



Конференция, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова

**Система краткосрочного численного прогноза погоды
Гидрометцентра России
на основе российских глобальной и региональных конфигураций
бесшовной негидростатической модели нового поколения ICON**



**Ривин Г.С.^{1,2}, Астахова Е.Д.¹, Розинкина И.А.^{1,2}, Блинов Д.В.¹,
Копейкин В.В.¹, Бундель А.Ю.¹, Кирсанов А.А.¹, Чубарова Н.Е.^{1,2},
Шатунова М.В.¹, Алферов Ю.В.¹, Коспанов А.А.^{1,2}, Никитин М.А.¹,
Полюхов А.А.^{1,2}, Ревокатова А.П.¹, Шувалова Ю.О.¹ (12/3)**

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

19-21 ноября 2024 г., Москва. 14.30-14.55 мин



Академик Александр Михайлович Обухов и влияние его работ на современное развитие ЧПП



- 1. Обухов А.М.** Турбулентность и динамика атмосферы. Сборник статей. Л., Гидрометеиздат, 1988, 413 с.
- 2. Пограничный слой.** Монин А.С., **Обухов А.М.** Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // Труды ГЕОФИАН. 1954. № 24 (151). С. 163-187.
- 3. Решение уравнения адвекции**
Обухов А.М. О точности предвычисления адвективных изменений полей при численном прогнозе погоды // Изв. АН СССР, серия геофиз., 1957. № 9. С. 1133-1141.
- 4. Погода и турбулентность.**
Обухов А.М. Weather and turbulence. **Presidential address** – Publication **IAMAP**, №14, **1968**, p.102-107.
Обухов А.М. Погода и крупномасштабная турбулентность // Труды V Всесоюзного метеорологического съезда. Т. 2. Секция прогноза погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1972. С. 3-7.



Александр Михайлович Обухов,
5.05.1918 - 3.12.1989
Андрей Николаевич Колмогоров,
25.04.1903 - 20.10.1987



**Александр Александрович
Фридман**
16.06.1888 – 16.09.1925



**Николай Евграфович
Кочин**
19.05.1900 – 31.12.1944



**Илья Афанасьевич
Кибель**
16.10.1904 – 5.09.1970



**Екатерина Никитична
Блинова**
07.12.1906 – 15.12.1981



**Александр Михайлович Обухов,
5.05.1918 - 3.12.1989**
**Андрей Николаевич Колмогоров,
25.04.1903 - 20.10.1987**



**Андрей Сергеевич
Монин**
02.07.1921 - 22.09.2007



**Гурий Иванович
Марчук**
8.06.1925 – 24.03.2013

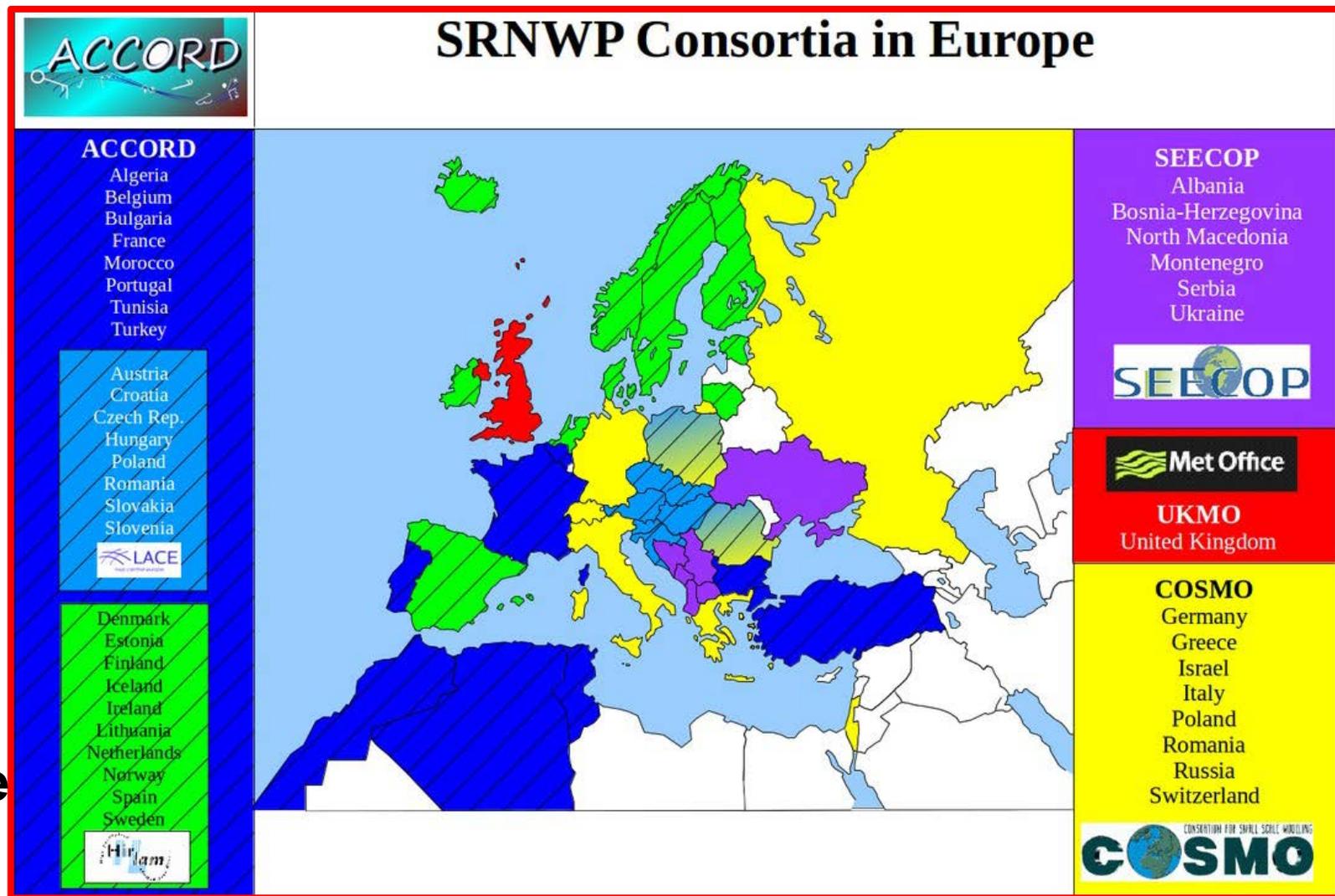
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ПОГОДЫ: ВКЛАД СОВЕТСКИХ И РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ В МИРОВУЮ НАУКУ



ТЕНДЕНЦИЯ развития современных оперативных систем ЧПП

- ❑ **ТОЛЬКО суперкомпьютеры** используются для оперативных ЧПП: в **июньском 2024 г.** списке TOP500 самых быстрых суперкомпьютеров для ЧПП из **200** первых суперкомпьютеров используются **21 (каждый 10-й!)**.
- ❑ **Открытость кодов** моделей ЧПП (**ICON (30.01.2024)**), IFS, WRF и MPAS).
- ❑ Проведение ЧПП (глобального и для ограниченной территории) с **помощью совместных моделей атмосферы, деятельного слоя суши и океана.**
- ❑ **Бесшовность** и, как следствие, использование **одной оперативной модели** атмосферы и окружающей среды для всех заблаговременностей и областей прогнозирования.
- ❑ Работа в ЧПП с **большими данными (big data)**: если синоптик 1 сек будет просматривать каждое значение одного поля прогноза температуры на всех уровнях модели COSMO-Ru6ENA, то ему понадобится **более 2-х лет!**
- ❑ **Создание больших коллективов** для разработки новых моделей атмосферы и окружающей среды на основе **многодисциплинарных** исследований.
- ❑ **Применение равномерных сеток** типа треугольных или квадратных на основе вписанных в сферу правильных многогранников.

- ✓ Сейчас в Европе Met Office и 3 консорциума: **ACCORD**, **COSMO** и **SEECOP**.
- ✓ Развитие модели **COSMO** прекращено на версии **6.6**, т.к. моделью консорциума **COSMO** стала **негидростатическая модель прогноза погоды и климата ICON**.
- ✓ В настоящее время Росгидромет приостановил свое участие в работе консорциума **COSMO** (COnsortium for Small-scale Modeling).





Современный оперативный ЧПП Характеристики (в основном на 1 января 2023г.)

01.01.2023v3	Глобальный ЧПП, шаг сетки, уровни	Региональный ЧПП, шаг сетки, уровни
ECMWF	IFS: ~9 км; TCo1279 L137 + океан 0.25 ⁰	0.5 ⁰ - 55 км -----
MetOffice Великобритания	UM: 10 км, 70 ур., + океан 0.25 ⁰ , конечно-разностная	0.5 ⁰ - 55 км UM: 1.5 км, 950x1025x70,
DWD Германия	ICON: 6.5 км над Европой, 13 км вне; 120 ур.	13 км ICON: 6.5 км Европа x 74, ICON-De: 2.1 км, Германия x 65,
СМС, Канада	GEM: 15 км; 84 уровня, сетка Yin-Yang	GEM: 10 км, 1108x1082x84 + океан 0.09 ⁰ GEM: 2.5 км, 2582x1332x84
СМА, Китай	GRAPES-GFS: 16 км, 90 уровней	GRAPES-MESO: 3 км, 2251x1501x70
Росгидромет Россия	SLAV: 10 км (0.08-0.12) ⁰ x 0.11 ⁰ , 104 уровня (с октября 2023 г.)	COSMO-Ru: 6.6 км, 2000x1000x40, COSMO-Ru: 2.2км, 1200x1400x50, Москва–1.0км COSMO-Ru: 1 км, 200x200x50 Сочи– 1.1км
NCER, США	GFS_fv3: 13 км, 127 уровней 0.25 - 27 км	12 км, 935x 835x60; 3 км, 1827x1467x60, 1189x1249x60, 373x561x60, 401x325x60; 1.5 км, 333x 333x60.
Meteo France	TL1798c2.2: от 5 – до 24 км (ЗапЕвропа – вне), 105 ур.	ALARO: 1.3 км, 1536x1440x90;
JMA, Япония	GSM; 13 км, TG959, 128 уровней (до 0.01 гПа) (с марта 2023 г.)	MSM: 5 км, 817x661x76 до 22 км; LSM: 2 км, 1581x1301x76 до 20 км.
KIM, Ю. Корея	KIM (Korean Integrated Model) + UM: 10 км, 70 ур.	1.5 км, 1188x1148x70



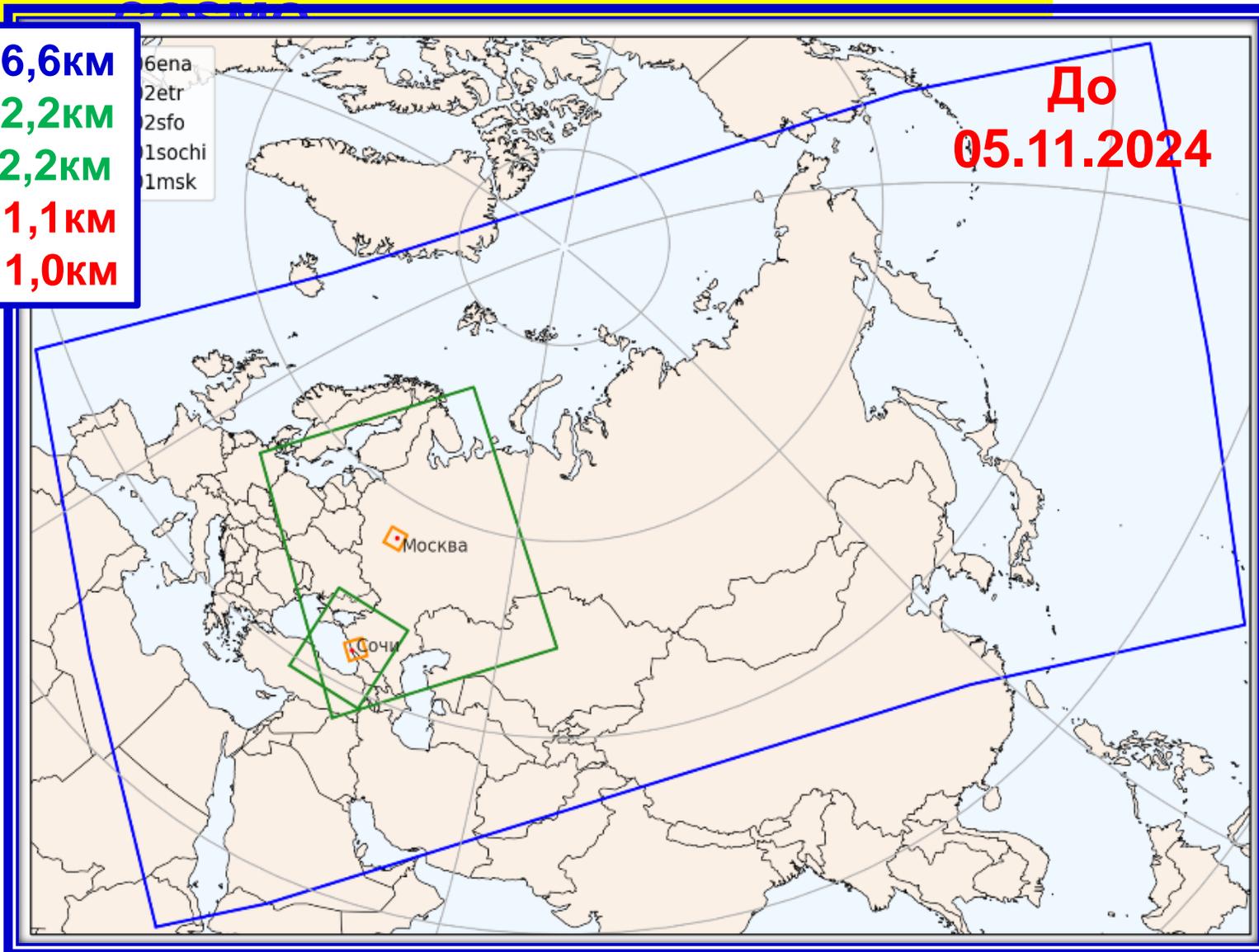
Области прогноза оперативных российских конфигураций COSMO-Ru модели



COSMO-Ru6ENA: 2000 × 1000 × 40; 6,6км
COSMO-Ru2By: 1200 × 1400 × 50; 2,2км
COSMO-Ru2SFO: 420 × 470 × 50; 2,2км
COSMO-Ru1Sochi: 190 × 190 × 50; 1,1км
COSMO-Ru1Msk: 200 × 200 × 50; 1,0км

Прогнозы 4 раза в сутки выпускаются в цифровом и графических (карты, графики) видах для Федеральных округов России и Республики Беларусь: в сутки карты ≈ 5000 карт и 1000 метеограмм

COSMO-Ru2By:
1200 × 1400 × 50; 2,2 км до 48 ч
Ветвь сверхкраткосрочных (до 18 ч)
ЧПП каждые 3 часа.
Включено усвоение радарных данных





Российские специалисты принимали активное участие в работе консорциума COSMO. Совместно с коллегами были усовершенствованы следующие блоки:

Формирования и эволюции снежного покрова

Переноса солнечной радиации и учета аэрозольных примесей

Параметризации городских территорий

Расчеты оценок для верификации ансамблевых прогнозов

Формирование возмущений для ансамблевых систем

Защитили диссертации

1. Алферов Дмитрий
2. Быков Филипп
3. Казакова Екатерина
4. Кирсанов Александр
5. Полухов Алексей
6. Ревокатова Анастасия
7. Шувалова Юлия
8. Чурюлин Евгений

Подготавливают

1. Блинов Денис
2. Борисов Данил
3. Шишов Андрей

Значительный вклад был внесен в развитие методов верификации и апробации конфигураций с шагом 1 км, включая создание системы численного прогнозирования для метеообеспечения Сочи-2014 и Москвы (2019), поиска оптимальных решений при разработке систем усвоения данных, развития схемы турбулентного перемешивания в приземном слое.



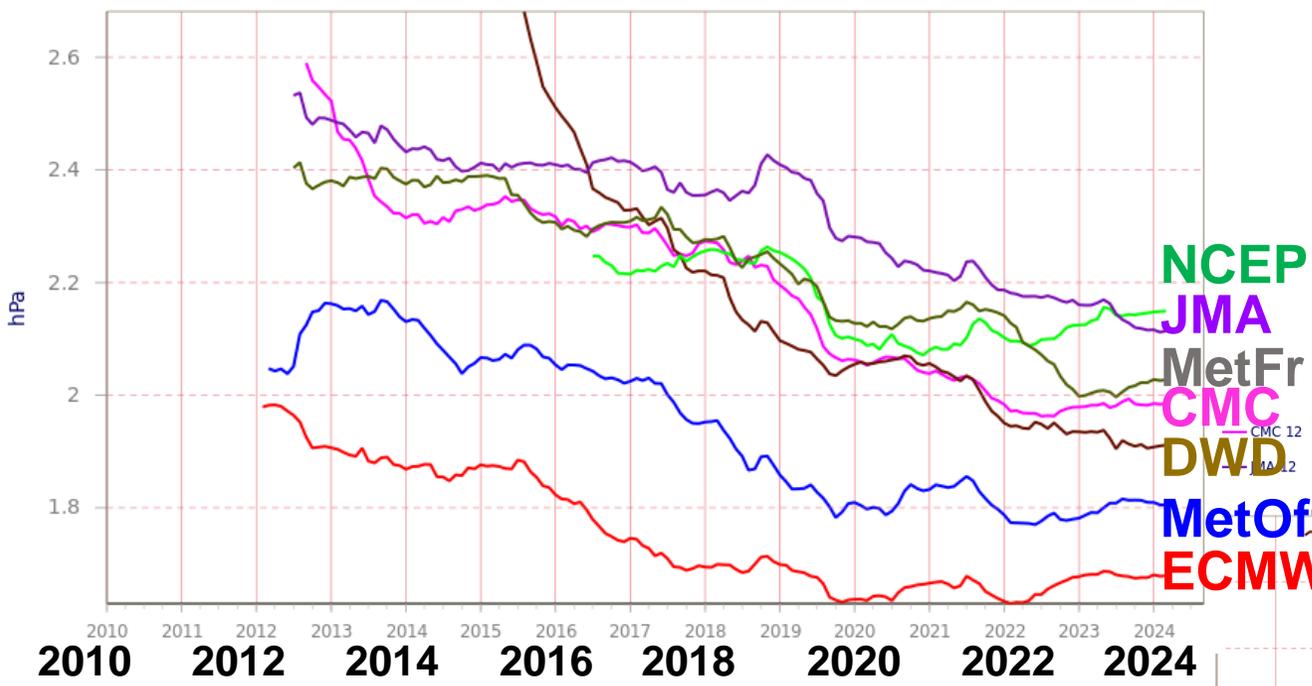
<https://wmo1cdnv.ecmwf.int/>



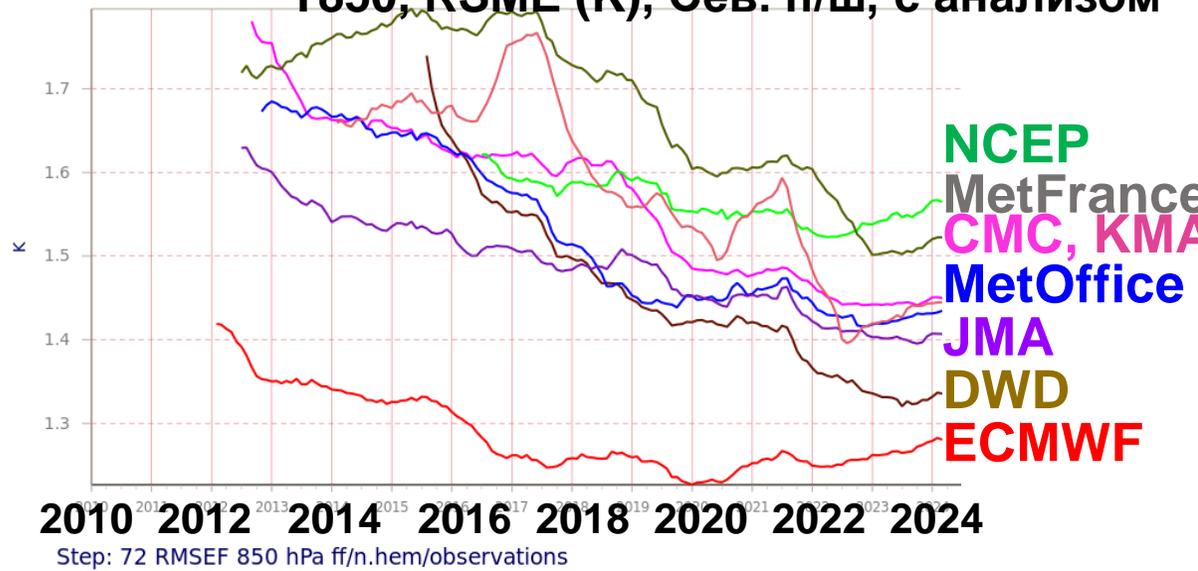
Оценки ЧПП-72 на 03.11.2024

Psea, RSME (hPa), 72 час, Сев. п/ш, с анализом

Step: 72 RMSEF/msl/n_hem/analysis
Legend: CMC 12, ECMWF 12, DWD 12, MetOffice 12, NCEP 12, Meteo-France 12, JMA 12



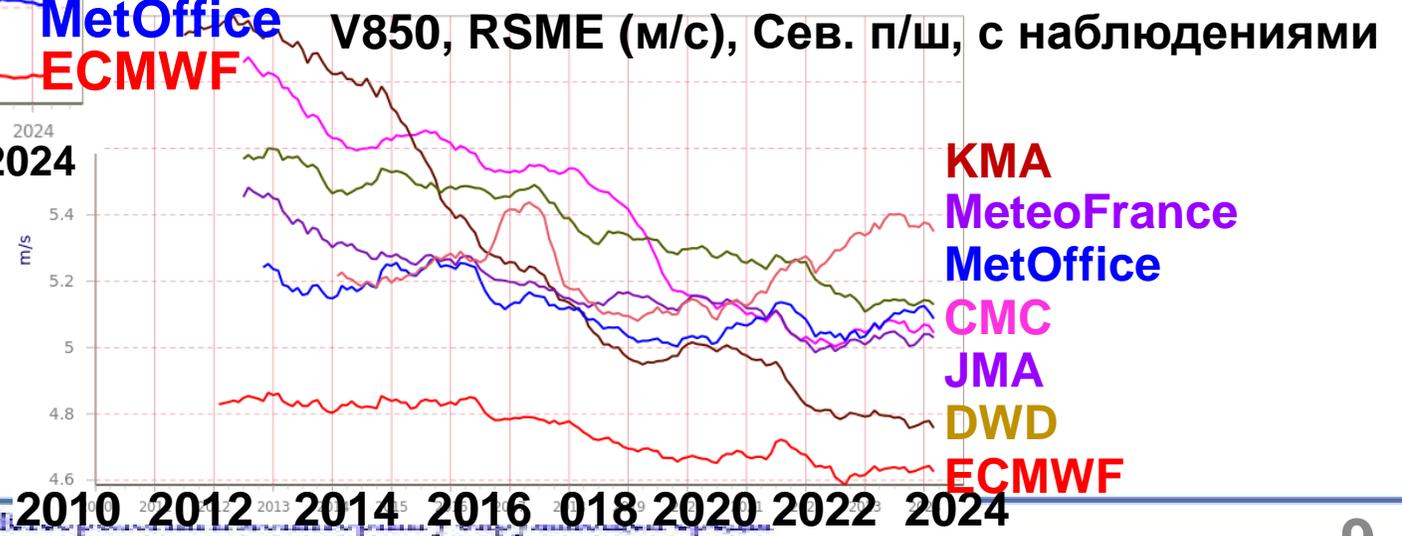
Step: 72 RMSEF 850 hPa t/n.hem/analysis
T850, RSME (K), Сев. п/ш, с анализом
Legend: CMC 12, ECMWF 12, DWD 12, MetOffice 12, NCEP 12, Meteo-France 12, JMA 12, KMA 12



2010 2012 2014 2016 2018 2020 2022 2024
Step: 72 RMSEF 850 hPa ff/n.hem/observations

Legend: ECMWF 12, DWD 12, MetOffice 12, Meteo-France 12, KMA 12

V850, RSME (м/с), Сев. п/ш, с наблюдениями

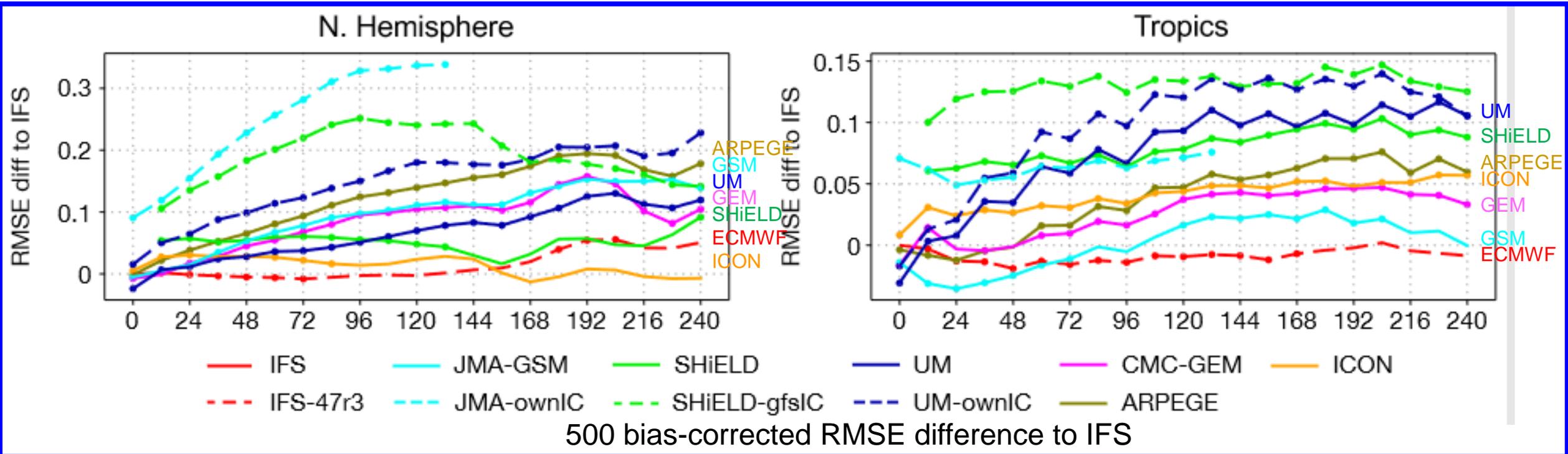




Сравнение оперативных моделей среднесрочного ЧП при одинаковых начальных данных



L. Magnusson et al. Skill of medium-range forecast models using the same initial conditions // BAMS, 2022. 31 p. DOI 10.1175/BAMS-D-21-0234.1



From article: "4. Discussion and conclusions.

... Among the models the IFS showed the lowest RMSE for most parameters and regions. The result could be partly because we expected the lowest initialization shock from IFS. The second best performing model was for most parameters ICON, and that model had the lowest RMSE for z500 in the medium-range over S. Hemisphere ..." (p. 23).

МОТИВАЦИЯ необходимости краткосрочного **ГЛОБАЛЬНОГО ЧПП** на базе российских конфигураций **ICON-Ru** глобальной модели **ICON**

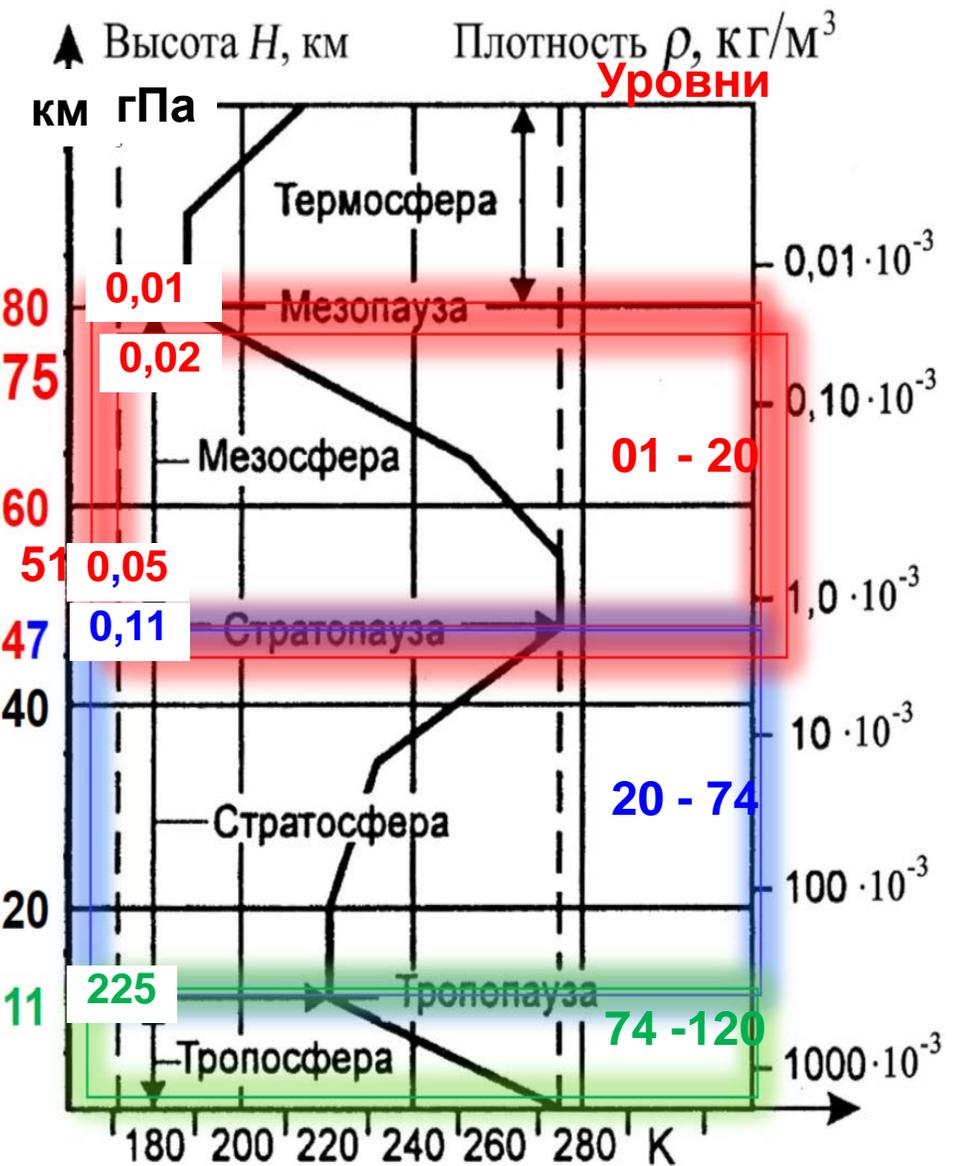
В настоящее время модель ICON согласно оценкам ЕЦСПП по сравнению качества всех оперативных глобальных моделях, выполняемых по заданию ВМО, прочно вошла в состав лучших оперативных атмосферных моделей мира, причем по некоторым позициям является лучшей в мире. Кроме того, она является ЕДИНСТВЕННОЙ в мире оперативной негидростатической моделью атмосферы с двухсторонней телескопизацией, применяемой одновременно в климатических исследованиях и в оперативной практике как модель ЧПП практически во всех странах-членах консорциума COSMO.

Оценка объемов передач в течении одних суток необходимых начальных данных и боковых **ТРЕХЧАСОВЫХ граничных условий для COSMO-Ru6ENA – 60 Гб, необходимых начальных данных для ICON-Ru13N29 – 20 Гб, т.е в 3 раза меньше! Время передачи данных для одного срока для COSMO-Ru6ENA равно 60 мин, а начальных **ГЛОБАЛЬНЫХ** данных для ICON-Ru13N29 5 мин, т.е в 12 раз меньше.**

ВЫВОД. Проведение глобальных краткосрочных ЧПП по конфигурации ICON-Ru13/6N29 позволит значительно уменьшить нагрузку на каналы связи и использовать **ЕЖЕЧАСНЫЕ боковые условия для любой территории!**

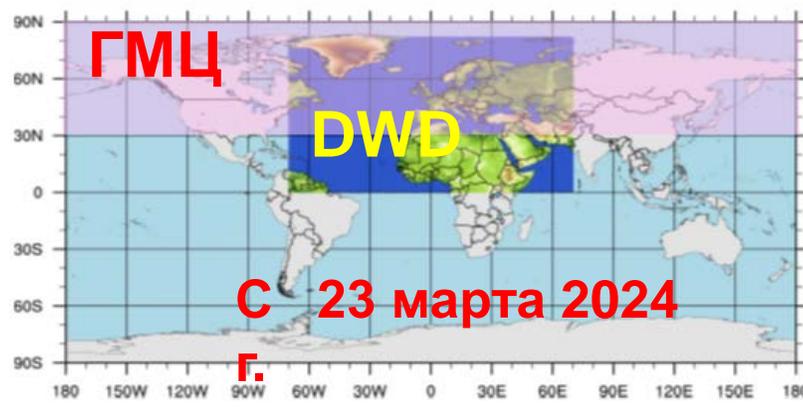
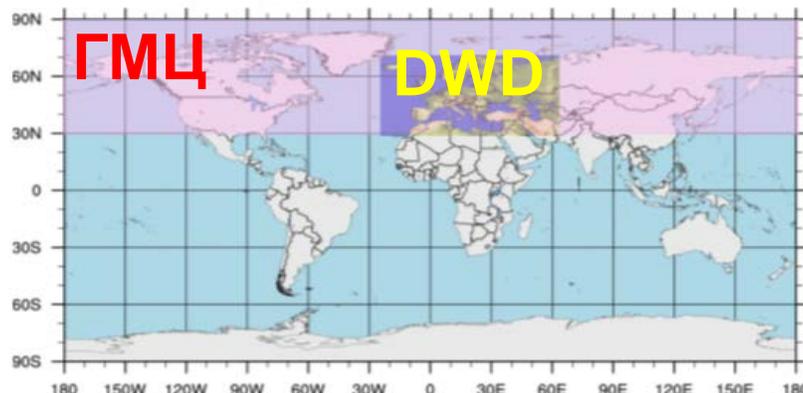


Конфигурация ICON-Ru13/6N29 со 120 уровнями модели ICON



ICON-Ru13: глобальная, 120 уровней до 75 км, шаг сетки 13 км, 5760 ядер, ЧПП на 120 ч \approx 20 мин.

ICON-Ru13/6N29: глобальная, 120 уровней, шаг сетки 13 км с вложенной подсеткой с шагом 6,5 км на 74 нижних уровнях севернее параллели 29° с.ш., 5760 ядер, ЧПП на 120 ч за 55 мин.



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Research and Development at DWD

DWD Database Reference for the Global and Regional ICON and ICON-EPS Forecasting System

Version 2.3.0

D. Reinert, F. Prill, H. Frank, M. Denhard, M. Baldauf, C. Schraff, C. Gebhardt, C. Marsigli, J. Förstner, G. Zängl and L. Schlemmer

Версия 2.3.0. 2024

Offenbach am Main, 2024



Разность прогнозов по всем узлам сетки с шагом 13 км на 78 час (05.10.2024.00 – 08.10.2024.06) по российской ICON-Ru13 и немецкой ICON-De13 конфигурациям модели ICON

Оценка Центра ВМО по верификации глобальных ЧПП для северного полушария на 72 час H500 зарубежных ведущих метеослужб по данным наблюдений (<https://wmoicdnv.ecmwf.int/>).

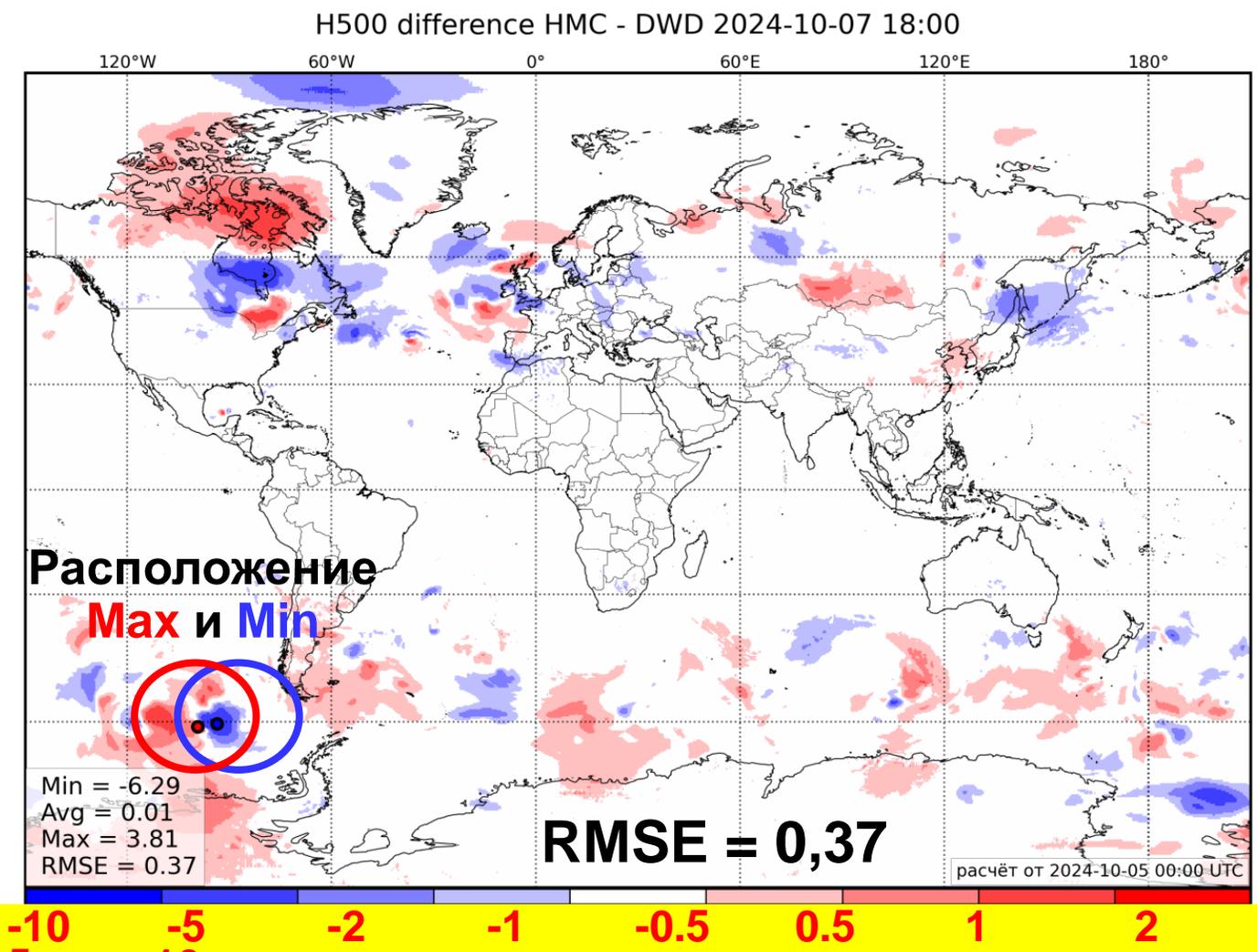
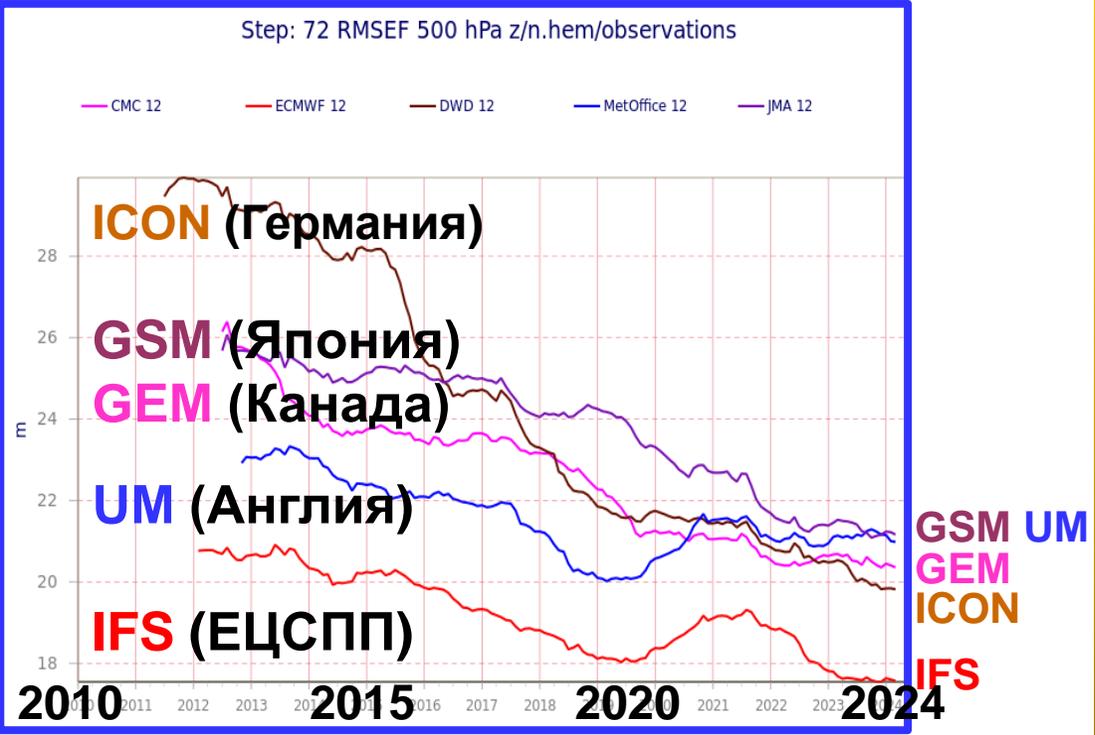




График изменения абсолютной ошибки прогноза Tz в зависимости от заблаговременности.
Регион: Россия (оценка по сетке 0,5° x 0,5°). Исходный срок: 00 ч ВСВ.

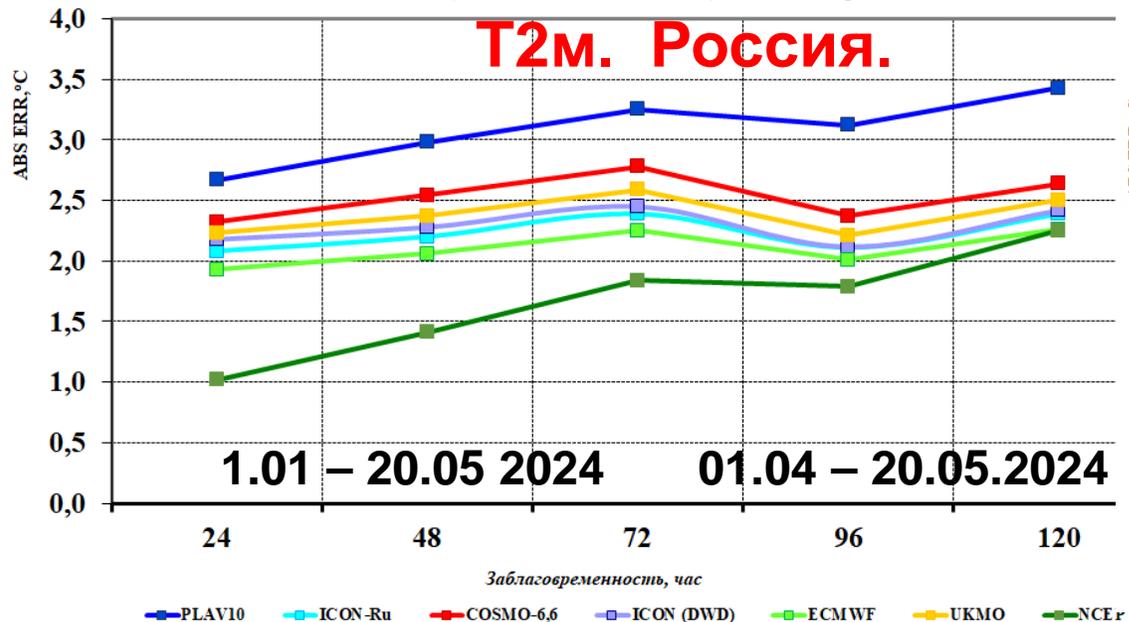


График изменения абсолютной ошибки прогноза Tz в зависимости от заблаговременности.
Регион: Европа (оценка по сетке 0,5° x 0,5°). Исходный срок: 12 ч ВСВ.

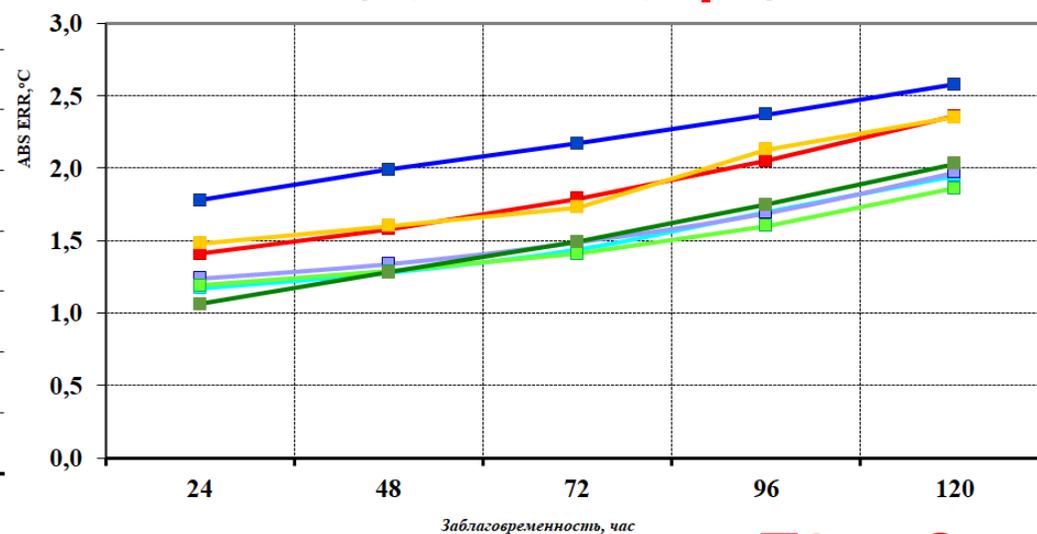
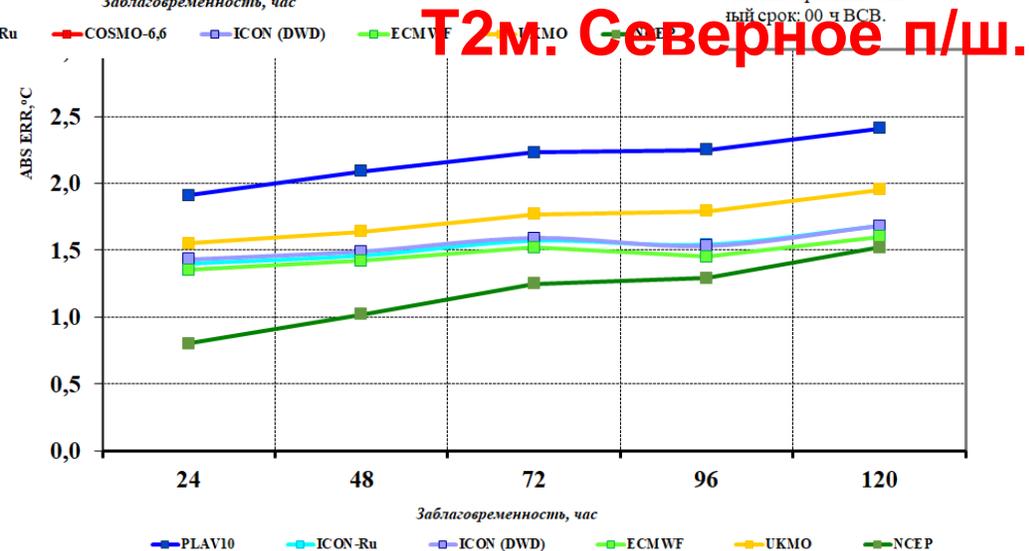


График изменения абсолютной ошибки прогноза Tz в зависимости от заблаговременности.
Исходный срок: 00 ч ВСВ.





ICON-Ru13/6N29, 120 уровней: качество и оперативность



Оперативность системы COSMO-Ru/icon(120 уровней)

ICON-Ru13 (глобальная, шаг сетки 13км).
2880 ядер, прогноз на 120 ч за 37 мин.

ICON-Ru6/13N29 (глобальная, шаг сетки 6,5 км
для севернее параллели 29,5°
с.ш., и 13 км южнее 29,5° с.ш.)

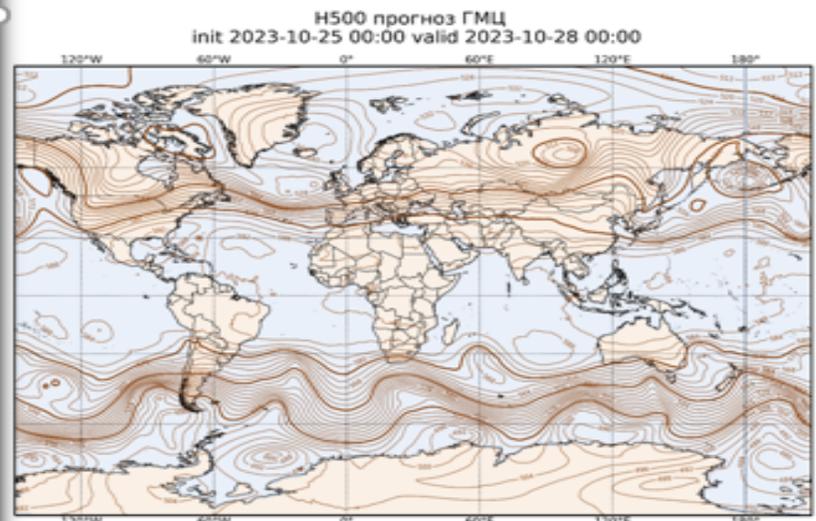
2880 ядер, прогноз на 72 ч за 64 мин.;
5760 ядер, прогноз на 120 ч за 55 мин.

ICON-Ru13
сентябрь 2023,
Европа: качество
72 час прогнозов
H500 системы
COSMO-Ru/icon

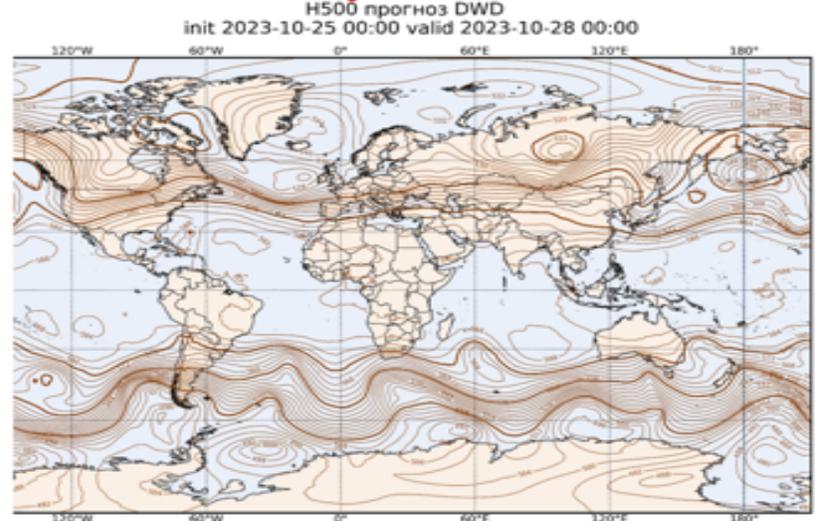
	H500	RMSE
zabl	DWD_12	RU_12
12	0,65	0,70
24	0,77	0,79
36	0,93	0,98
48	1,17	1,21
60	1,44	1,49
72	1,80	1,82

2023101500-20231018:

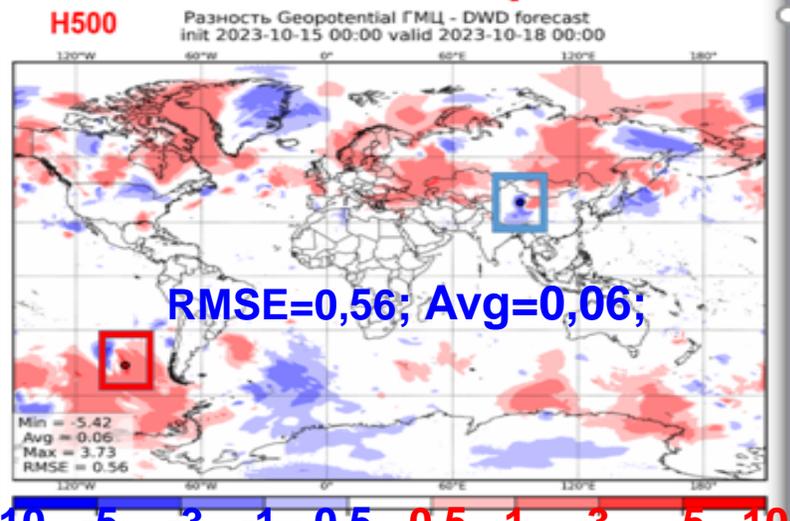
прогноз H500 на 72 час ГМЦ, DWD и разность



ГМЦ



DWD



RMSE=0,56; Avg=0,06;

$-5,42 \leq \text{ГМЦ-DWD} \leq 3,73$

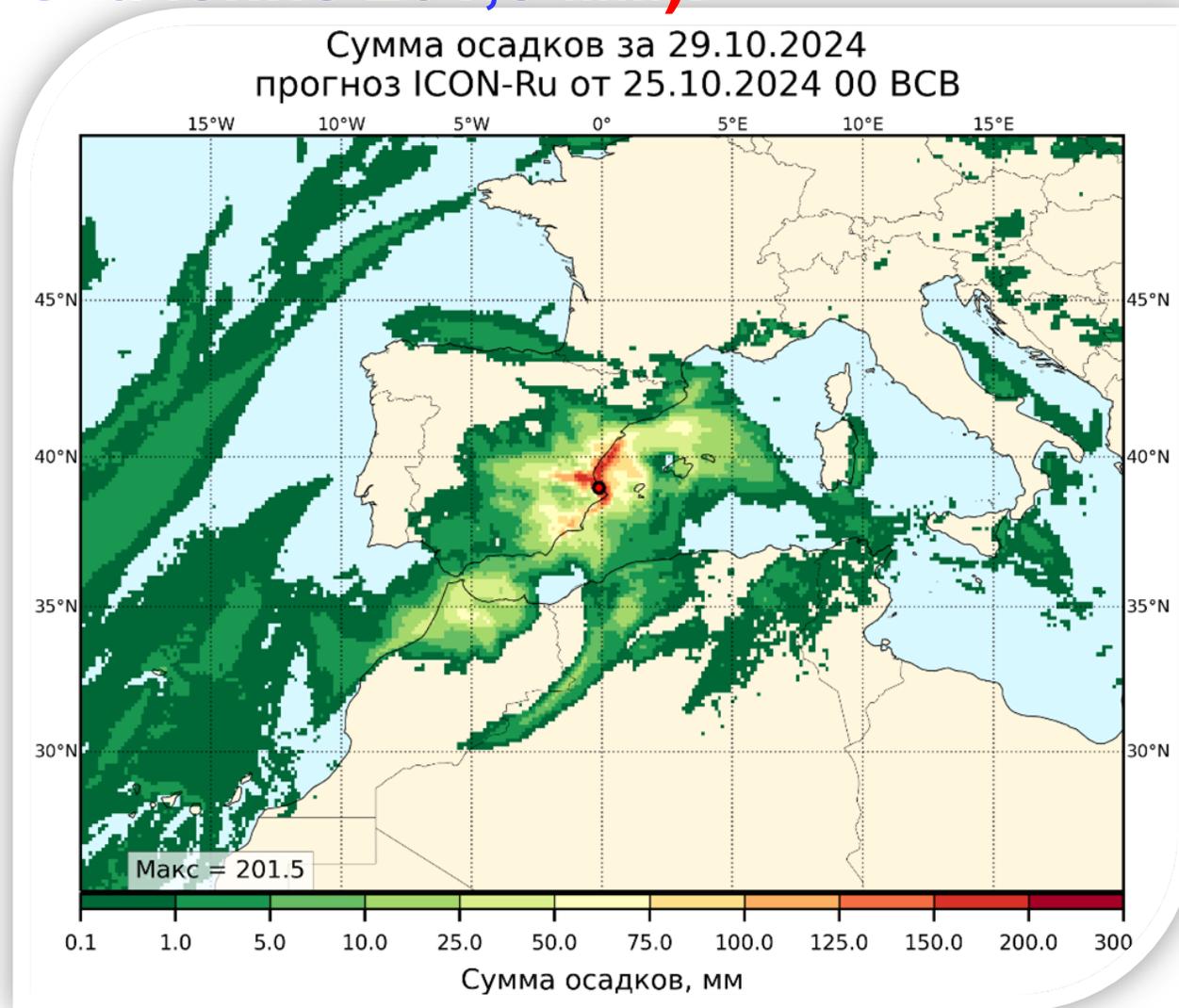


5-суточный глобальный прогноз ICON-Ru13/6N29. Суточные осадки 29.10.2024 над территорией Испании (максимальное значение 201,5 мм).



Больше всего пострадал регион Валенсия, во многих местах выпало более 300 мм осадков (л/м²). 29/30 октября на метеостанции **в Чиве** зафиксирована сумма 491 мм (л/м²) всего за восемь часов — **эквивалент годовой нормы осадков**, согласно информации АЕМЕТ — Agencia Estatal de Meteorología – национальной метеослужбе Испании.

<https://meteoinfo.ru/novosti/99-pogoda-v-mire/20601-silnye-livni-vyzvali-razrushitelnye-navodneniya-v-ispanii>



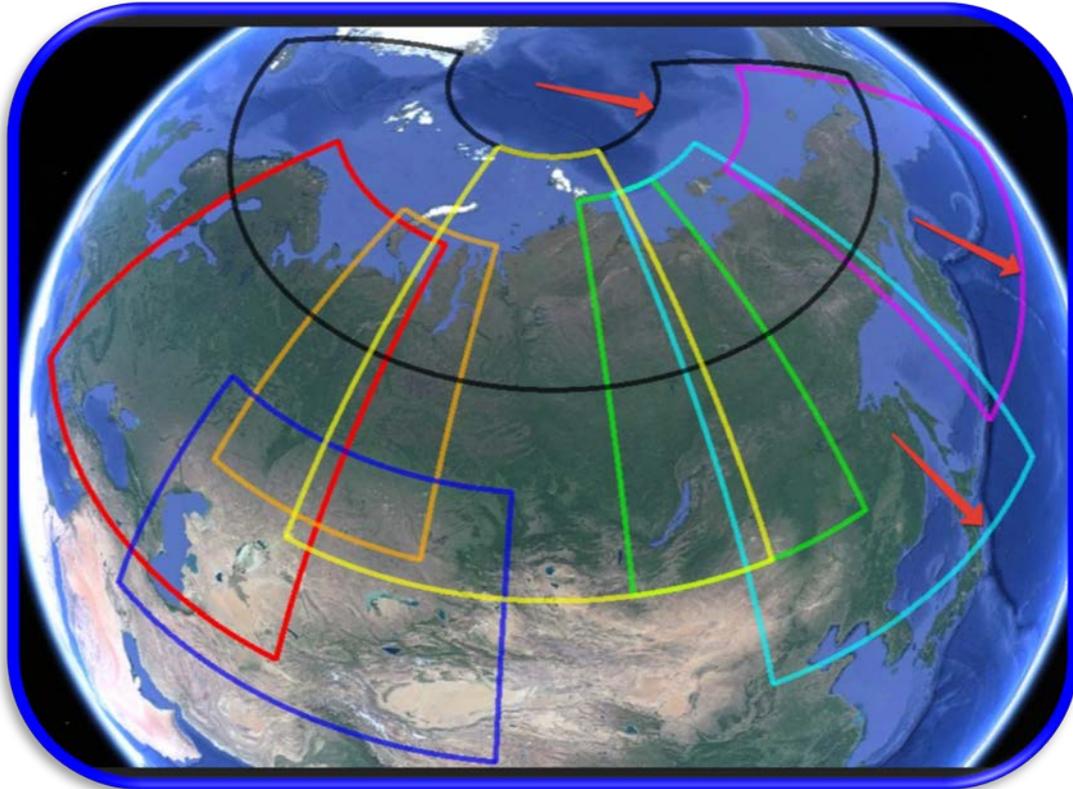
Глобальные краткосрочные ЧПП ICON-Ru13/6N29 на 5 суток на суперкомпьютере «РОсгидромет»

1. удовлетворяют принятому в мировой практике ограничению 1 час (ЧПП на 5 суток с 6000 ядрами по ICON-Ru13/6N29 требует 55 мин);
2. для внетропической части Северного полушария ЧПП по ICON-Ru13/6N29 с шагом вложенной сетки с шагом 6,5 км проводится для почти в 2 раза как более крупной области вычислений, чем по COSMO-Ru6ENA, так и почти с 2 раза большим количеством уровней по вертикали (74 вместо 40);
3. вне вложенной сетки с шагом 6,5 км дополнительно вычисляются глобальные краткосрочные ЧПП с шагом сетки 13 км;
4. согласно авторским и производственным испытаниям краткосрочные прогнозы ICON-Ru13/6N29 показали более высокое качество по сравнению с прогнозами оперативной COSMO-Ru6/ENA. Например, для холодного периода:
 - ✓ для территории России среднеквадратические отклонения прогностических полей Psea и H500 от соответствующих полей анализа Гидрометцентра России уменьшились на 11% - 27%;
 - ✓ для Европейской территории России средние абсолютные отклонения краткосрочных прогнозов T2м от наблюдений уменьшились на 7% - 12%.



Модель ICON и развитие системы COSMO-Ru на основе конфигураций ICON-Ru и ILAM-Ru: детализированные конфигурации ILAM-Ru (эксперименты: 65 уровней, 48ч, 2880 ядер)

ILAM-Ru2 для территории России (для МЧС) + Арктика + СМП



Домены, шаг сетки 2 км	Время счета / узлов сетки
1. ЕТР	64 мин / 2 959 068
2. Урал	41 мин / 980 300
3. Сибирь	53 мин / 2 414 604
4. Восточная Сибирь	24 мин / 1 191 332
5. Дальний Восток	52 мин / 2 607 268
6. Камчатка	59 мин / 2 032 784
7. Арктика $h=3,25\text{км}$, $\Delta t=30\text{с}$	24 мин / 1 417 484
8. Центральная Азия	42 мин / 2 032 784

Конфигурации ILAM-Ru модели ICON для краткосрочного ЧПП с шагом сетки 2,0 км для территории России, стран Центральной Азии и с шагом сетки 3,25 км для Арктики - Сев.морского пути

Для улучшения обеспечения МЧС детализированными краткосрочными ЧПП во время кризисных ситуаций режима (пожары, ураганы, наводнения, и т.д.) антропогенного или природного происхождения:

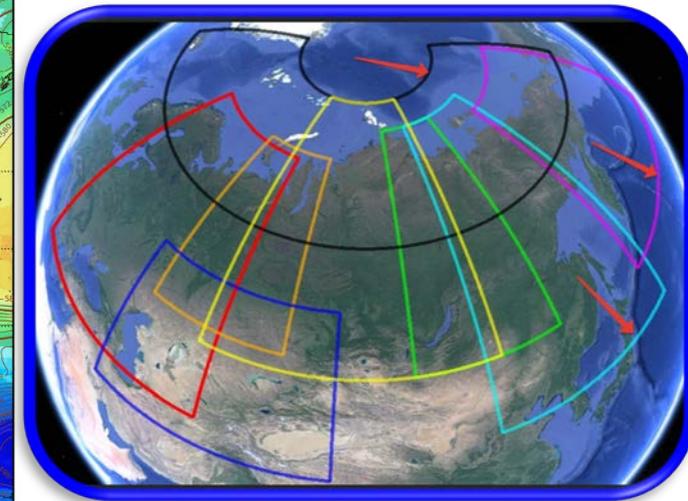
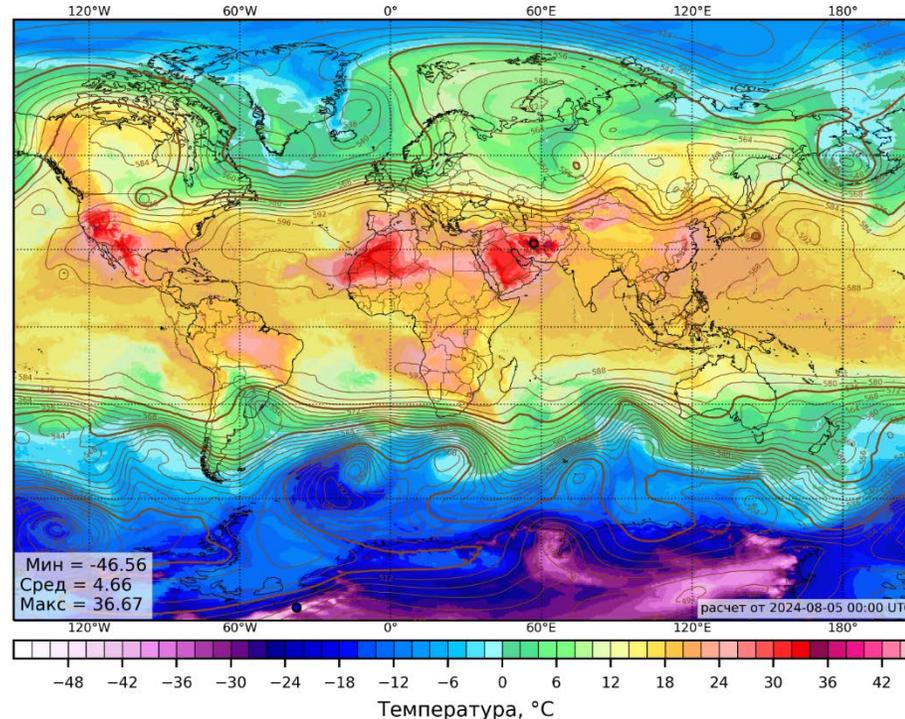
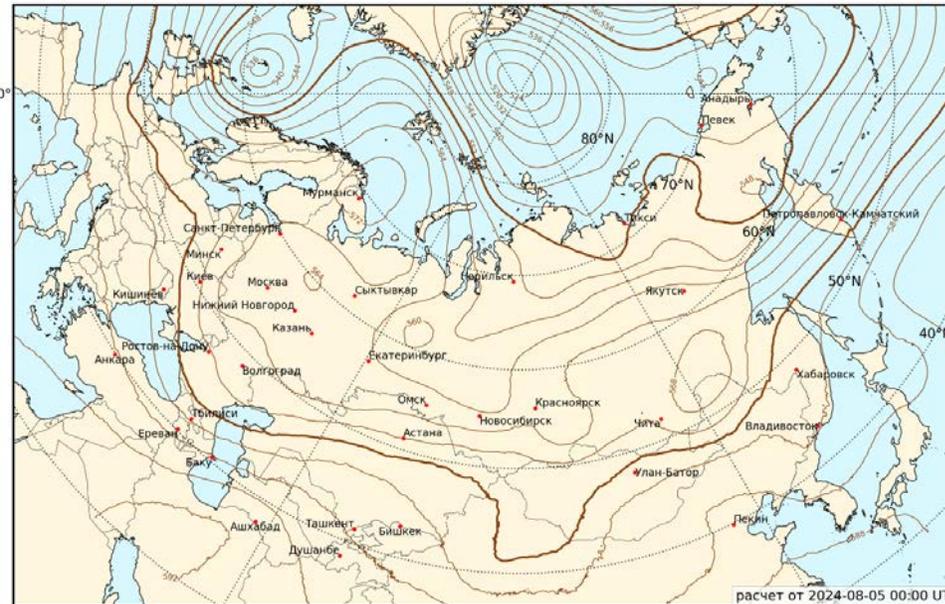
- для ЛЮБОЙ территории России подготовлены конфигурации с шагом сетки 2,0 км (для Арктики 3,25км);
- для ЛЮБОЙ территории мира с шагом сетки 6,5 км или менее **предстоит работа.**



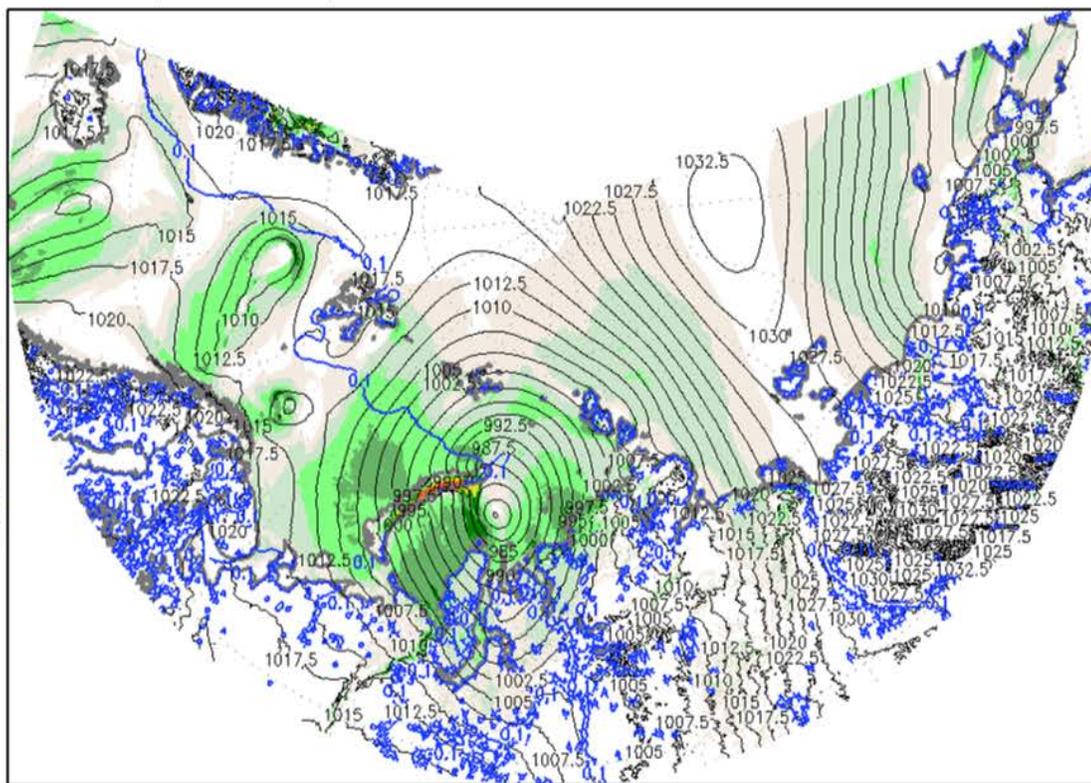
1. Созданы российские конфигурации ICON-Ru (Russia) модели ICON (с января 2024 г. код ICON открыт для общего пользования).
2. Проведены производственные испытания конфигурации **ICON-Ru13/6N29**, которая имеет шаг сетки 13 км (120 уровней по вертикали до 75 км) с вложенной в нее подсеткой с шагом 6,5 км (74 уровня по вертикали до 23 км) для внетропической территории Северного полушария, расположенной севернее параллели 29,5° с. ш.
3. ЦМКП 5 ноября 2024 г. рекомендовала **внедрить российскую глобальную конфигурацию **ICON-Ru13/6N29**** в оперативную практику ФГБУ «Гидрометцентр России»

T850 H500 прогноз ICON-Ru13 на 2024-08-10 00:00

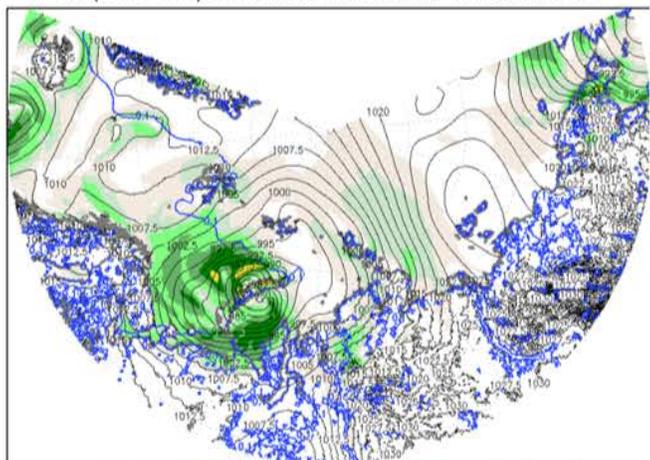
H500 прогноз ICON-Ru 6N29 на 2024-08-08 00:00



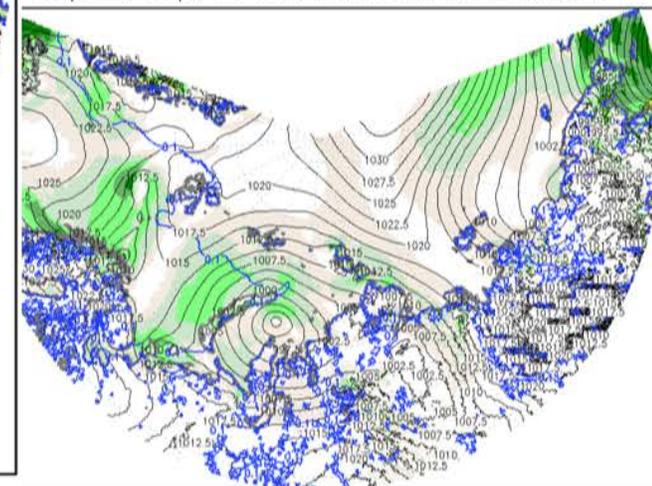
Скорость ветра и PMSL, RusArctic, 12Z06JAN2024



Скорость ветра и PMSL, RusArctic, 12Z05JAN2024



Скорость ветра и PMSL, RusArctic, 12Z07JAN2024



Пример численного прогноза скорости ветра на высоте 10 м и давления на уровне моря по начальным данным за 05.01.2024.12 (слева направо прогноз на 00, 24 и 48 час) по российской конфигурации ILAM-Ru3RusArc модели ICON



Сайт с открытым кодом ICON и документацией:

<https://www.icon-model.org/>

Сайт с учебником:

https://www.dwd.de/DE/leistungen/nwv_icon_tutorial/pdf_einzelbaende/icon_tutorial2024.pdf

Сайт со статьями о модели океана **ICON-O**

Sea Ice: Danilov, S., Wang, Q., Timmermann, R., **Iakovlev, N.**, Sidorenko, D., Kimmritz, M., Jung, T., and Schröter, J.: Finite-Element Sea Ice Model (FESIM), version 2, Geosci. Model Dev., 8, 1747–1761, <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1747-2015>, 2015.

Sea Ice Mehlmann and Korn, P. (2021): Sea-ice dynamics on **triangular grids**.

J. Comput. Phys., 428, 110086. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2020.110086>

Logemann, L. Linardakis, P. Korn, C. Schrum (2021): Global tide simulations with ICON-O: testing the model performance on highly irregular meshes. Ocean Dynamics 71, 43-

57. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01428-7>

Earth System Components, Aerosols and Reactive Trace Gases (ART)

Jungclaus, J. et al. (2022). The **ICON Earth System Model Version 1.0**. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 14: 2021MS002813.

\ <https://doi.org/10.1029/2021MS002813>



ДАЛЬНЕЙШАЯ РАБОТА

Усовершенствование

системы детализированного численного прогноза погоды **COSMO-Ru** для Северной Евразии, включая территории России и стран СНГ, на основе бесшовной негидростатической модели **ICON** и технологии вложенных областей

Прототип системы каскадного детализированного прогноза погоды для территории России и стран СНГ с шагами сетки не более 4 км (с учетом доступных вычислительных ресурсов).

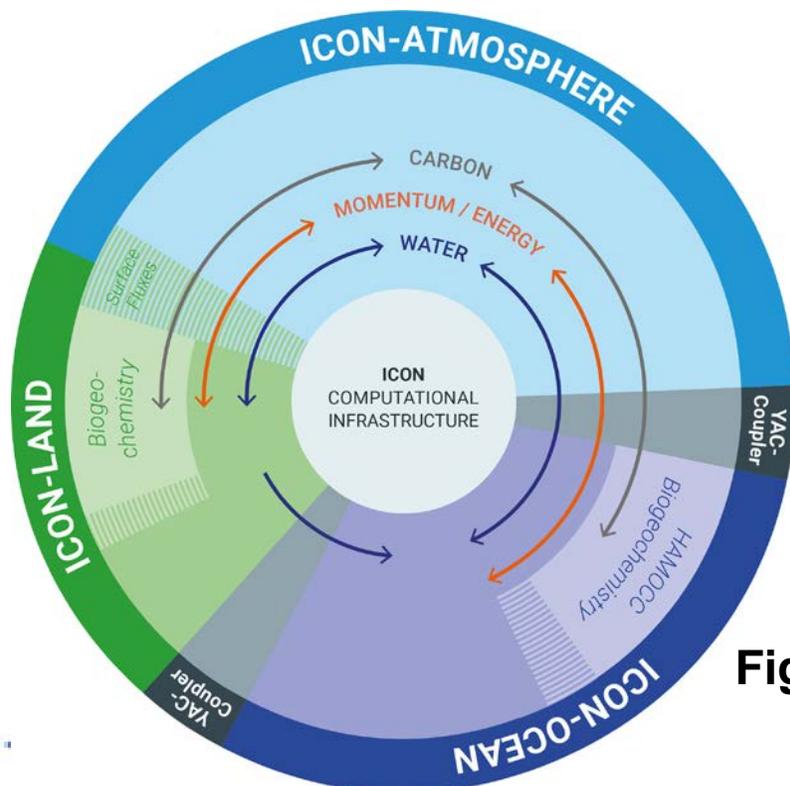
Усовершенствованная система детализированного прогноза погоды для Северной Евразии, включая территории России и стран СНГ с каскадной телескопизацией вычислений (с учетом доступных вычислительных ресурсов).



Модель ICON: численные эксперименты с шагом сетки 5 км с Земной системой (атмосфера плюс океан) с моделированием на ГОД, 2.5 км – на более 2 месяцев!

Jungclaus J. H., Lorenz S. J., Schmidt H., Brovkin V., Bruggemann N., Chegini F., et al. (2022). The ICON Earth System Model version 1.0. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14, e2021MS002813. <https://doi.org/10.1029/2021MS002813>

Hohenegger, C et al. **ICON-Sapphire**: simulating the components of the Earth system and their interactions at kilometer and subkilometer scales // // *Geosci. Model Dev.*, 16, **2023**, 779–811, <https://doi.org/10.5194/gmd-16-779-2023>, 2023.



ICON-Sapphire: simulating the components of the Earth system and their interactions at kilometer and subkilometer scales

Cathy Hohenegger¹, Peter Korn¹, Leonidas Linardakis¹, René Redler¹, Reiner Schnur¹, Panagiotis Adamidis², Jiawei Bao¹, Swantje Bastin¹, Milad Behravesht¹, Martin Bergemann^{1,2}, Joachim Biercamp², Hendryk Bockelmann², Renate Brokopf¹, Nils Brüggemann^{1,3}, Lucas Casaroli¹, Fatemeh Chegini¹, George Datsleris¹, Monika Esch¹, Geet George¹, Marco Giorgetta¹, Oliver Gutjahr^{1,3}, Helmuth Haak¹, Moritz Hanke², Tatiana Ilyina¹, Thomas Jahns², Johann Jungclaus¹, Marcel Kern¹, Daniel Klocke¹, Lukas Klufft¹, Tobias Kölling¹, Luis Kornblueh¹, Sergey Kosukhin¹, Clarissa Kroll¹, Junhong Lee¹, Thorsten Mauritsen⁴, Carolin Mehlmann¹, Theresa Mieslinger¹, Ann Kristin Naumann^{1,5}, Laura Paccini¹, Angel Peinado¹, Divya Sri Praturi¹, Dian Putrasahan¹, Sebastian Rast¹, Thomas Riddick¹, Niklas Roeber², Hauke Schmidt¹, Uwe Schulzweida¹, Florian Schütte¹, Hans Segura¹, Radomyra Shevchenko¹, Vikram Singh¹, Mia Specht¹, Claudia Christine Stephan¹, Jin-Song von Storch^{1,5}, Raphaela Vogel⁶, Christian Wengel¹, Marius Winkler¹, Florian Ziemann², Jochem Marotzke^{1,5}, and Bjorn Stevens¹

Figure 1. Overview of the components of the ICON-Sapphire configuration with their interactions.



Модель ICON и развитие системы COSMO-Ru на основе конфигураций ICON-Ru и ILAM-Ru: численные эксперименты с Земной системой с шагами сетки до 1, 25 км!

Использованы следующие суперкомпьютеры:

[Levante -DKRZ - Deutsches Klimarechenzentrum](#), с 2022, TOP500 (№60 в 202306), 352 000 ядер, 13.80/10,11 Пфлоп/с
[Mistral-DKRZ - Deutsches Klimarechenzentrum](#), с 2015, TOP500 (№240 в 202306), 99 072 ядер, 3.96/3,01 Пфлоп/с

5 км - 406 д. 2,5 км - 71 д.



Grid spacing	Machine	Nodes	SDPD
5 km	Mistral	420 (300 A, 120 O)	17
”	Levante	600, 24A:8O	126
”	Levante	420, 24A:8O	96
”	Levante	400, 24A:8O	90
”	Levante	200, 24A:8O	48
”	Levante	100, 24A:8O	24
2.5 km	Levante	600, 24A:8O	20
1.25 km	Levante	900, 24A:8O	2.5
1.25 km (A)	Levante	908	4
1.25 km (O)	Levante	1024	97
”	Levante	2048	179

Figure 2. Grid configurations supported by ICON-Sapphire:

- a) global coupled kilometer-scale simulations with a uniform grid in the **atmosphere and ocean**,
- b) global coupled kilometer-scale simulations with a uniform grid in the **atmosphere and refined ocean grid over a specific region (telescope)**, with white for the atmosphere grid and blue for the ocean grid,
- c) **atmosphere-only large eddy simulations over limited domains** with the possibility of using inside nests to consecutively refine the resolution.



Setting	G_AO_5km	G_AO_2.5km	R_A_620m	R_A_308m	G_O_1.25km	G_AO_tel	G_OC_10km
Δx : A and L	5 km	2.5 km	620 m	308 m	n/a	5 km	n/a
Δx : O	5 km	2.5 km	n/a	n/a	1.25 km	0.53–12 km	10 km
N_z : A	90	90	90	90	n/a	90	n/a
N_z : L	5	5	5	5	n/a	5	n/a
N_z : O	128	112	n/a	n/a	112	112	128
Δz : A	25–400 m	25–400 m	25–645 m	25–645 m	n/a	25–400 m	n/a
Δz : L	0.065–5700 m	0.065–5700 m	0.065–5700 m	0.065–5700 m	n/a	0.065–5700 m	n/a
Δz : O	2–472 m	6–532 m	n/a	n/a	6–532 m	6–532 m	8–200 m
H_{top} : A	75 km	75 km	21 km	21 km	n/a	75 km	n/a
H_{bot} : O	5421 m	5656 m	n/a	n/a	5656 m	5656 m	6362 m
H_{damp}	44 km	44 km	15 km	15 km	n/a	44 km	n/a
Δt : A	40 s	20 s	4 s	2 s	n/a	30 s	n/a
Δt : A rad.	12 min	12 min	10 min	10 min	n/a	12 min	n/a
Δt : O	80 s	80 s	n/a	n/a	45 s	30 s	600 s
Δt : AO	12 min	12 min	n/a	n/a	n/a	12 min	n/a
Start date	20 January 2020	20 January 2020	1 February 2020 18:00 UTC	1 February 2020 18:00 UTC	1 January 2020	20 January 2020	1 January 2013
Length	406 d	71 d	30 h	30 h	1 month	90 d	4 years
Ini state: A	ECMWF	ECMWF	ICON-NWP	ICON-NWP	n/a	ECMWF	n/a
Ini state: L	ECMWF	ECMWF	ICON-NWP	ICON-NWP	n/a	ECMWF	n/a
Ini state: O	spin-up	spin-up	n/a	n/a	spin-up	spin-up	spin-up
Forcing	n/a	n/a	ICON-NWP	ICON-NWP	ERA5	n/a	ERA5
Vel. diss.	combi.	combi.	n/a	n/a	biharm.	biharm.	biharm.
Visc. par.	constant	constant	n/a	n/a	constant	constant	constant
YAC interp.	near neigh.	near neigh.	n/a	n/a	n/a	Ber.-Béz.	n/a



Современный оперативный ЧПП

Характерный пример возможностей будущих ЧПП (статья)



Journal of the Meteorological Society of Japan

Vol. 98, No. 2

$h=156$ м

$h=312$ м

LES и шторм разрешение

$h=624$ м

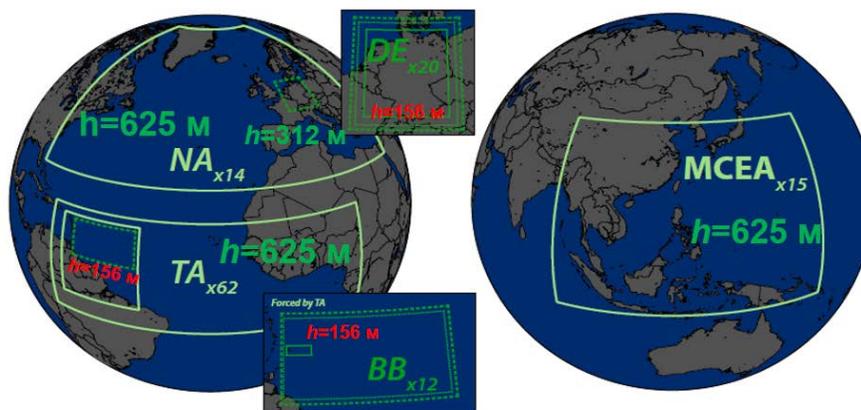


Fig. 3. Simulation domains as well as the number of simulated days for each domain, discussed in this paper. Storm-resolving simulation domains are depicted by a solid lime-green line (NA: Northern Atlantic, TA: Tropical Atlantic, MCEA: Maritime Continent East Asia), large-eddy simulation domains depicted by green lines (DE: Germany, BB: Barbados) solid for 156 m, fine-dashed for 312 m and coarse-dashed for 625 m grid spacings. Technical details for the model configuration for the simulations over each of these domains are provided in Table 1.

2020, Stevens, ...,
G.Zaengle,
J. Met. Soc. Japan

Citation Stevens, B., C. Acquistapace, A. Hansen, R. Heinze, C. Klingler, D. Klocke, H. Rybka, W. Schubotz, J. Windmiller, P. Adamidis, I. Arka, V. Barlakas, J. Biercamp, M. Brueck, S. Brune, S. A. Buehler, U. Burkhardt, G. Cioni, M. Costa-Surós, S. Crewell, T. Crüger, H. Deneke, P. Friederichs, C. C. Henken, C. Hohenegger, M. Jacob, F. Jakob, N. Kalthoff, M. Köhler, T. W. van Laar, P. Li, U. Löhnert, A. Macke, N. Madenach, B. Mayer, C. Nam, A. K. Naumann, K. Peters, S. Poll, J. Quaas, N. Röber, N. Rochetin, L. Scheck, V. Schemann, S. Schnitt, A. Seifert, F. Senf, M. Shapkalijevski, C. Simmer, S. Singh, O. Sourdeval, D. Spickermann, J. Strandgren, O. Tessiot, N. Vercauteren, J. Vial, A. Voigt, and G. Zängl, 2020: The added value of large-eddy and storm-resolving models for simulating clouds and precipitation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 395–435, doi:10.2151/jmsj.2020-021.



11 УСТНЫХ ДОКЛАДОВ с указанием страницы в Тезисах



Секция 2. Блинов Д.В. Учащенное усвоение данных и сверхкраткосрочный численный прогноз погоды в системе COSMO-Ru2By. **Стр. 43.**

Секция 3. Астахова Е.Д. Развитие методов краткосрочного ансамблевого прогнозирования в Гидрометцентре России. **Стр. 62.**

Горлач И.А., Шишов А.Е. Распознавание облачности глубокой конвекции по дистанционным данным геостационарных МИСЗ с помощью методов машинного обучения. Стр. 126.

Никитин М.А. Анализ влияния изменения границы морского льда на полярные циклоны по данным модели ICON. **Стр. 95.**

Пискунова Д.А. Роль нисходящей длинноволновой радиации в прогнозе температуры воздуха в условиях снежного покрова. **Стр. 98.**

Розинкина И.А. Резервы повышения качества системы краткосрочного численного прогноза COSMO-Ru и эффективности интерпретации продукции высокого разрешения. **Стр. 102.**

Секция 4. Борисов Д.В. Интеграция химической транспортной модели и искусственной нейронной сети для повышения качества прогноза воздушных концентраций **O3** и **PM10**. **Стр. 136.**

Кирсанов А.А. Учет аэрозольного эффекта в численных экспериментах с использованием системы COSMO-Ru-ART. **Стр. 167**

Петров Н.А., Чубарова Н.Е. Оценка влияния парниковых газов и атмосферного аэрозоля на коротковолновую и длинноволновую радиацию для условий **безоблачного неба**. **Стр. 160.**

Секция 5. Перов В.Л. Параметризация пограничного и приземного слоев атмосферы при моделировании устойчивых ситуаций в Арктике для моделей прогноза погоды COSMO-Ru и ICON-Ru. **Стр. 193.**

Тарасова М.А. Сравнение параметризаций городской поверхности различной степени сложности в модели COSMO на примере Московской агломерации. **Стр. 201.**



ТУРБУЛЕНТНОСТЬ, ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА



Конференция, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова

**Система краткосрочного численного прогноза погоды
Гидрометцентра России**



**на основе российских глобальной и региональных конфигураций
бесшовной негидростатической модели нового поколения ICON**

**Ривин Г.С.^{1,2}, Астахова Е.Д.¹, Розинкина И.А.^{1,2}, Блинов Д.В.¹,
Копейкин В.В.¹, Бундель А.Ю.¹, Кирсанов А.А.¹, Чубарова Н.Е.^{1,2},
Шатунова М.В.¹, Алферов Ю.В.¹, Коспанов А.А.^{1,2}, Никитин М.А.¹,
Полюхов А.А.^{1,2}, Ревокатова А.П.¹, Шувалова Ю.О.¹ (12/3)**

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

19-21 ноября 2024 г., Москва. 14.30-14.55 мин

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Гидрометцентр России»