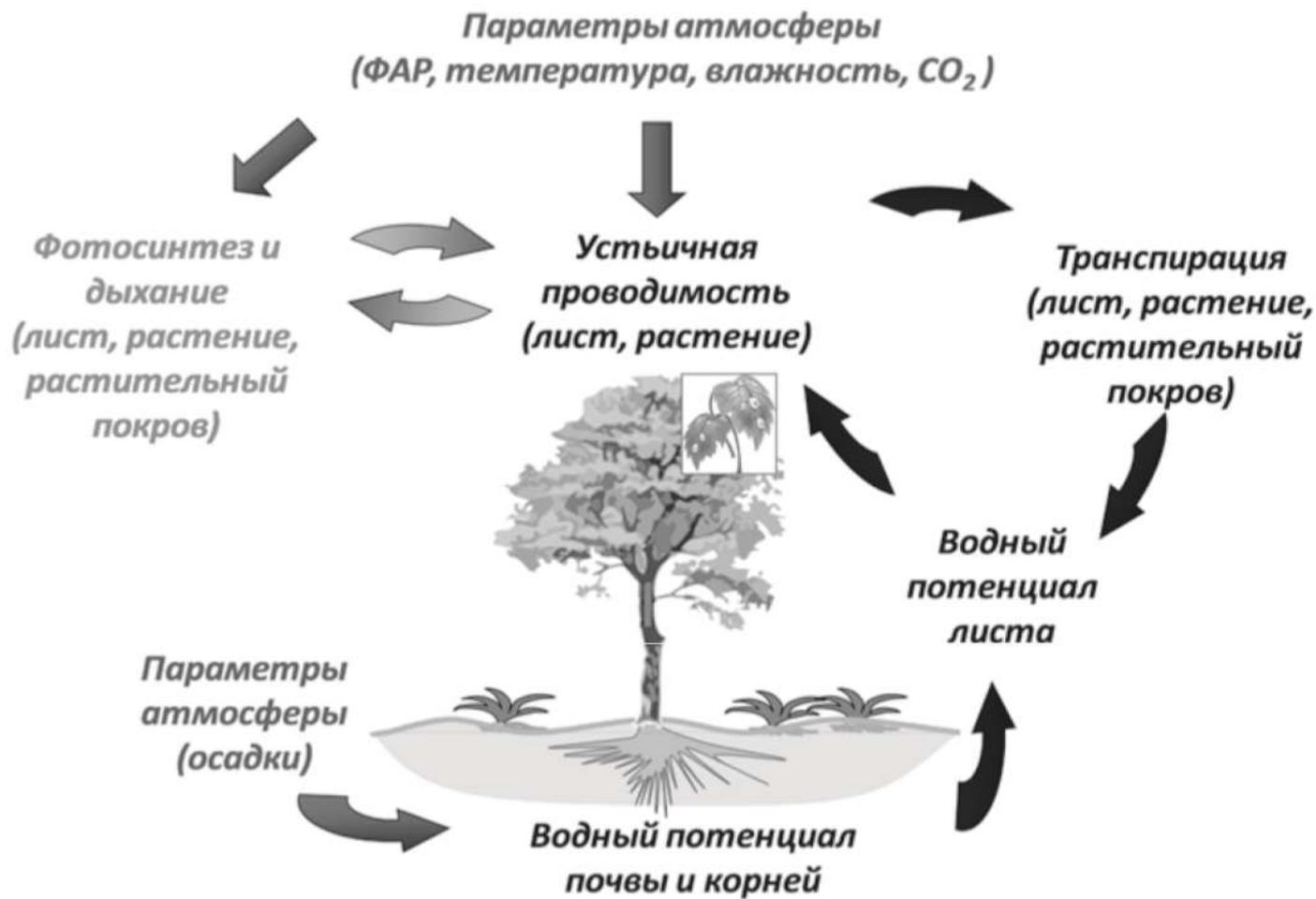


Рис. 7.1. Общая схема сопряженного описания фотосинтеза, дыхания, устьичной проводимости и транспирации растительного покрова (Olchev и др., 2009).

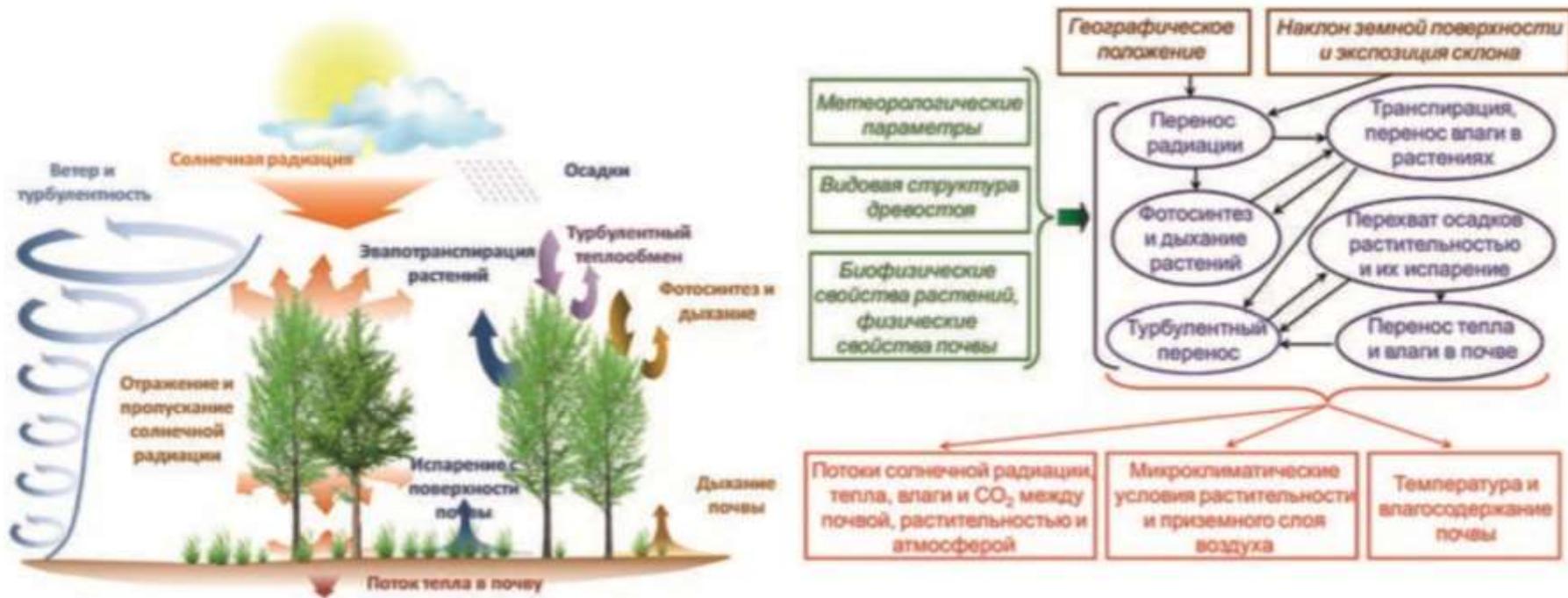


Рис. 11.2. Общая структура Mixfor-SVAT модели.

Коллективная монография обобщает результаты комплексных экспериментальных и модельных исследований, направленных на изучение лесных экосистем центральных районов Европейской территории России и их роли в обмене парниковыми газами между земной поверхностью и атмосферой в условиях изменяющегося климата. В книге проанализированы современные тенденции изменения климатических условий и лесной растительности в исследуемом регионе, представлены реконструкции их динамики на протяжении голоцена и сценарии возможных изменений в будущем. Показаны результаты экспериментальных исследований по оценке влияния сплошных рубок на потоки парниковых газов в лесных экосистемах.

Рассмотрены существующие модельные подходы для описания переноса парниковых газов между земной поверхностью и атмосферой, а также возможности их применения для прогноза потоков CO_2 и H_2O в лесных экосистемах при климатических изменениях. На основе результатов численных экспериментов показана определяющая роль лесов в формировании локальных и региональных метеорологических условий. Монография рассчитана на широкий круг специалистов в области экологии, метеорологии, палеогеографии, математического моделирования.

12. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕСИСТОСТИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ НА РЕГИОНАЛЬНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ: ОЦЕНКА С ПРИМЕНЕНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ВЕРСИИ МОДЕЛИ COSMO

Кузьмина Е.В., Ольчев А.В., Никитин М.А., Розинкина И.А., Ривин Г.С.

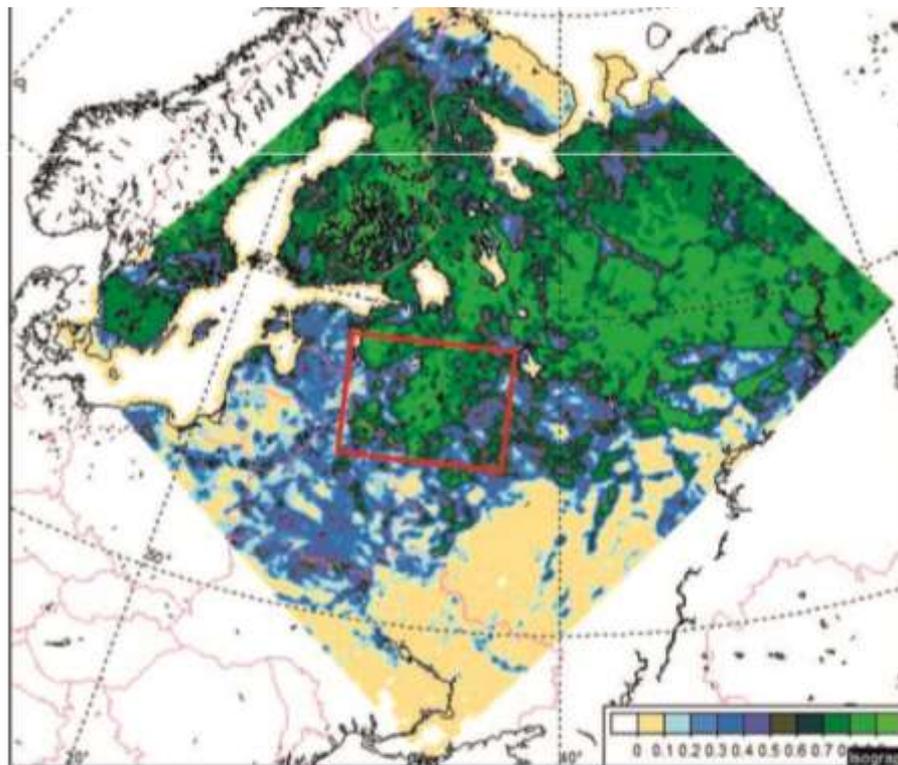
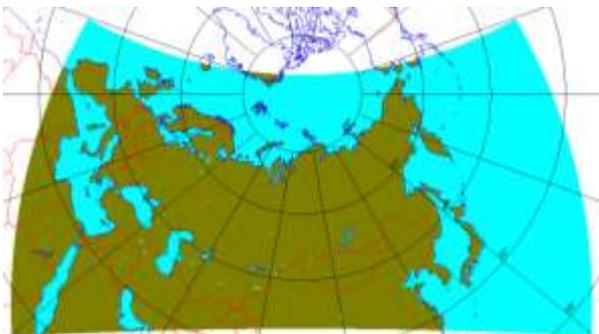
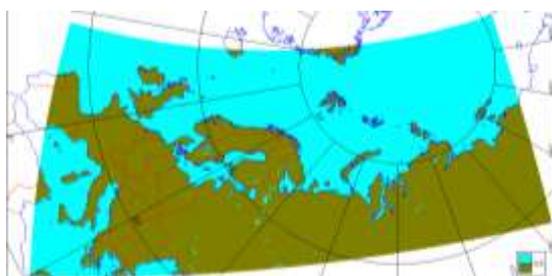


Рис. 12.1. Область интегрирования модели COSMO и область заданной измененной лесистости «Регион» (ограничена красным контуром). Цветом показана степень облесенности территории хвойными и широколиственными лесами (в долях единицы).

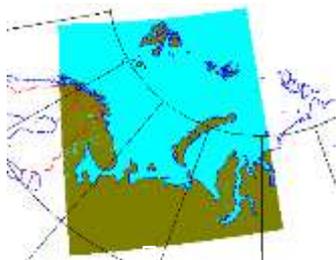


Полярные циклоны

- ENA (Europe – North Asia)
- $\Delta x = \Delta y = 13,2 \text{ km}$, $\Delta t = 120 \text{ s}$
- 1000 × 500 узлов



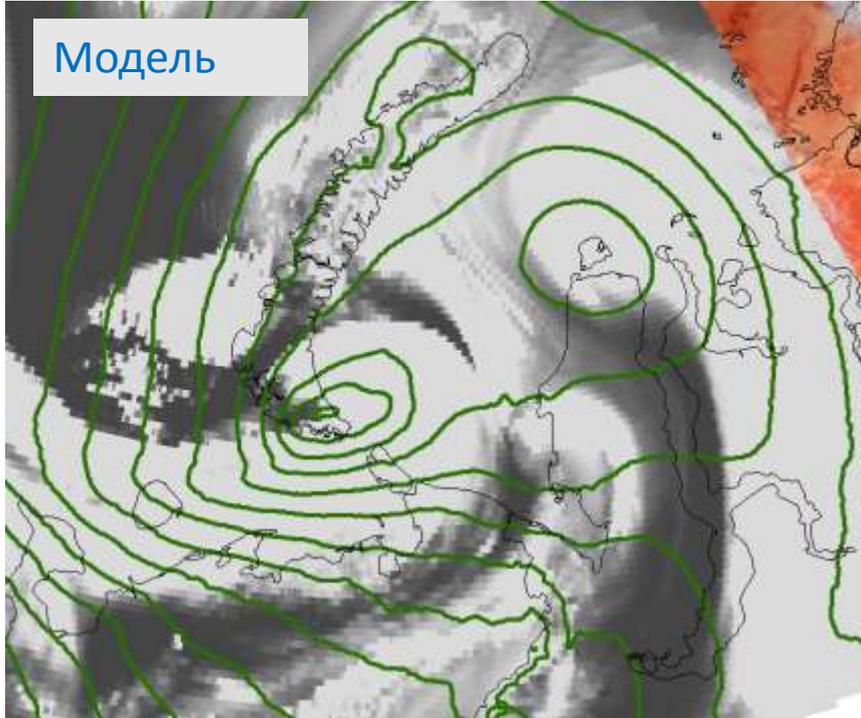
- PENA (Polar Europe – North Asia)
- $\Delta x = \Delta y = 6,6 \text{ km}$, $\Delta t = 30 \text{ s}$
- 1200 × 540 grid points



- BKS (Barentchevo – Karskoe Sea)
- $\Delta x = \Delta y = 2,2 \text{ km}$, $\Delta t = 10 \text{ s}$
- 1000 × 1100 grid points

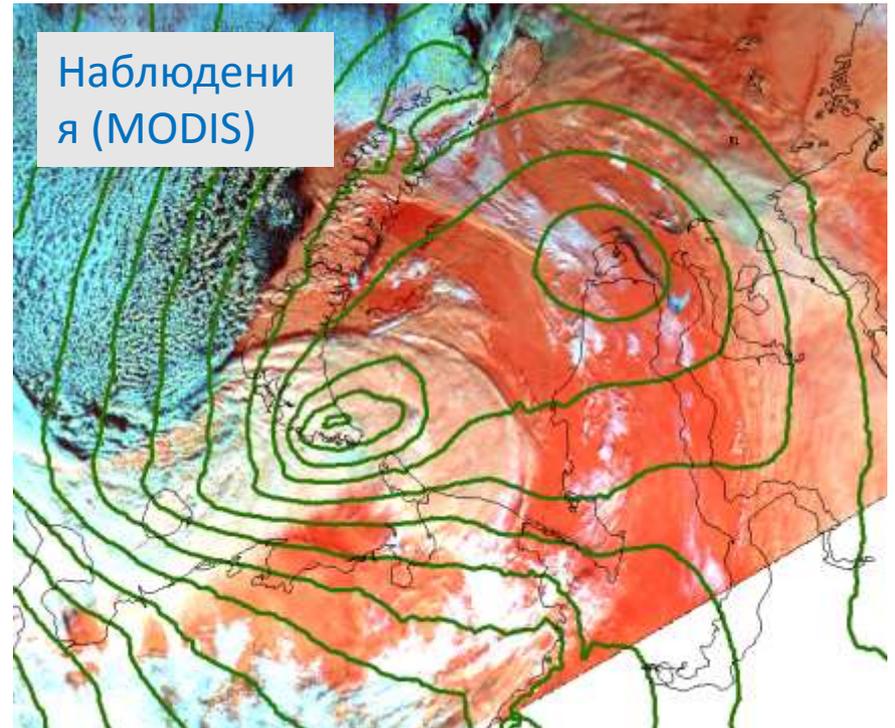
Верификация COSMO-Ru по спутниковым данным

Модель



Прогноз от 2014.03.26 00 UTC
на 07:45 (приземное
давление, облака среднего
яруса)

Наблюдения
(MODIS)



Модель COSMO
реалистично
воспроизводит
облачность в
полярных циклонах

28.08.2017

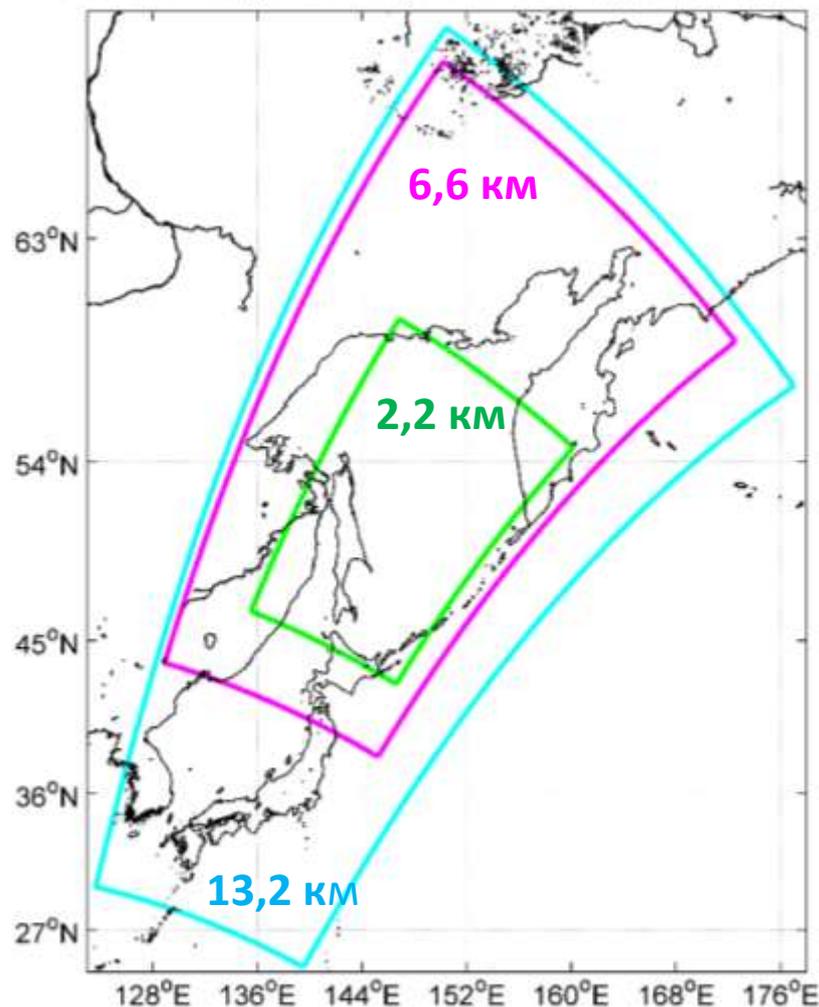
Области расчётов



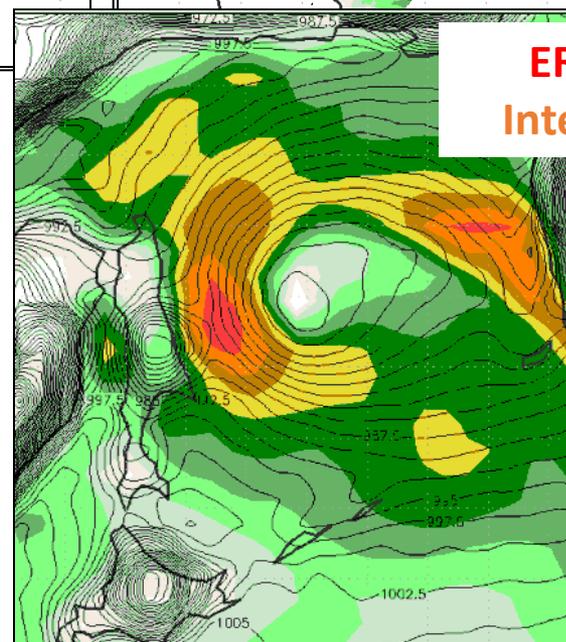
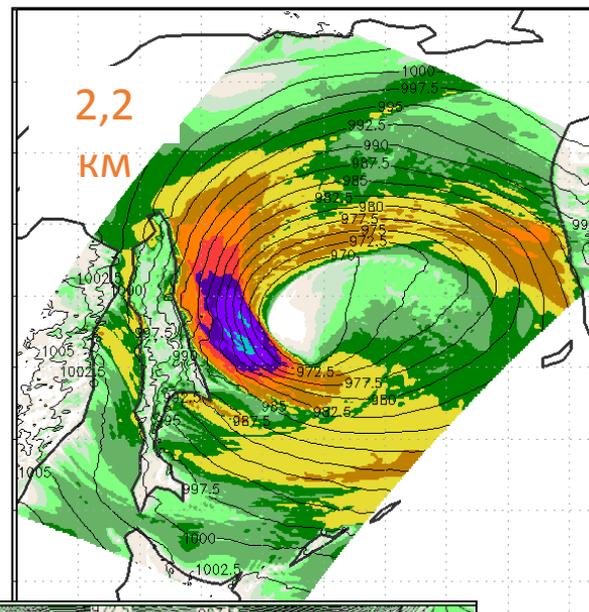
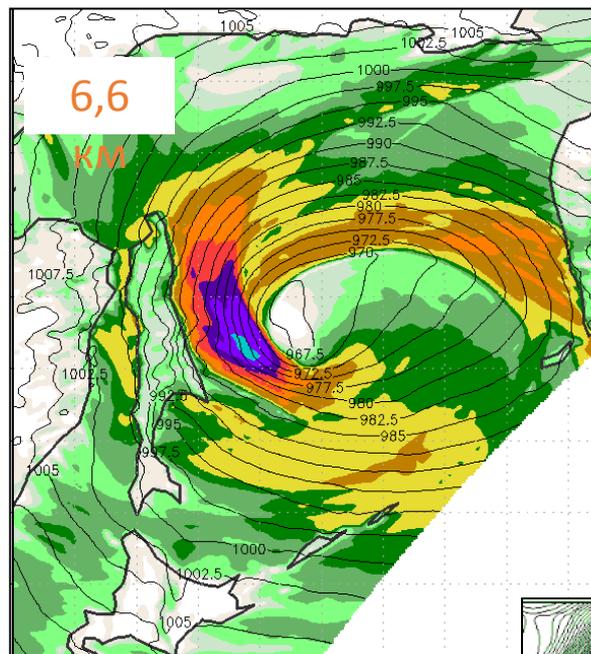
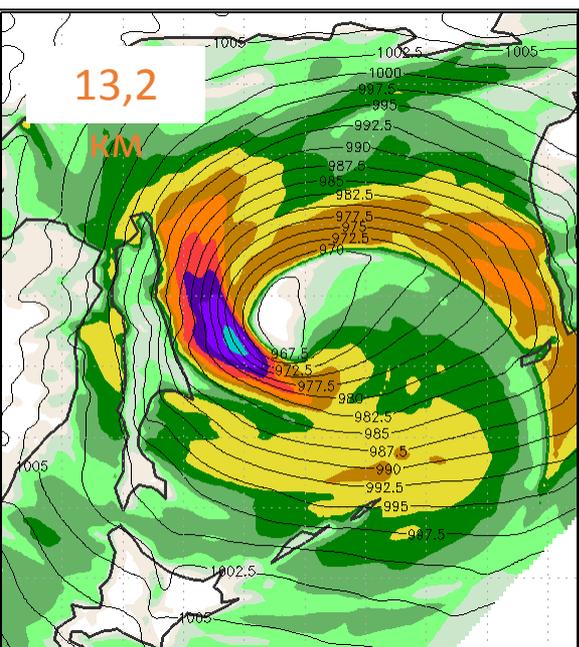
Для детализации метеорологических полей использовался **метод вложенных сеток**: результаты расчётов по большей области использовались в качестве начальных и граничных условий для меньшей. Шаг сетки последовательно составил 13,2, 6,6 и 2,2 км

С шагом сетки 2,2 км рассчитывались экстремальные синоптические ситуации, наблюдавшиеся с **1985 по 2015** годы.

Области модельных расчётов 13,2, 6,6 и 2,2 км



Поле давления (гПа) и скорости ветра (м/с), 1996.02.14, 23 ч. ВСВ



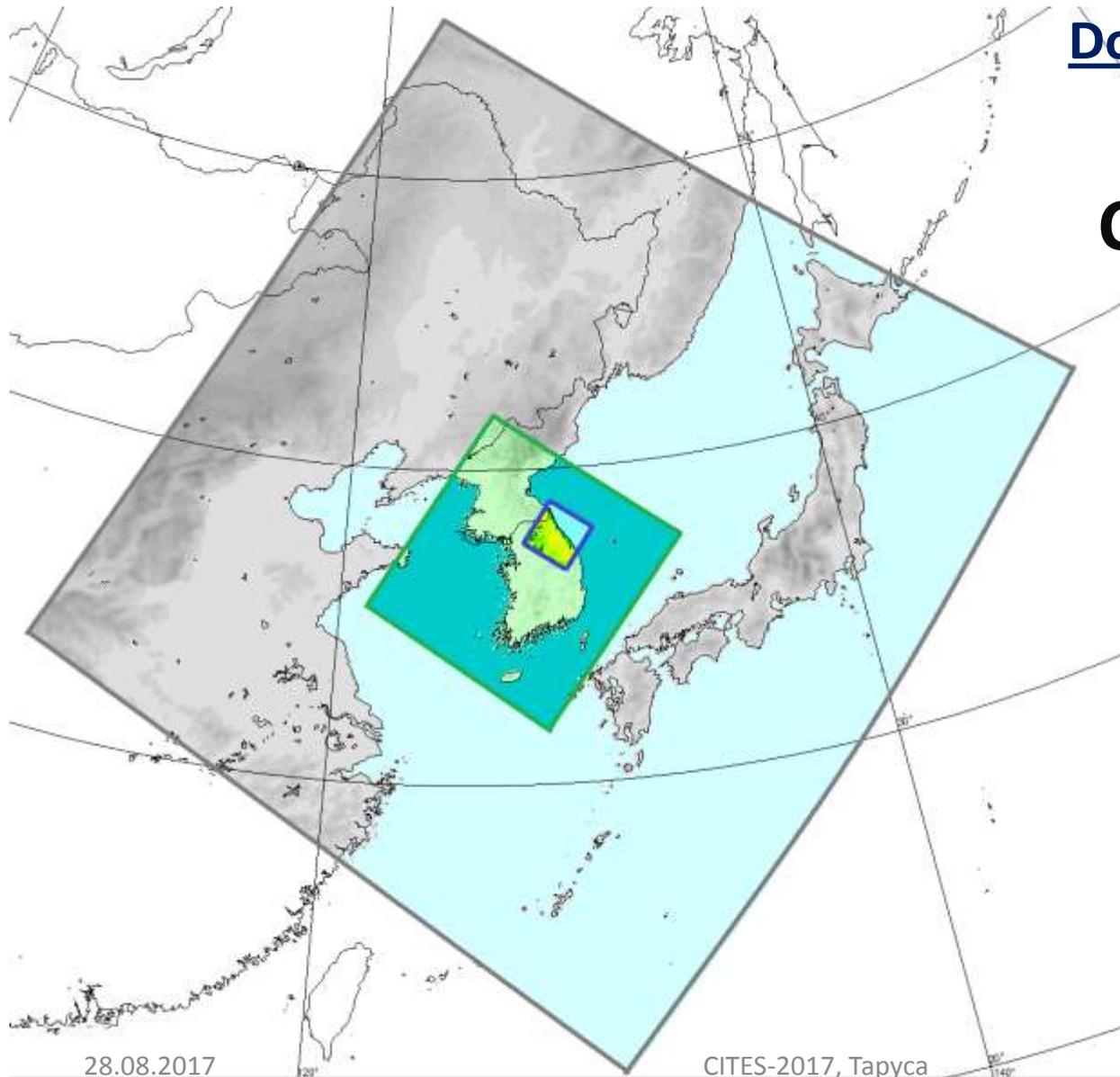
Общая структура полей
ветра и давления
для разных модельных доменов
очень похожа, но при уменьшении
шага сетки модели увеличивается
пятнистость скорости ветра

COSMO-Ru system for PyeongChang 2018

COSMO model setting

	COSMO-ICE66	COSMO-ICE16	COSMO-ICE04
Domain	2770 x 2770 km 420 x 420 grid points	825 x 825 km 500 x 500 grid points	180 x 180 km 400 x 400 grid points
Grid spacing	6.6 km	1.65 km	0.45 km
Number of vertical levels	40	50	80
Time step	60 s	12 s	3 s
Forecast lead time	60 h	48 h	24 h
Driven model	ICON	COSMO-ICE66	COSMO-ICE16
Initial and boundary conditions update	3h	1 h	1h → 15'

Organizing NWP system for PyeongChang 2018



Domains for NWP

COSMO-ICE66
dx = 6.6 km

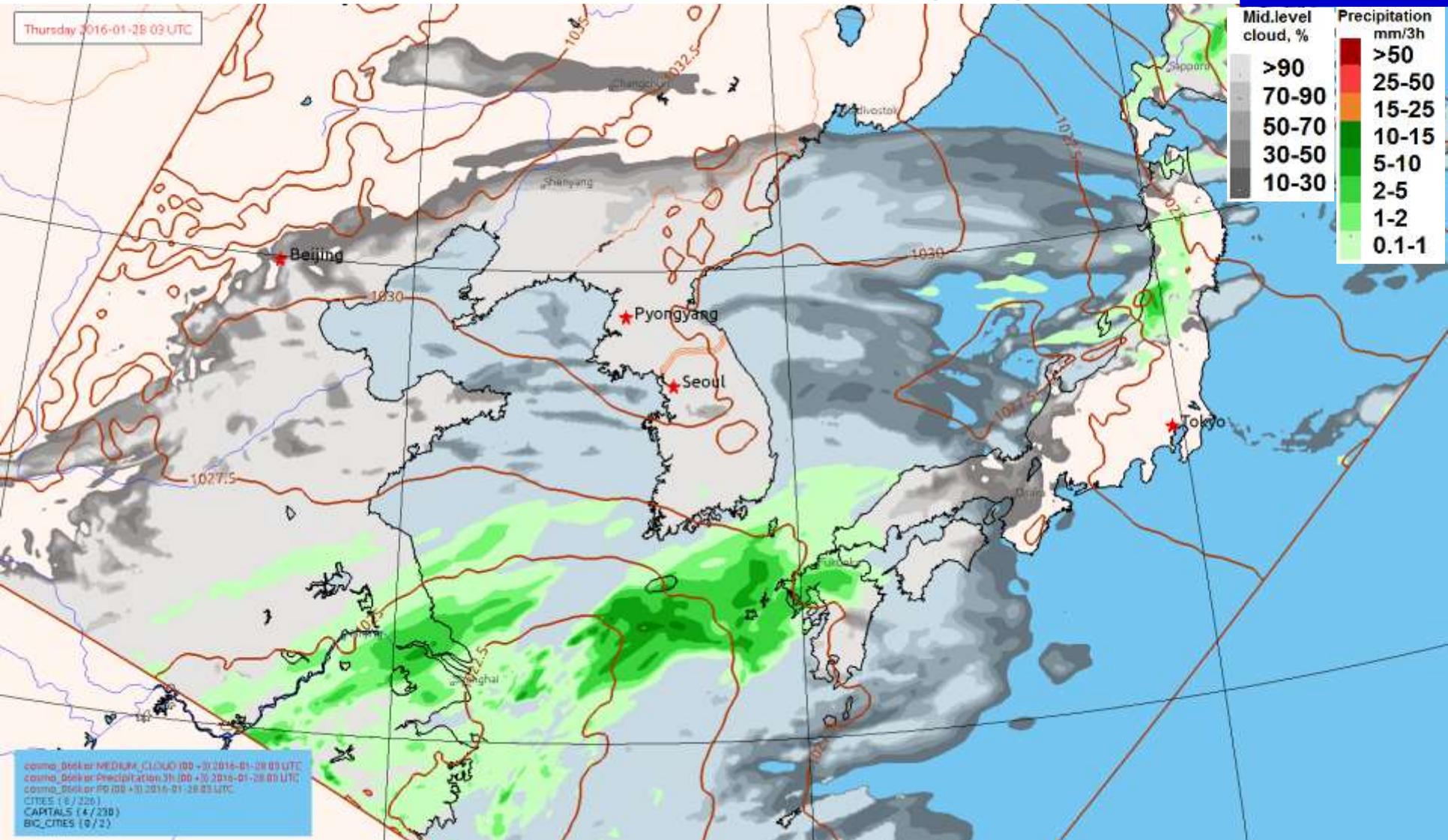
COSMO-ICE16
dx = 1.65 km

COSMO-ICE04
dx = 0.445 km

Snow event on January 29-30, 2016

COSMO-ICE66 forecast from 28.01.2016, 00 UTC + 60 h
Pmsl, Midlevel cloud, 3h accumulated precipitation.

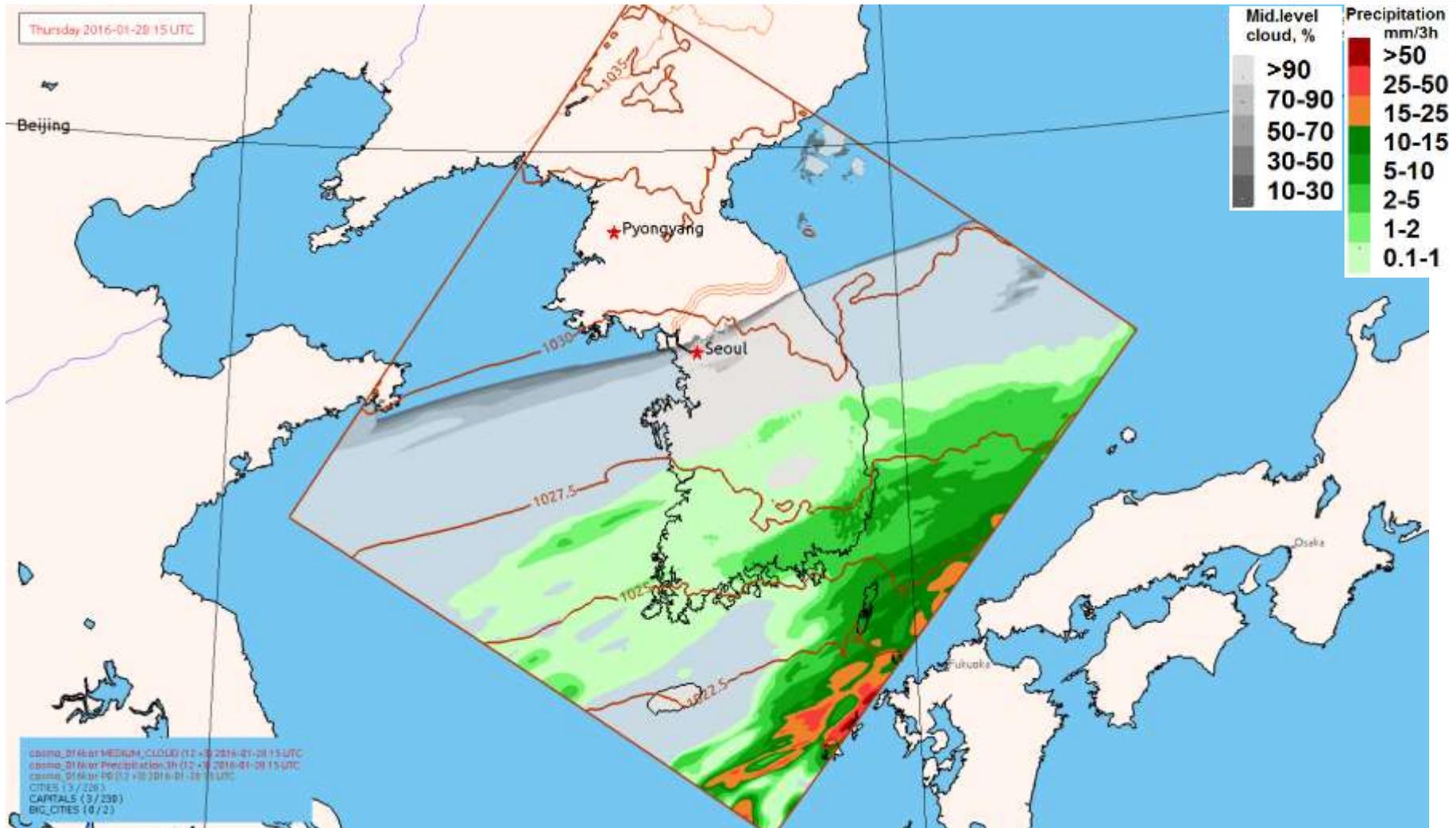
dx = 6.6 km



Snow event on January 29-30, 2016

COSMO-ICE16 forecast from 28.01.2016, 00 UTC + 48 h
Pmsl, Midlevel cloud, 3h accumulated precipitation.

dx = 1.65 km



ICON и ICON-LAM-Ru

Часть 3.

ICON

и

ICON-LAM-Ru

ICON features which are important for COSMO-model users

- Mass conservation
- Mass consistent tracer advection
- Stable dycore for steep terrain
- Up-to-date physics packages
- One-way and two-way nesting options
- Hybrid MPI / OpenMP parallelization, highly scalable
- Lateral boundary data in frame form, not for full domain

Новая глобальная негидростатическая модель **ICON** (**ICO**sahedral **N**onhydrostatic model)

«**ICON** является разработкой Немецкой службы погоды (Deutscher Wetterdienst – DWD) и Метеорологического института им. Макса Планка (MPI-M) для системы глобальных прогнозов **погоды климата** нового поколения».

В 2012 Институт Технологии в Карлруэ присоединился к работам для подключения химического модуля ART.

Используется для оперативных прогнозов с 01.2015

Область Глобус:

Шаг сетки : 13 км -> **2.95 Млн точек** 1 ячейка: 173 km²

Число уровней: 90

Заблаговременность прогнозов:

174ч по 00 и 12 UTC

78ч в 06 and 18 UTC

Встроенная область:

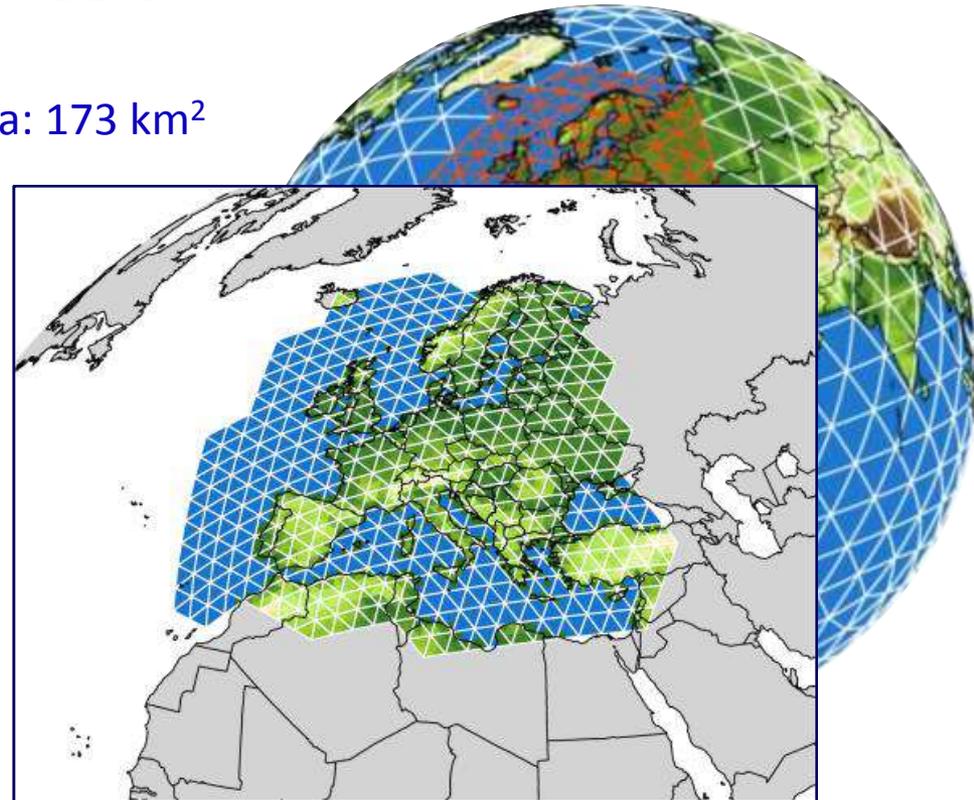
Шаг сетки: 6.5 км

Число уровней: ~ 60

Заблаговременность прогнозов:

78 ч по 00, 06, 12 и 18 UTC

1 ячейка: 43 km²



Numerical Weather Prediction at DWD in 2015

Global model ICON

Grid spacing: **13km**

Layers: **90**

Forecast range:

174 h at 00 and 12 UTC

78 h at 06 and 18 UTC

1 grid element: 173 km²

ICON

with zooming area Europe

Grid spacing: **6.5 km**

Layers: **~ 60**

Forecast range:

78 h at 00, 06, 12 and 18 UTC

1 grid element: 43 km²

plus three other zooming areas

COSMO-DE (-EPS)

Grid spacing: **2.2 km**

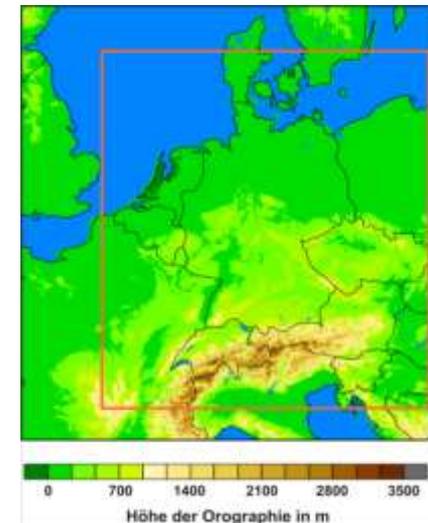
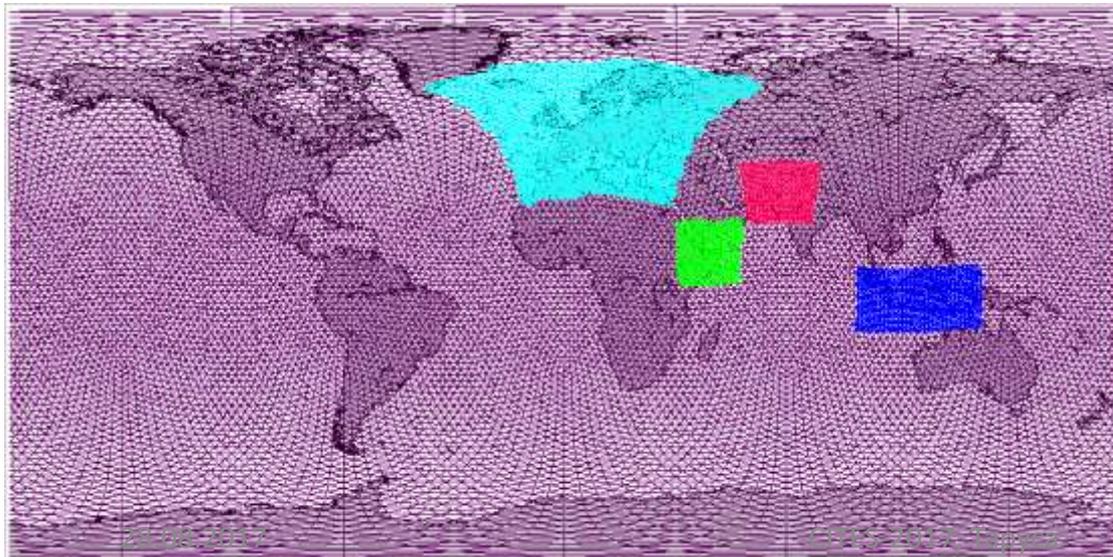
Layers: **~ 80**

Forecast range:

24 h at 00, 03, 06, 09,

12, 15, 18, 21 UTC

1 grid element: 5 km²



Создание модели глобальной модели ICON и ее версии для ограниченной территории ICON-LAM проводилась примерно 40 активными разработчиками (специалистами в области метеорологии, математики и системного программирования).

Величина совокупности разработанных ими программ для модели ICON/ICON-LAM составляет примерно 670 тысяч строк на языке Фортран (F95/F2003/F2008) и 200 тысяч строк на языке Си (эта информация была приведена в лекции D. Reinert, F. Prill, G. Zängl «Overview of the ICON model» на 3-й школе по модели ICON, 28 февраля 2017 г., Оффенбах на Майне, Германия

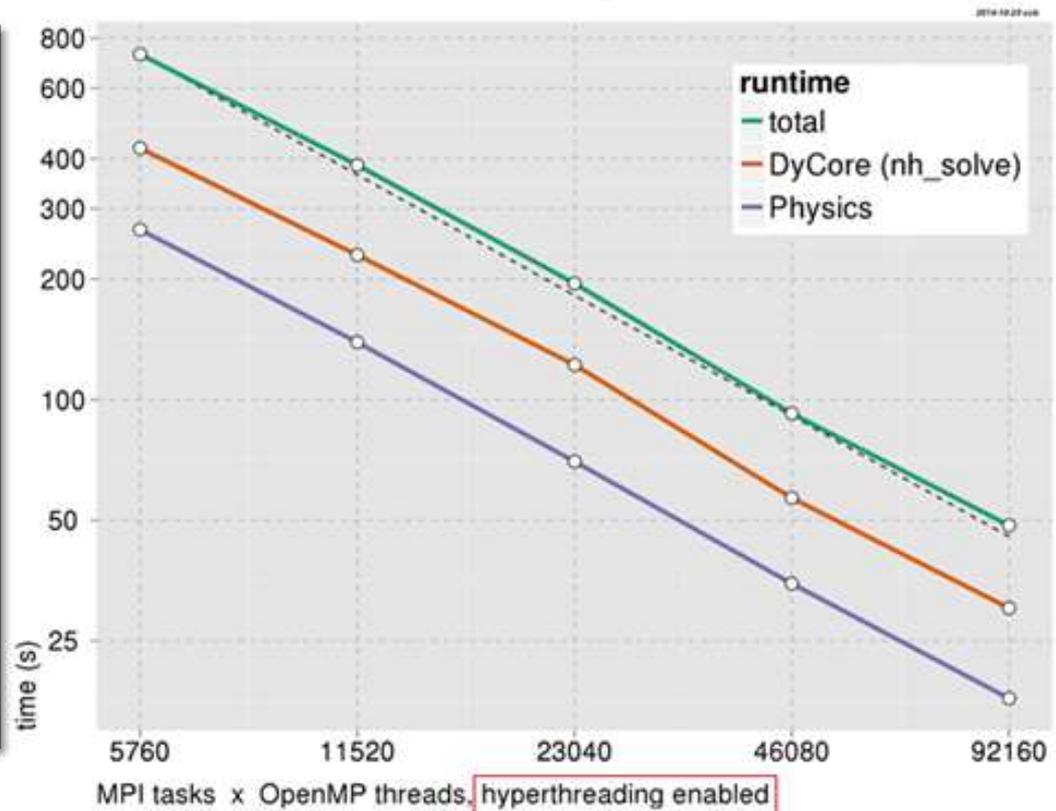
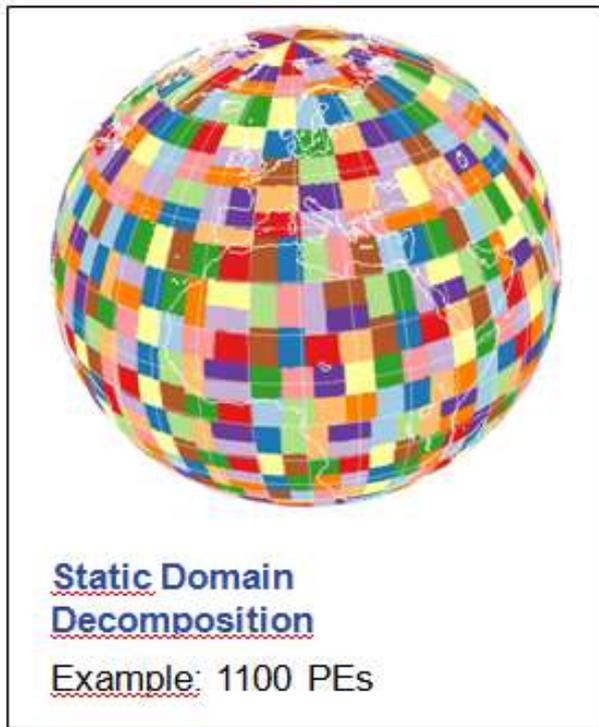
(http://www.dwd.de/DE/fachnutzer/forschung_lehre/seminare/2017/icon_training/icon_training_node.html).

D. Majewski

(Deutscher Wetterdienst, Research and Development, detlev.majewski@dwd.de)



Scaling of ICON (5 km grid spacing, L90) on Cray XC30 at ECMWF (Reading)



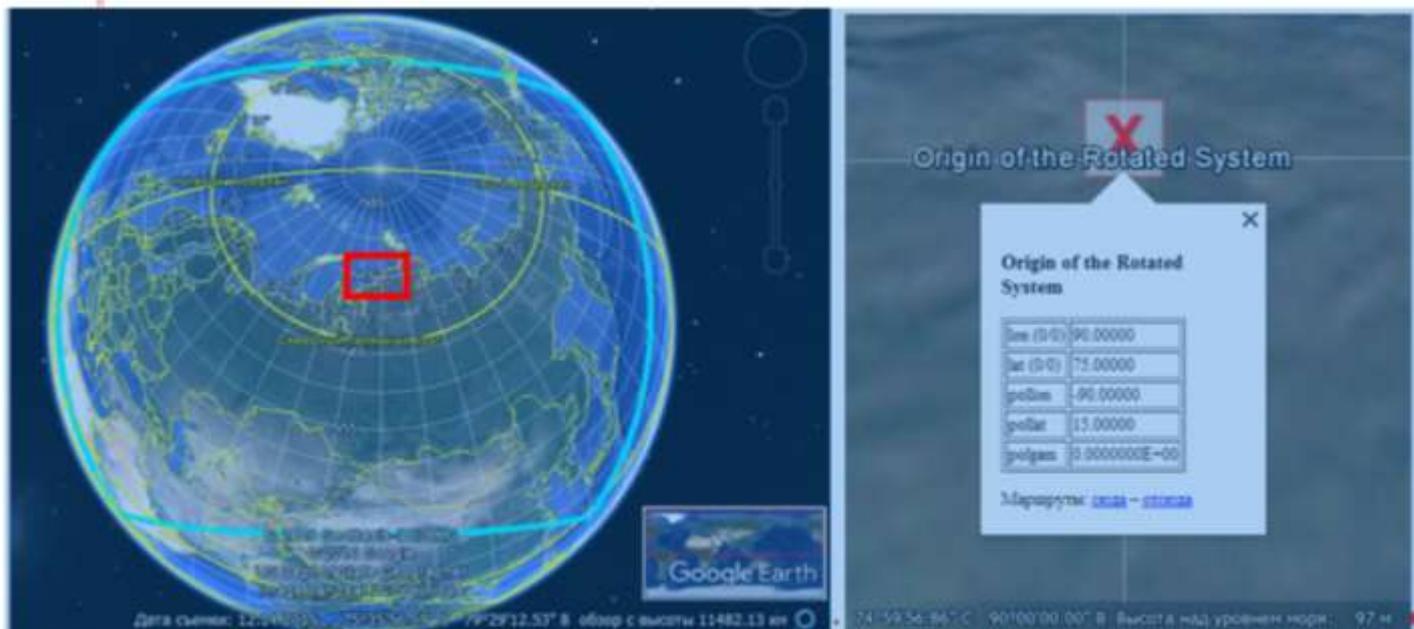


Рис. 3. Область интегрирования ICON-LAM-ENA (слева с выделенным началом координат сдвинутой сферической системой координат) и начало координат сдвинутой сферической системой координат (справа) 

❑ Работа по планам Росгидромета

❑ Работа по перспективным планам консорциума COSMO

❑ Метеобеспечение специальных периодов

➤ **Казань-2013,** Летняя Универсиада

➤ **Сочи-2014,** Зимние Олимпийские игры

➤ **Дальний Восток -2016, Россия –Китай:** двухстороннее сотрудничество

➤ **Алматы-2017,** Зимняя Универсиада

➤ **PyeongChang-2018,** Зимние Олимпийские игры

➤ **Красноярск-2019,** Зимняя Универсиада

❑ Работа по проектам РНФ, хоздоговора

ПРИМЕР: ICON-LAM –Ru: численные эксперименты (Cray-XC40)

- сетка: шаг **20 км**, R02B07
- шаг по времени: **60 секунд**
- время счета: **630 секунд (10,5 мин)**
- прогноз: на **42 час.**
- Распараллеливание **на 25 узлах:**
300 три-поточков, 4 нити, 2 гибридные ветки, всего **2400 ядер**

COSMO-Ru → ICON-LAM-Ru

- 2017 - 2018: Тесты ICON-LAM-Ru
- 2019 - 2020: Тесты системы усвоения EDA (и EnVar) для ICON-LAM
- 2017 - 2022: Постепенная замена COSMO-Ru на ICON-LAM-Ru

Project **ICE-POP2018**

(International Collaborative Experiments for Pyeongchang 2018 Olympic & Paralympic winter games)



- was endorsed by WMO on 27 November 2015
- Participants from 11 countries (Australia, Austria, Canada, China, Finland, Russia, Korea, Spain, Switzerland, UK, USA) take part in the project.
- The main goal is advancing seamless prediction from nowcasting to short-range forecast for winter weathers over complex terrains based on an intensive observation campaign

Roshydromet representatives participate in two WGs: NWP WG and Evaluation WG.

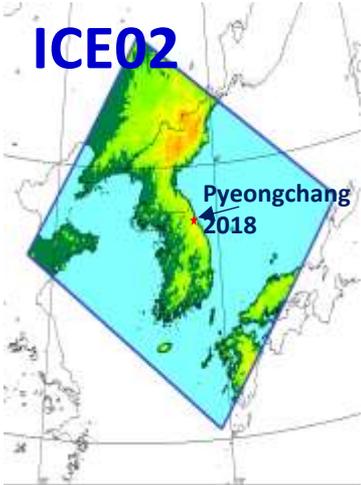
NWP system for Pyeongchang 2018 based on COSMO-Ru model was organized in Roshydromet.

Human resources: 5

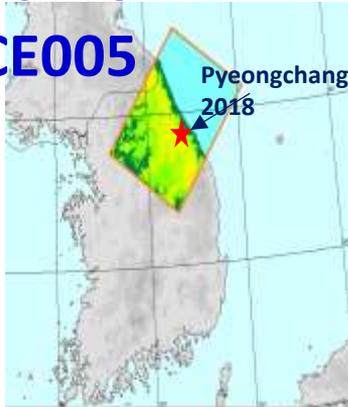
- Dmitry Kiktev (Evaluation WG), Gdaly Rivin (NWP WG)
- Marina Shatunova, Denis Blinov, Ekaterina Tatarinovich (master's

NWP system for Pyeongchang 2018

COSMO-ICE02



COSMO-ICE005



Domain	1320 x 1100 km 600 x 500 grid points	150 x 200 km 300 x 400 grid points
Grid spacing	2.2 km	0.550 km
Number of vertical levels	50	60-??
Time step	20 s	6 s
Forecast lead time	24 h	12-24 h
Driven model	ICON	COSMO-ICE02
BC update	3h	15 min

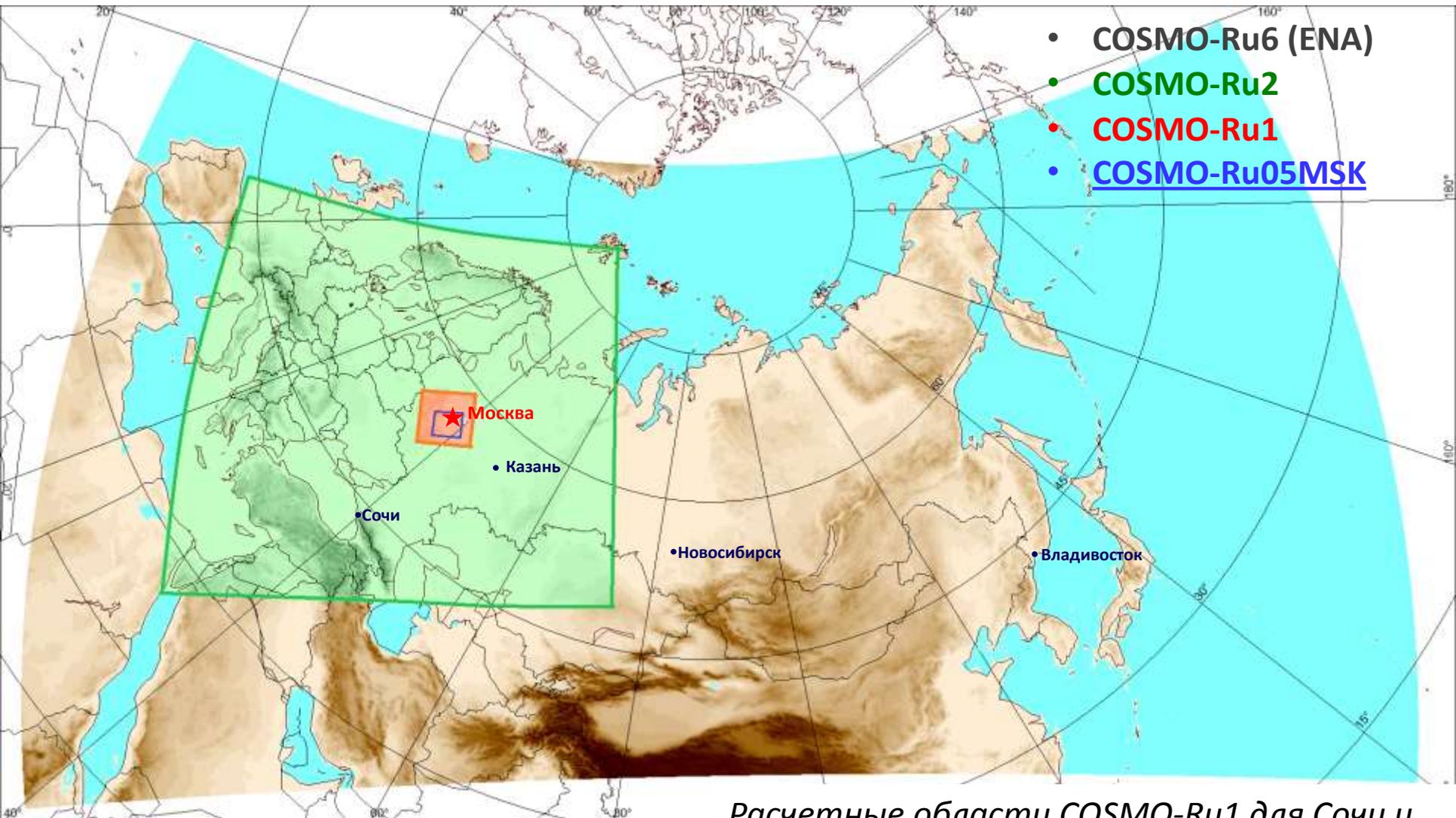
Today activities

- DAS for COSMO-ICE02 run 8 times per day from 21 February 2017
- COSMO-ICE02 run 3 times per day (06, 12, 18 UTC) in quasi-operational mode
- Several experiments (case study) were conducted with very high resolution version COSMO-ICE005

Near future plan

- To find optimal physics configuration for COSMO-ICE005
- To run both versions for the winter 2016-2017 period
- To verify obtained results using spatial verification methods also with the involvement of the radar data (additional

Система COSMO-Ru: области оперативного прогноза погоды



Расчетные области COSMO-Ru1 для Сочи и
COSMO-RuSib не показаны

План дальнейшей работы

1. Оперативная ICON-LAM

- ✓ новая физика,
- ✓ треугольная сетка,
- ✓ неравномерная сетка,
- ✓ вертикальная и горизонтальная телескопизация,
- ✓ законы сохранения,
- ✓ LES (Large Eddy Experiments)

2. Исследование с ICON

а) → → → → →

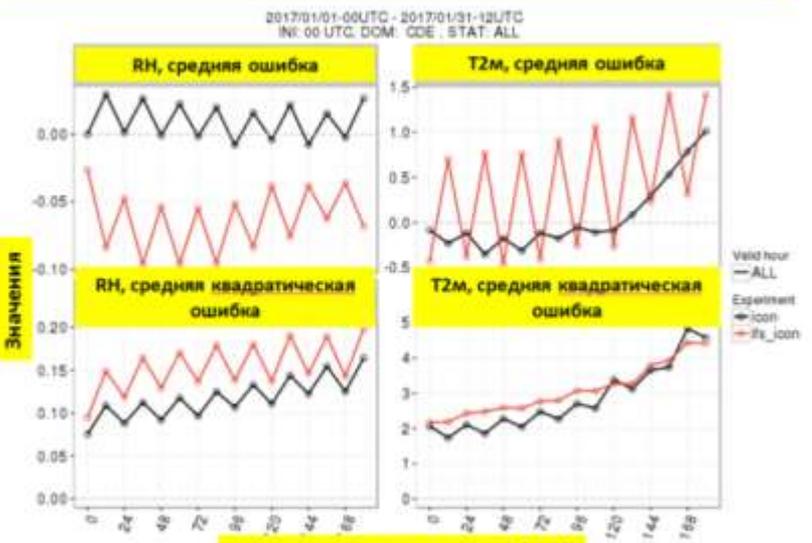
б) ¶

**IFS (ЕЦСПП) не всегда лучше, чем ICON (НСП),
RH (относительная влажность) и T2m, Центральная Европа, Декабрь 2016**



Заблаговременность прогноза (час.)
Красный цвет IFS (ЕЦСПП), черный ICON

**IFS (ЕЦСПП) не всегда лучше, чем ICON (НСП),
RH (относительная влажность) и T2m, Центральная Европа, Январь 2017**



Заблаговременность прогноза (час.)
Красный цвет IFS (ЕЦСПП), черный ICON

Русифицированный слайд из доклада Г.Цангля.

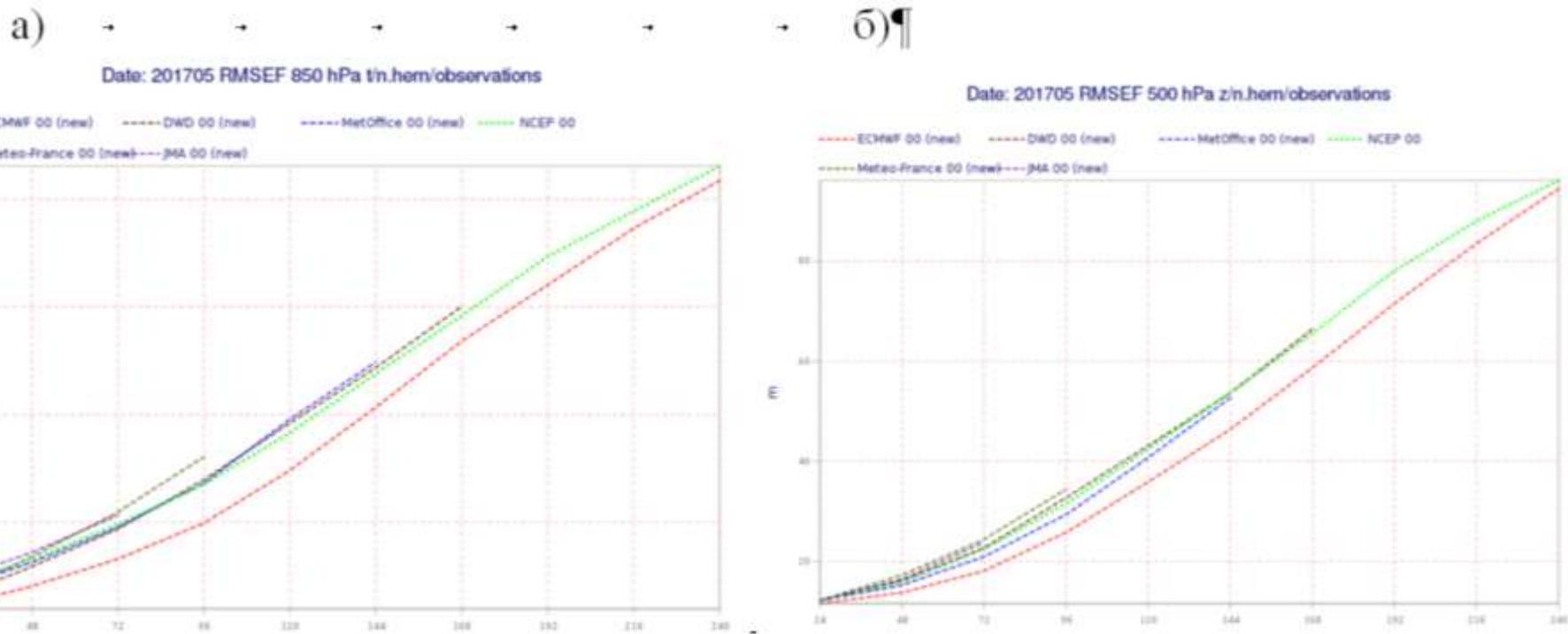
Zängl G., 2017

Recent model improvements and current status of the limited-area mode. – COSMO User Seminar, Offenbach, 07.03.2017

(http://www.dwd.de/EN/specialusers/research_education/seminar/2017/cosmo_user_2017/cosmo_user_2017_en_node.html).

Среднеквадратическая ошибка мультимодельного прогноза Т850 (а) и Н500 (б) для мая 2017 г.

<http://apps.ecmwf.int/wmolcdnv/scores/mean/>



Оценки для сравнения моделей, которые ведет ЕЦСПШ по линии ВМО, для Северного полушария для мая 2017 г. для всех 6 центров, которые собираются в дальнейшем проводить мультимодельный сезонный прогноз погоды.

Часть 4. ICON-LAM



ICON

Recent model improvements and current status of the limited-area mode



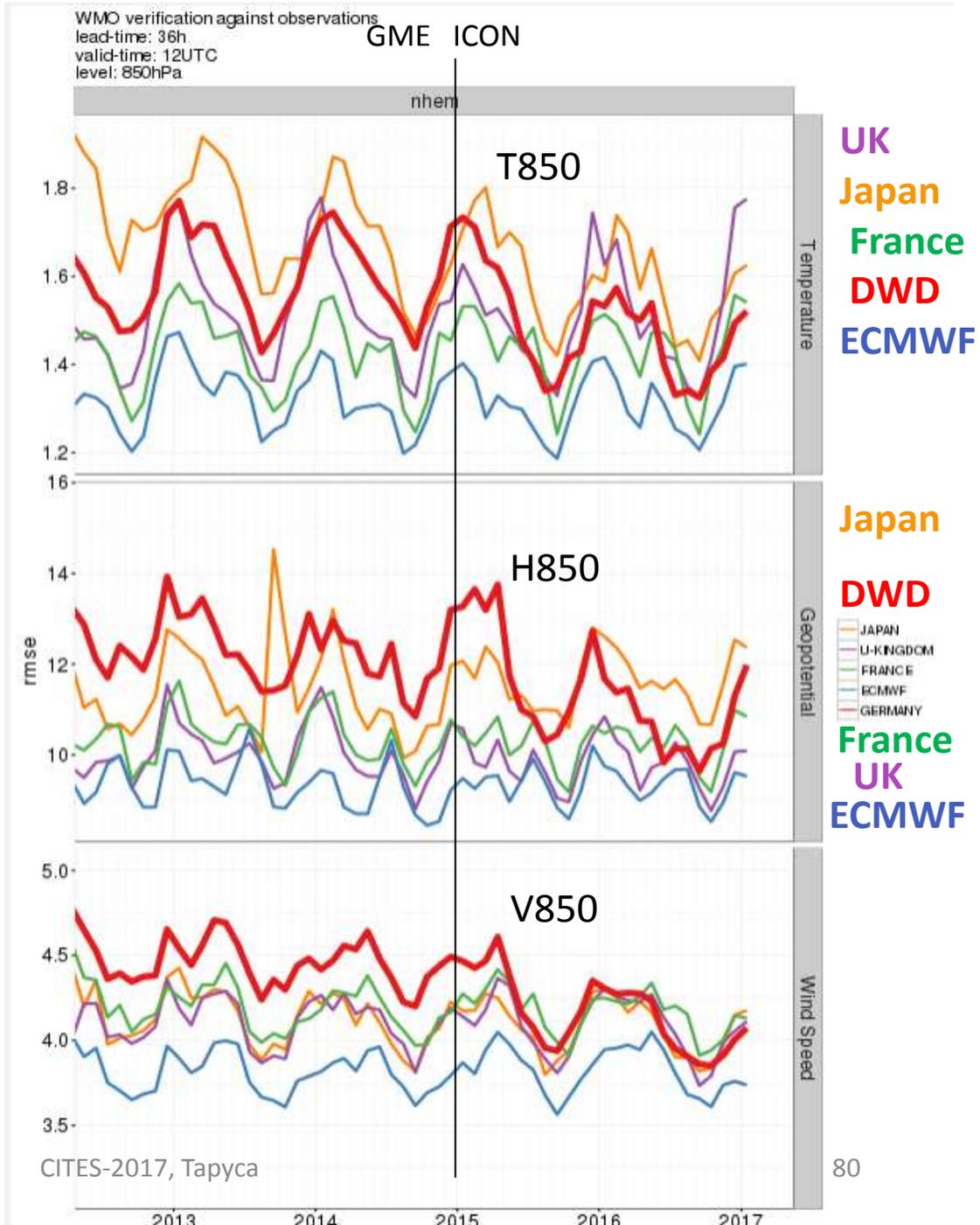
Günther Zängl, on behalf of the ICON development team

CCIA User Seminar, Offenbach, 07.03.2017

WMO verification against radiosondes

Comparison between DWD and other global NWP centers

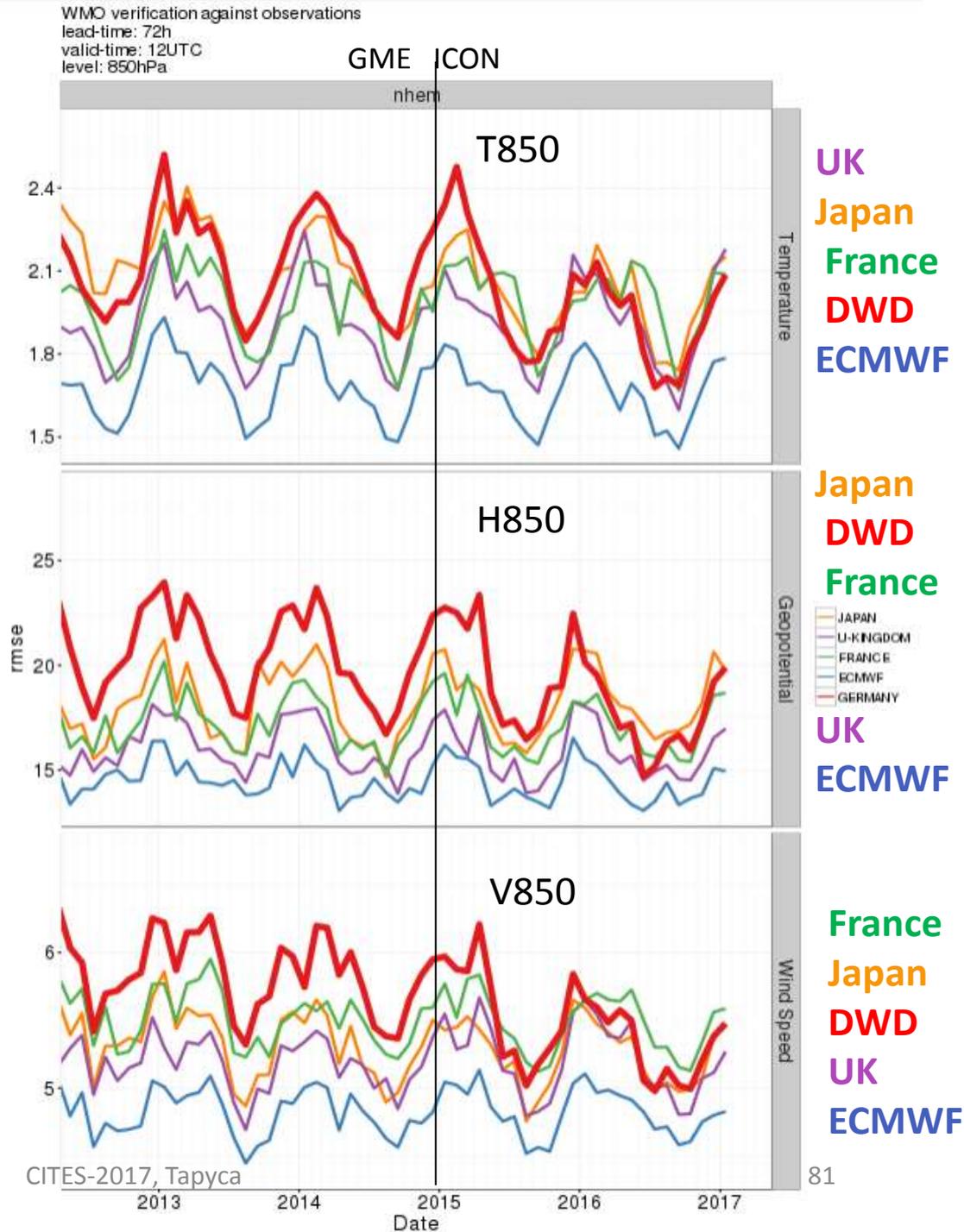
RMS errors of temperature, geopotential and wind speed at 850 hPa, lead time 36 h, northern hemisphere



WMO verification against radiosondes

Comparison between DWD and other global NWP centers

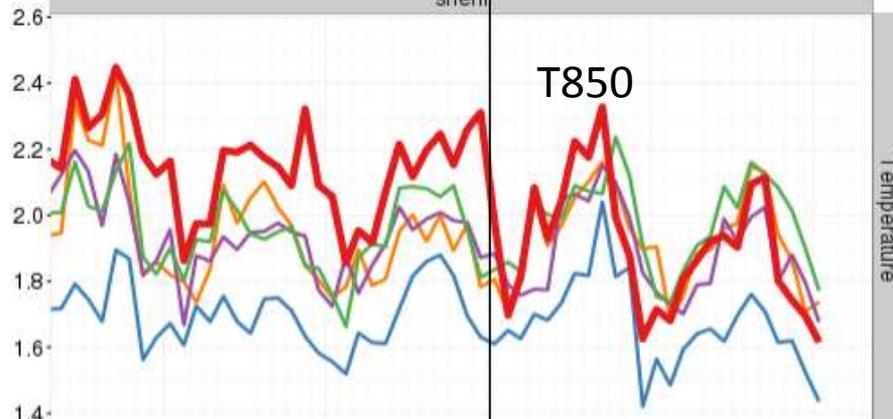
RMS errors of temperature, geopotential and wind speed at 850 hPa, lead time 72 h, northern hemisphere



WMO verification against observations
lead-time: 72h
valid-time: 12UTC
level: 850hPa

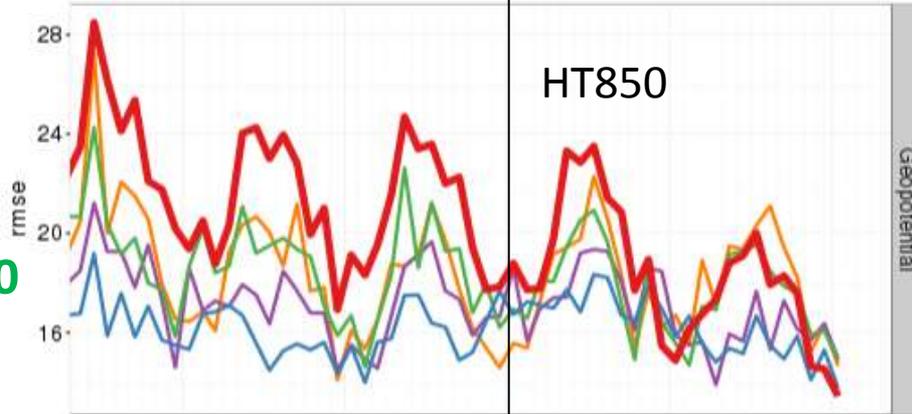
GME ICON

shem



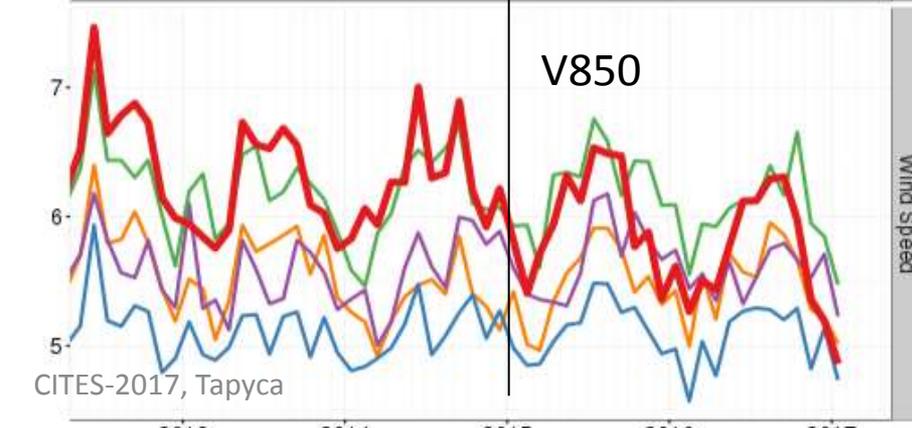
Temperature

France
UK
Japan
DWD
ECMWF



Geopotential

France
UK
Japan
U-KINGDOM
FRANCE
ECMWF
GERMANY
ECMWF
DWD



Wind Speed

France
UK
Japan
DWD
ECMWF

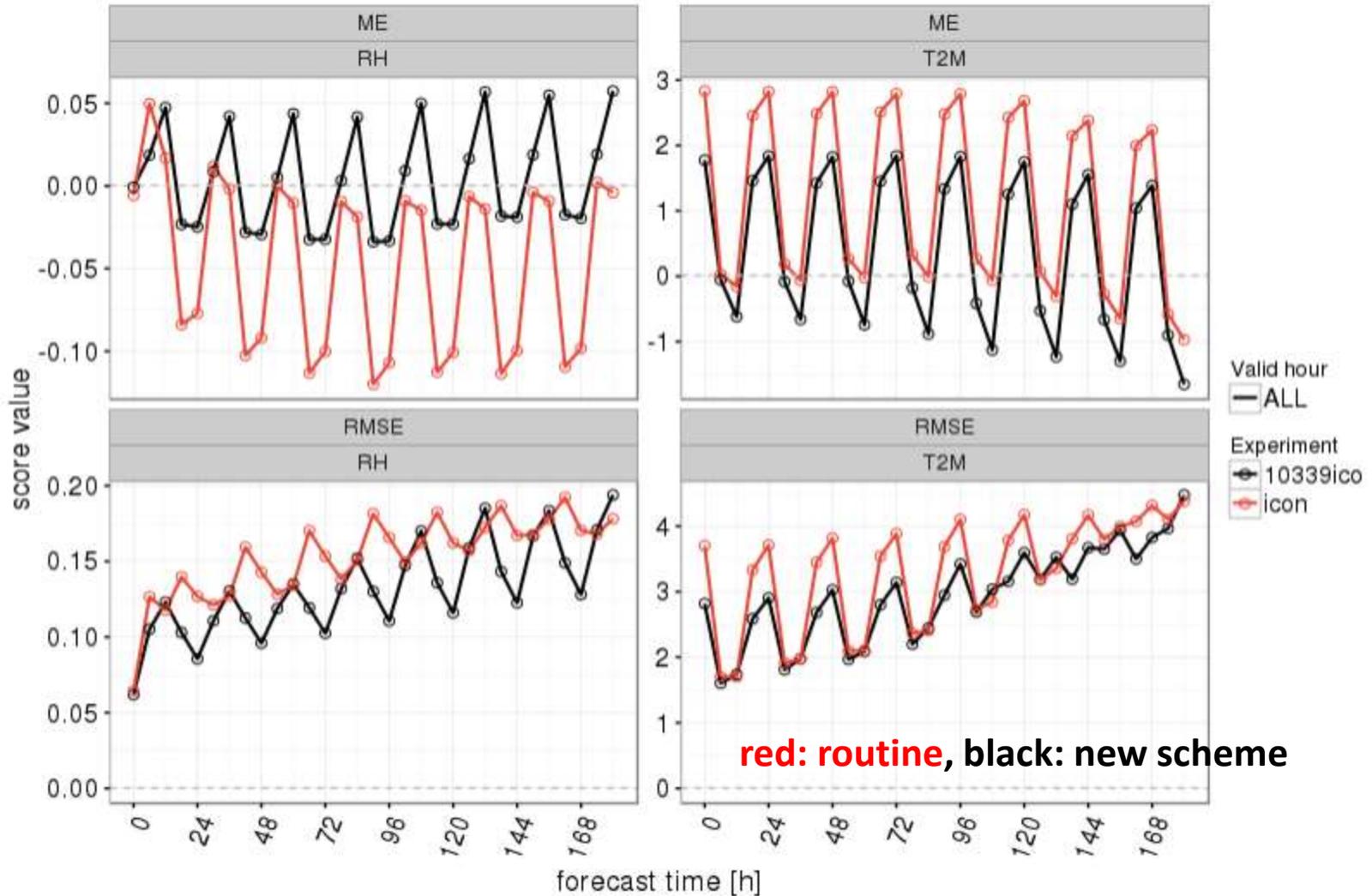
WMO verification against radiosondes

Comparison between DWD and other global NWP centers

RMS errors of temperature, geopotential and wind speed at 850 hPa, lead time 72 h, southern hemisphere

Impact of new bare soil evaporation scheme: RH and T @ 2m, SW-Siberia, September 2016

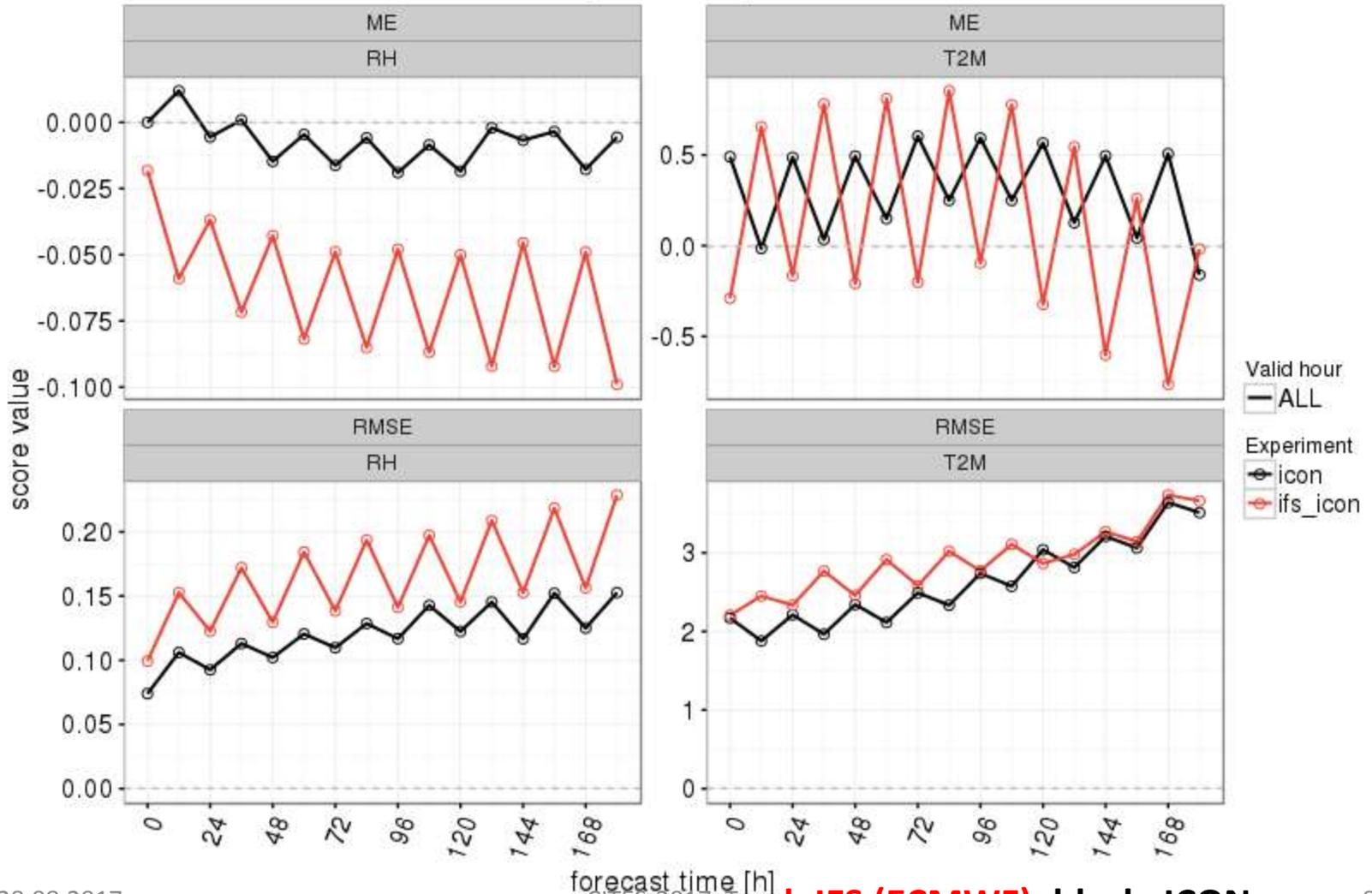
2016/09/01-00UTC - 2016/09/30-18UTC
INI: 00 UTC, DOM: S-W Siberia, STAT: ALL



ECMWF is not always better than ICON: and T @ 2m, Central Europe, December 2016

RH

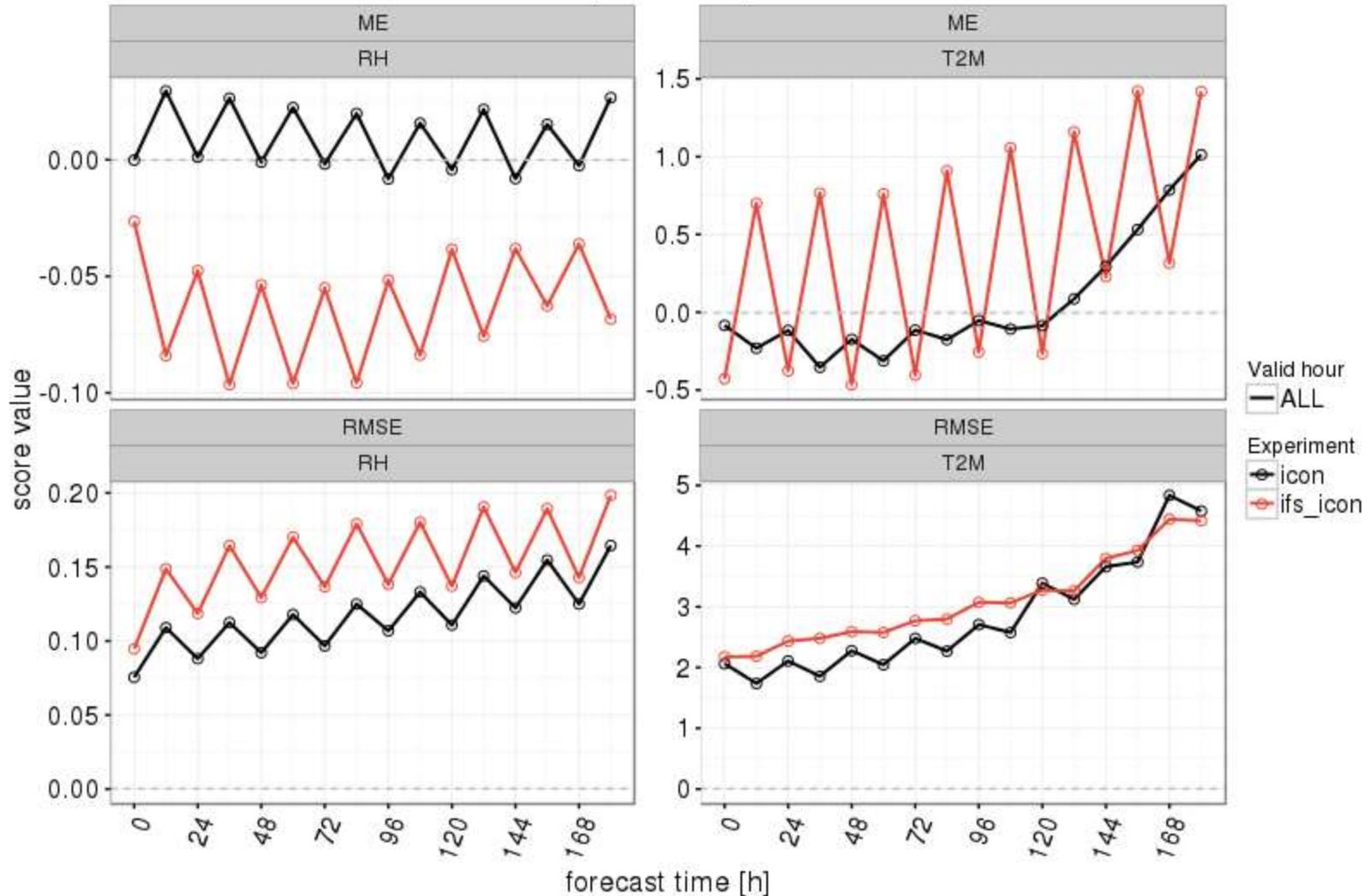
2016/12/01-00UTC - 2016/12/31-12UTC
INI: 00 UTC, DOM: CDE, STAT: ALL



ECMWF is not always better than ICON: and T @ 2m, Central Europe, January 2017

RH

2017/01/01-00UTC - 2017/01/31-12UTC
INI: 00 UTC, DOM: CDE, STAT: ALL



Status of ICON-LAM (limited-area mode)

technical aspects

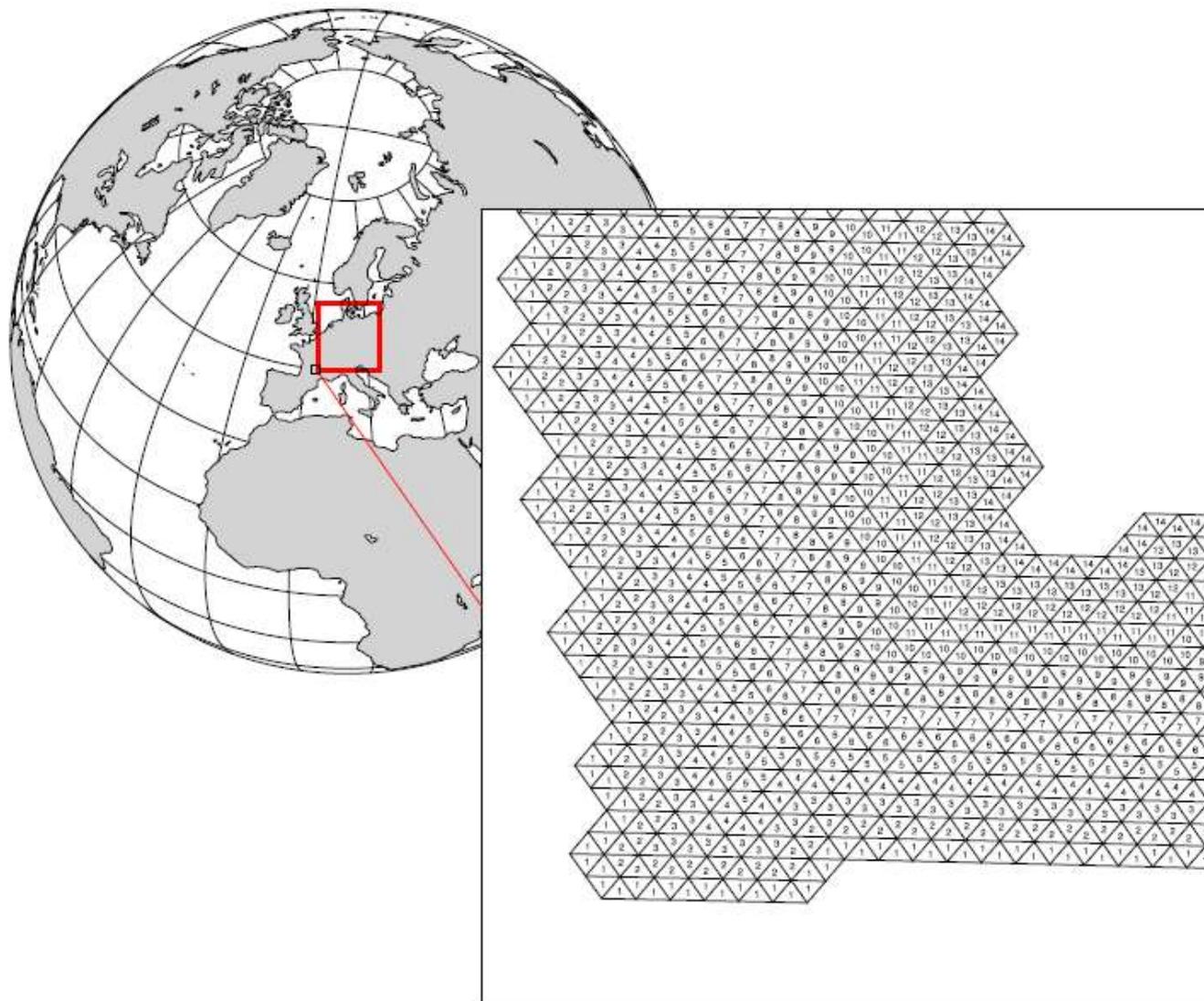
- Model grid needs to be precomputed with grid generator
- Preprocessing tool 'remapicon' executes only horizontal interpolation from source data to ICON grid
- Initial and boundary data from ICON, COSMO and IFS are supported
- Vertical interpolation is done within ICON; thus, changing the setup of the vertical grid does not require rerunning remapicon
- Boundary data can be read asynchronously with prefetching on a dedicated processor

Status of ICON-LAM (limited-area mode)

technical aspects

- **Boundary data can be restricted to stripes along the lateral boundaries, covering the interpolation and nudging zones (COSMO model always requires data for full domain)**
- **Apart from boundary data supply, the limited-area mode is technically nearly identical to one-way nesting, where boundary data are updated at each model time step**
- **This implies that no physics parameterizations are active in boundary interpolation zone; model output can be masked there**
- **Nesting (one-way or two-way) can be combined with limited-area mode**

Illustration of 'stripe-grid' used for supply with lateral boundary conditions



Status of ICON-LAM (limited-area mode)

data assimilation

- Unlike the COSMO-model, no built-in nudging data assimilation is available (3D-Var / EnKF DA is separate code package)
- Instead, the forward operators needed to couple ICON with KENDA will be provided by interfacing ICON with DWD's DACE (Data Assimilation Coding Environment)

Research application: HErZ NARVAL II

HD(CP)²

ICON-LAM (Initial state: ECMWF analysis; LBC: ECMWF forecast)
Convection over the tropical Atlantic ocean, 17 Aug 2016

Domain I: $\Delta = 2.48$ km; $\Delta t = 24$ s
<https://goo.gl/bYfiZT>

10°S to 20°N; 68°W to 15°E

Domain II (two-way nested): $\Delta = 1.24$ km; $\Delta t = 12$ s; 4°S to 18°N; 64°W to 12°E

75 model layers with model top at 30 km

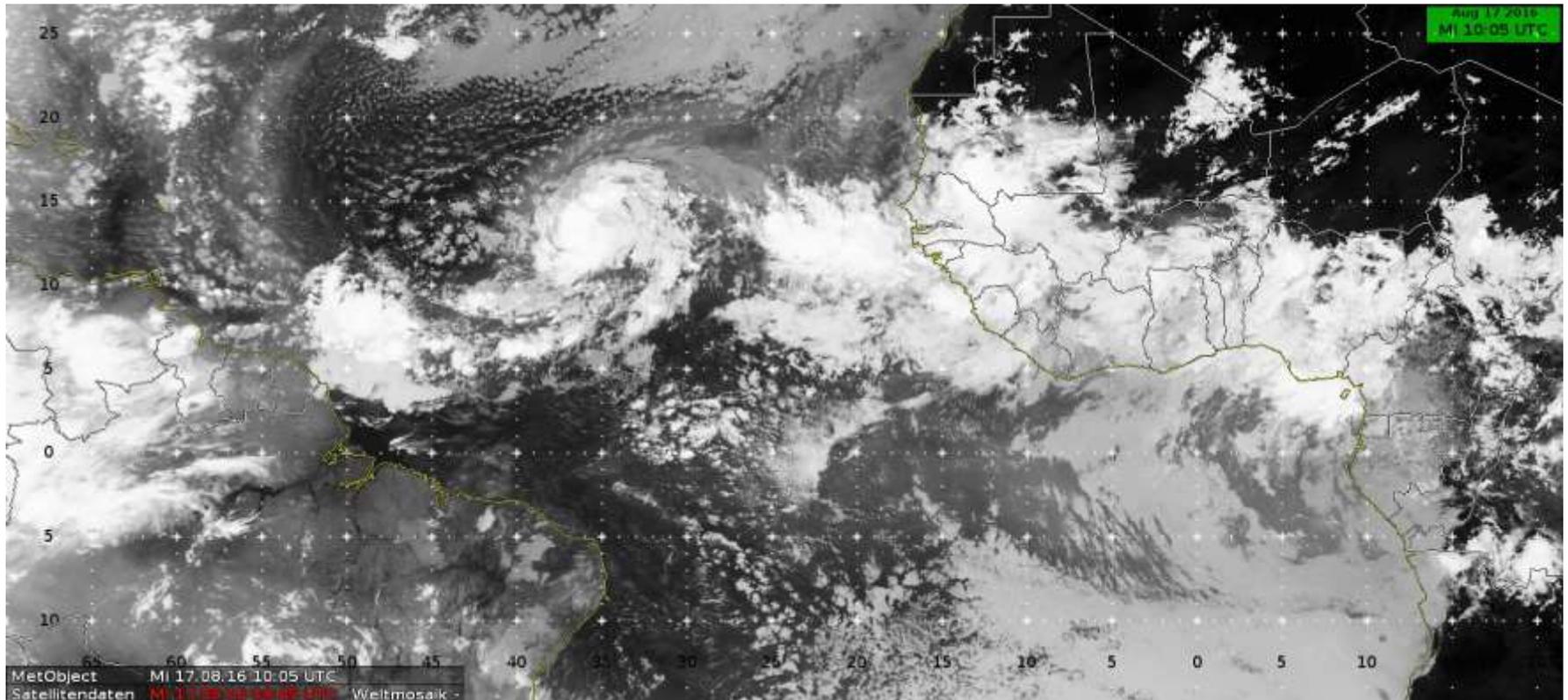
Model runs are performed at ECMWF on a Cray XC40;

Broadwell processors; 1440 MPI-processes, 12 threads; 17280 cores;

36-h forecasts in 5600 sec; 2 TByte output / run.

Daniel Klocke (DWD), Matthias Brueck (MPI-M)

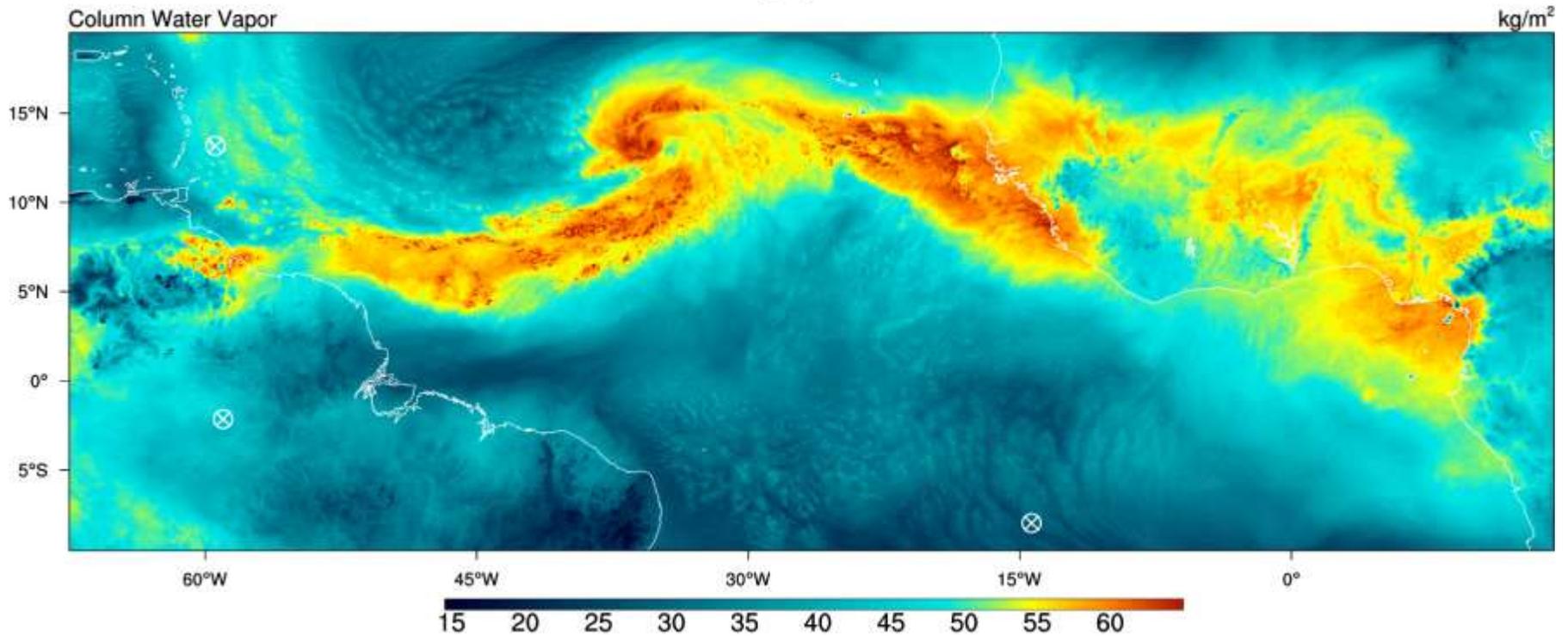
Tropical cyclone FIONA



Daniel Klocke (DWD), Matthias Brueck (MPI-M)

Tropical cyclone FIONA

ICON HErZ - NARVAL-II - HD(CP)² Simulations: 20160817 +10.0h

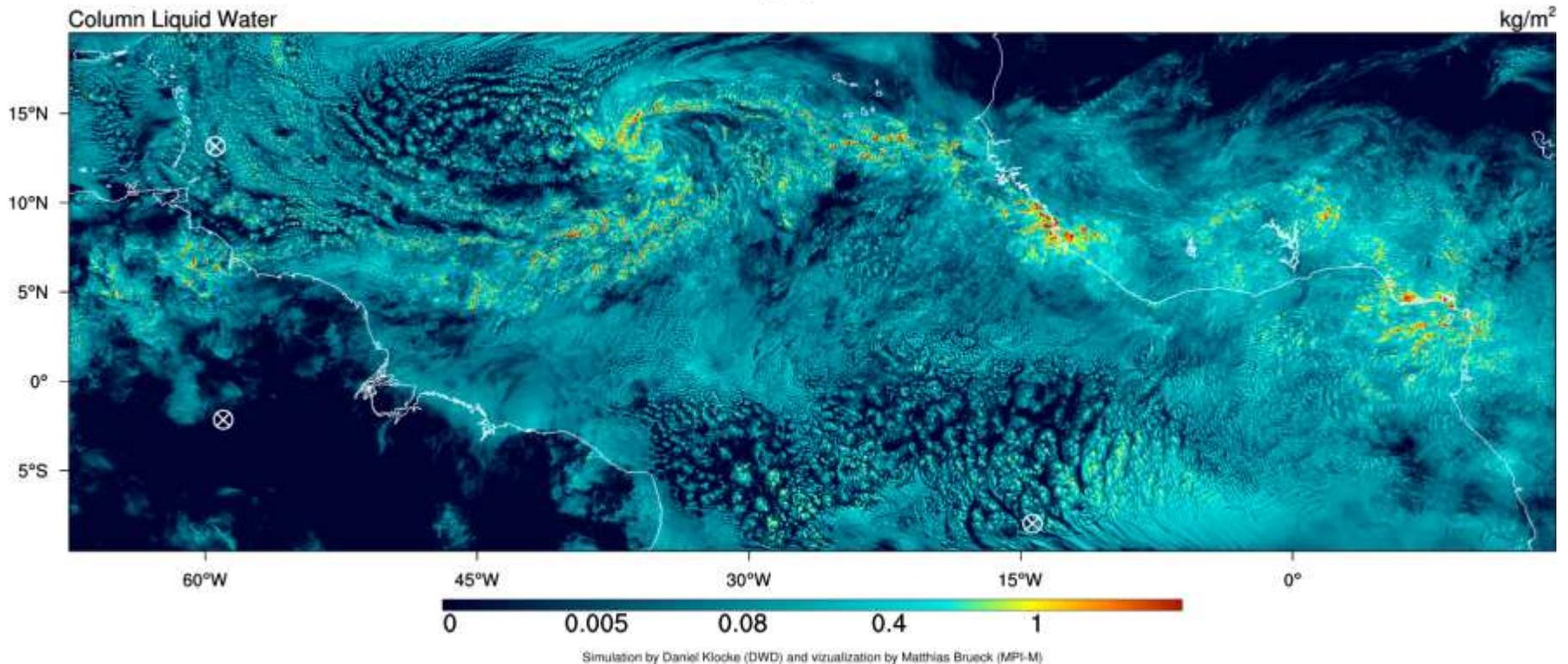


Simulation by Daniel Klocke (DWD) and visualization by Matthias Brueck (MPI-M)

Daniel Klocke (DWD), Matthias Brueck (MPI-M)

Tropical cyclone FIONA

ICON HERZ - NARVAL-II - HD(CP)² Simulations: 20160817 +10.0h

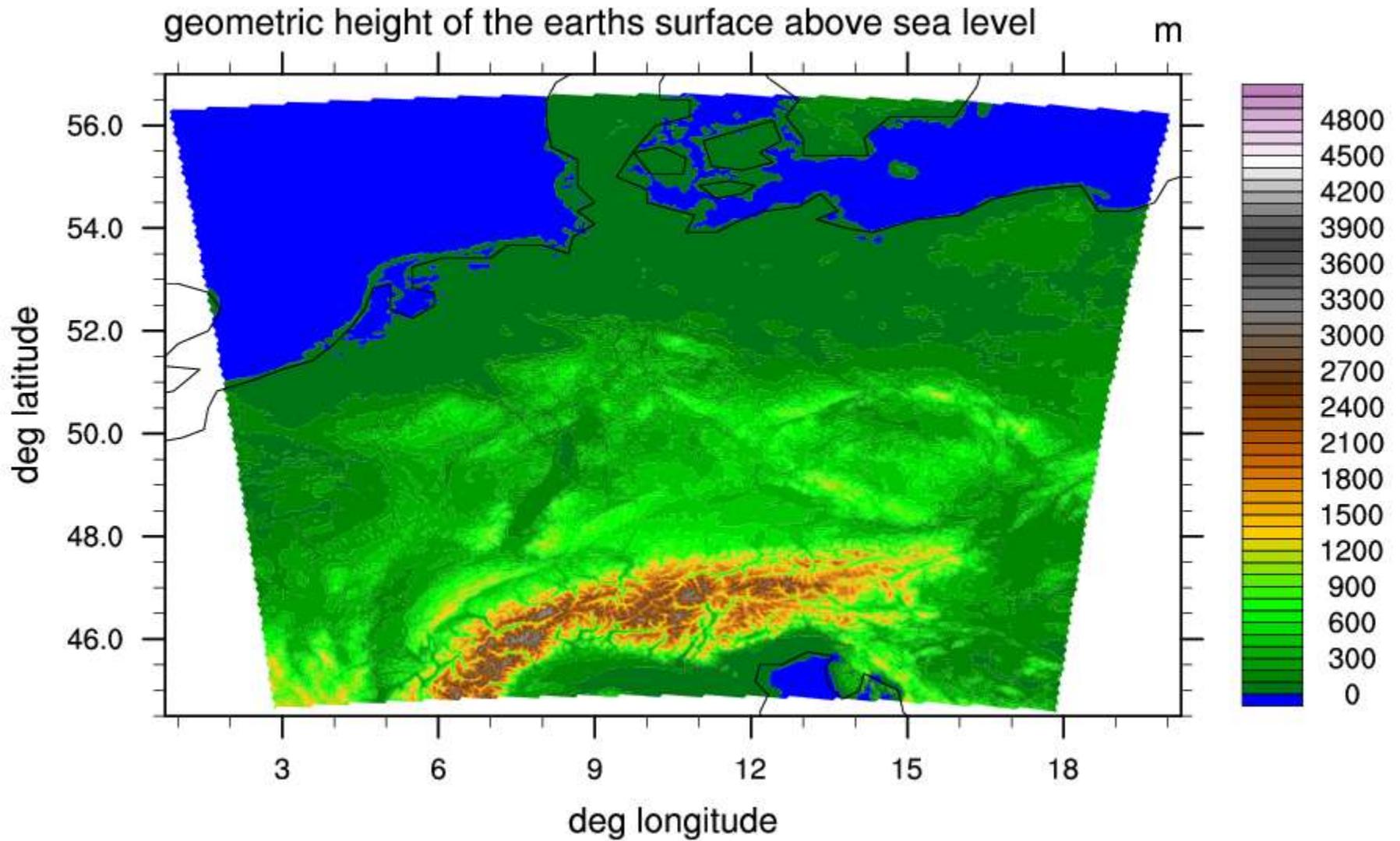


Daniel Klocke (DWD), Matthias Brueck (MPI-M)

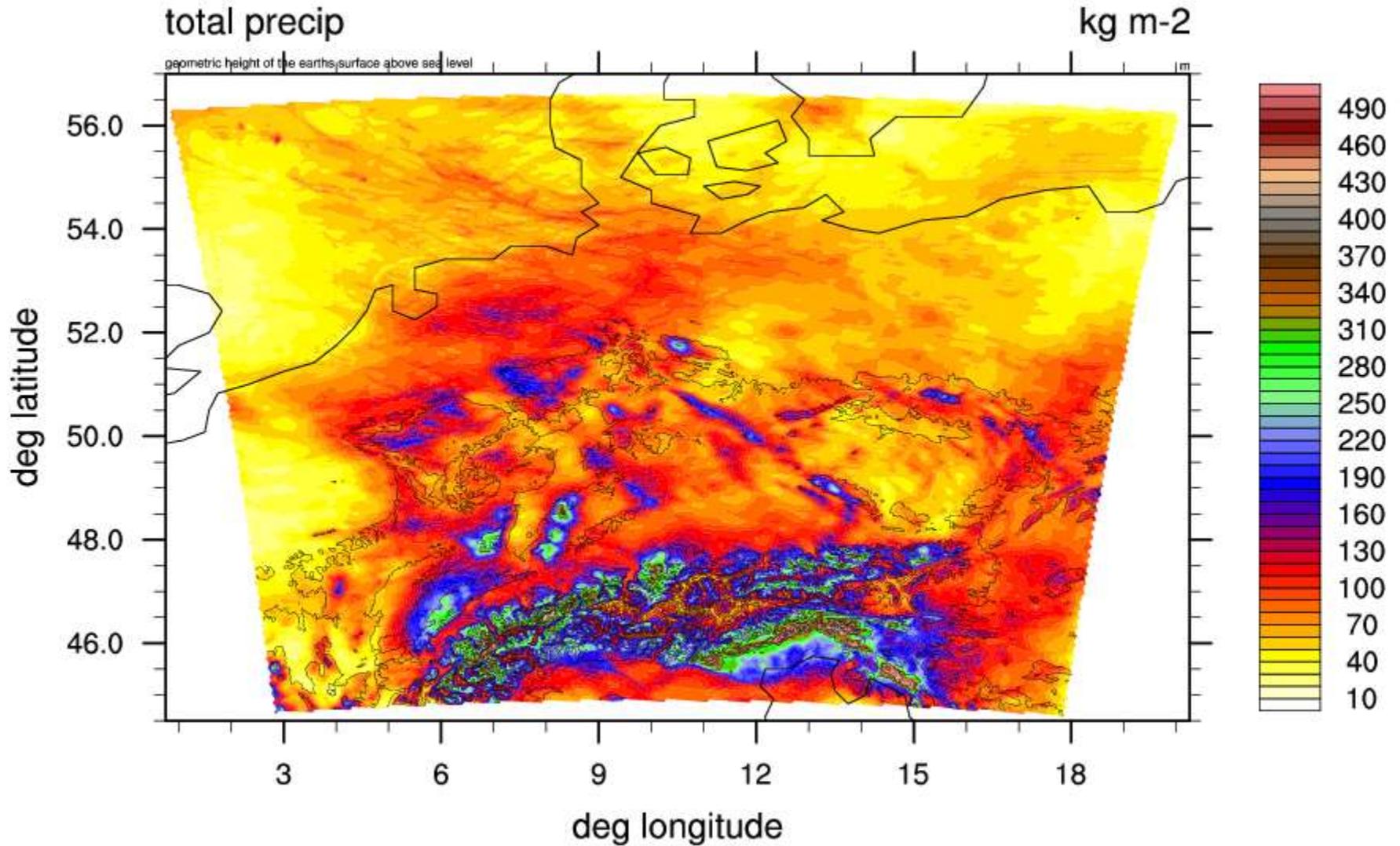
Comparison between 'ICON-DE' and COSMO-DE

- Hindcast experiment for February 2016, initialized with interpolated data from ICON-EU and driven with lateral boundary conditions from the ICON-EU assimilation cycle
- Mesh size 2.5 km for ICON, 2.8 km for COSMO-DE, domain configuration nearly identical to that of COSMO-DE
- Computing time about 70% of COSMO-DE despite slightly higher resolution

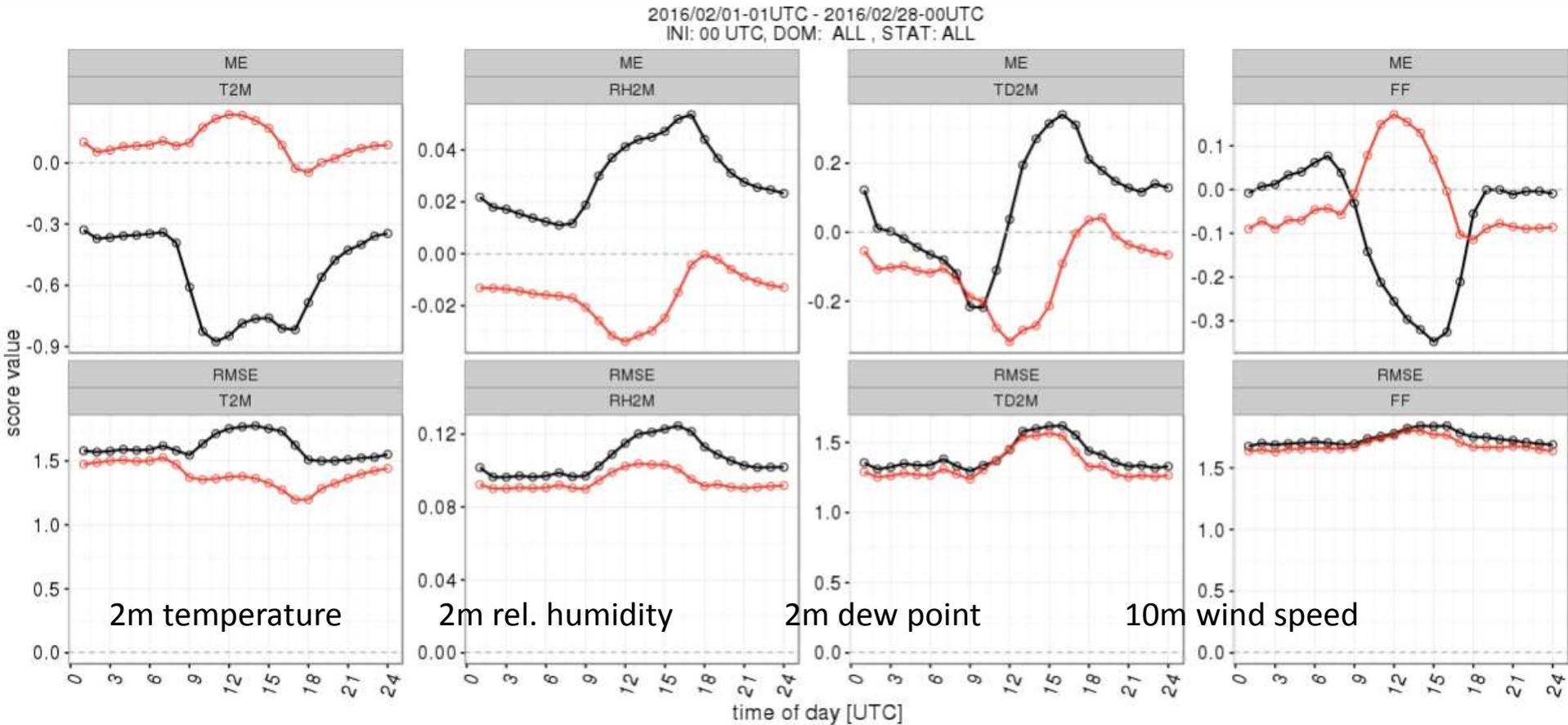
Model domain and orography



Accumulated precipitation (29 days, mm)



Hindcast experiment COSMO-DE vs. ICON-DE Surface verification for February 2016



Conclusions

- **ICON achieved a substantial improvement in forecast quality over GME**
- **ICON-LAM is ready for use without data assimilation (first training course was last week)**
- **First comparisons with COSMO-DE already indicate significant improvements, particularly for variables for which COSMO-DE is known to have weaknesses**



**Федеральная служба по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды**



ПРОГНОЗ ПОГОДЫ

**как задача физики, химии, математики, географии и биологии
(на примере моделей атмосферы и деятельного слоя
подстилающей поверхности
COSMO, COSMO-ART, ICON, ICON-ART и ICON-LAM)**

РИВИН Г.С.

**Зав. лабораторией численного прогноза погоды для ограниченной территории,
Гидрометцентр России**

Профессор кафедры метеорологии и климатологии МГУ им.М.В.Ломоносова

Спасибо за внимание !

Школа CITES 2017

28 августа 2017 г., 17.55-18.45 , Таруса

<http://www.scert.ru/ru/conference/cites2017/>