



Резервы повышения качества системы краткосрочного численного прогноза COSMO-Ru и эффективности интерпретации продукции высокого разрешения

*Розинкина И.А., Ривин Г.С., Блинов Д.В. , Астахова Е.Д., Татаринович Е.В., Бундель А.Ю.,
Курсанов А.А. , Варенцов М.И , Самсонов Т.Е. , Шувалова Ю.О., Никитин А.Е., Гоморев И.А.,
Волков И.О.*

*Гидрометцентр РФ,
МГУ им. М.В.Ломоносова*

Inna.rozinkina@mail.ru

Области прогнозирования оперативных конфигураций модели COSMO-Ru

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

COSMO-Ru2By:

1200 × 1400 × 50; 2,2 км до 48 ч

Ветвь сверхкраткосрочных (до 18 ч)
ЧПП каждые 3 часа.

Включено усвоение радарных
данных



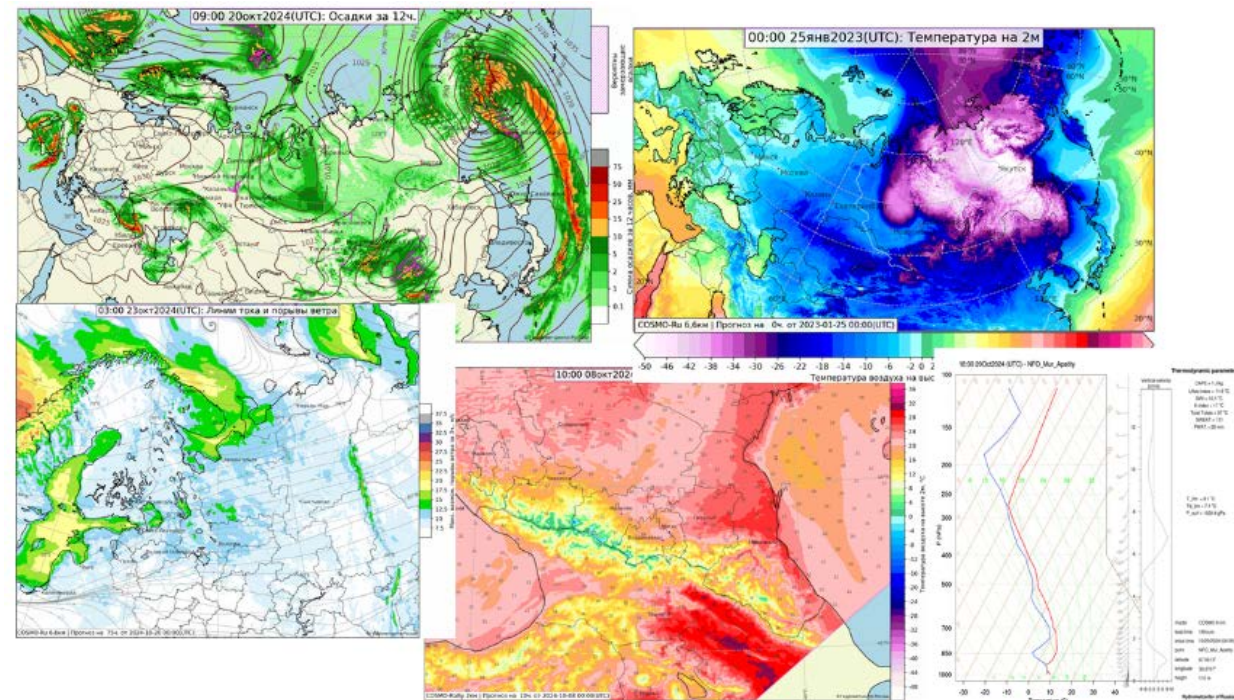
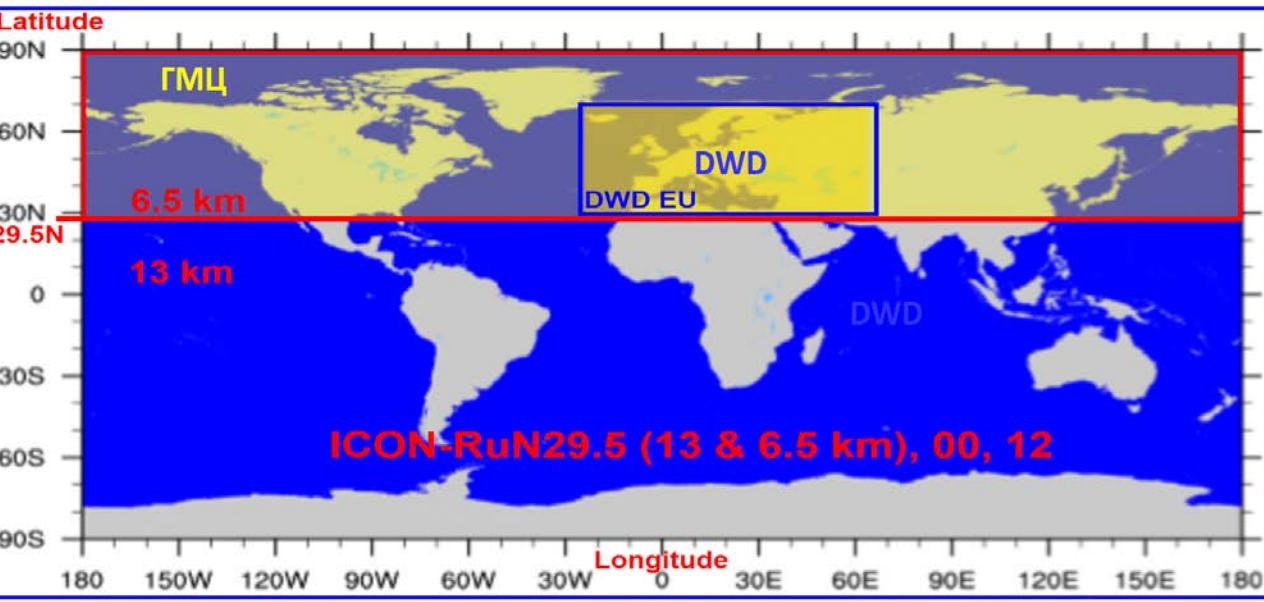
ФГБУ «Гидрометцентр России»

Создан ряд российских конфигураций ICON-Ru (Russia) модели ICON (в открытом доступе с 2024г) с различными шагами сетки.

Проведены оперативные испытания конфигурации ICON-Ru13/6N29, Решение ЦМКП от 5 ноября 2024: **рекомендовать внедрить российскую глобальную конфигурацию ICON-Ru13/6N29 в оперативную практику**

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.**



Производится перевод выпускаемой продукции с **COSMO-Ru6ENA** на **ICON-Ru13/6N29**



Что есть качество прогноза?

Для выявления «проблемных» участков требуется:

- Функционирование **мониторинга** на основе многофакторной верификации – особенно важно для оценки **продукции высокой детализации**
- Связь с потребителями, анализ успешности прогнозирования опасных явлений, сопоставление прогнозов с текущей информации МИСЗ

Задача: рассмотреть

ситуации, **принципиально сложные для точного сверхкраткосрочного и краткосрочного прогноза погодных явлений,**
предлагаемые **пути решения** проблем на базе негидростатического моделирования с **шагами вычислительных сеток от 500 м до 13 км**



Верификация

многофакторные пакеты позволяют применять широкий спектр **метрик для оценки полей высокой пространственно-временной изменчивости, редких явлений** и пр.,

Применять подходы **нечеткой и объектно-ориентированной верификации**,

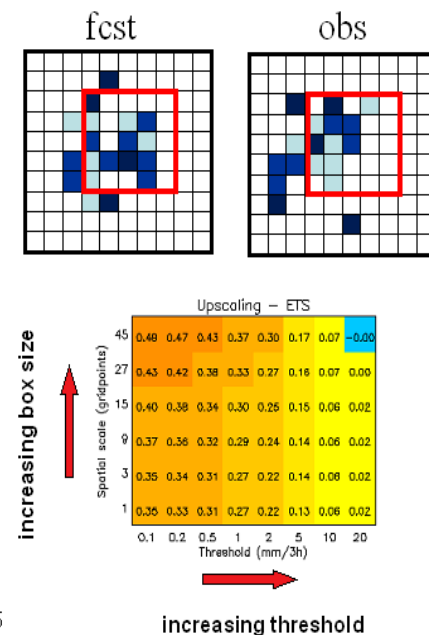
Использовать непрерывные поля по результатам ДМРЛ (в перспективе – грозопеленгаторов и МИСЗ)

Опыт эксплуатации международного пакета MET



Fuzzy Verification

- „multi-scale, multi-intensity approach“
- „Fuzzy verification toolbox“ of B. Ebert
- Two methods
 - Upscaling (UP)
 - Fraction Skill Score (FSS)
- present output scale dependent
- standard setting: 3h accumulations, Jun-Nov 2007, vs Swiss radar data

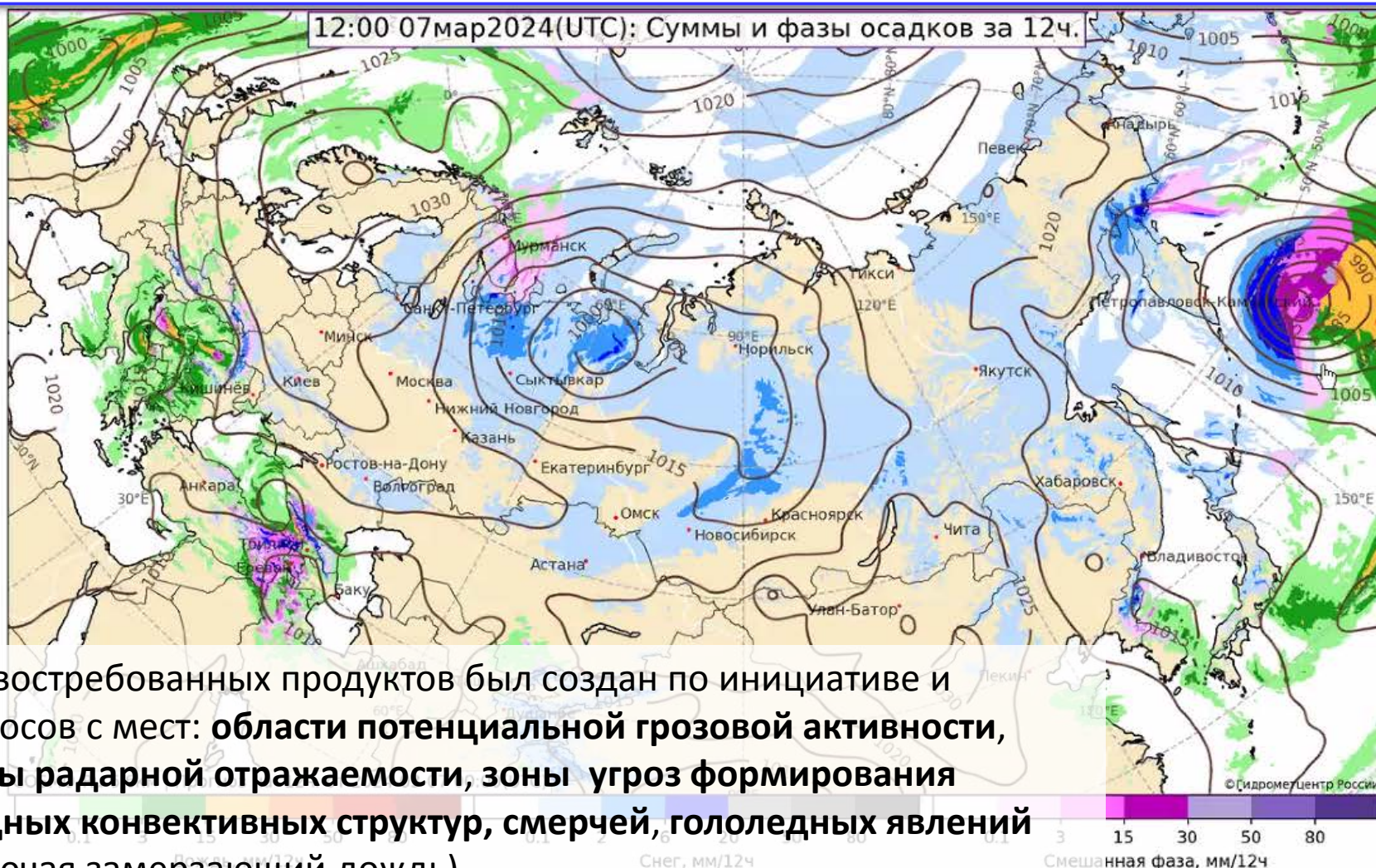


Weather type dependant fuzzy verification | COSMO GM, 07.-11.09.2009
Tanja Weusthoff

2



Обсуждение оперативного прогноза В Гидрометцентре России , в котором участвуют всех УГМС России и сотрудников группы лаборатории COSMO-Ru



Ряд востребованных продуктов был создан по инициативе и запросов с мест: **области потенциальной грозовой активности, карты радарной отражаемости, зоны угроз формирования мощных конвективных структур, смерчей, гололедных явлений** (включая замерзающий дождь)

Рекомендованные регламенты ВМО обеспечивают лишь минимум информации, не всегда оптимальный

Ривин Г.С. ГМ...

Ривин Г.С. ГМЦ России

Александр Голубев ОКПП Гидро...

Лаб. опер. пр. и клим. исслед ОКПП

Крымское УГМС

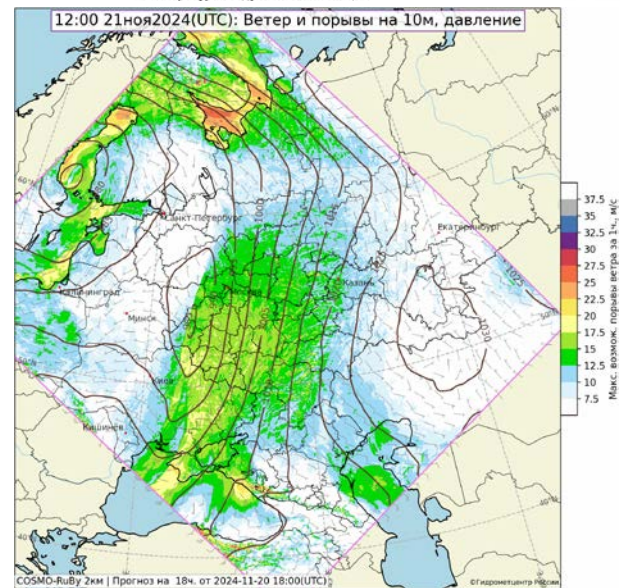
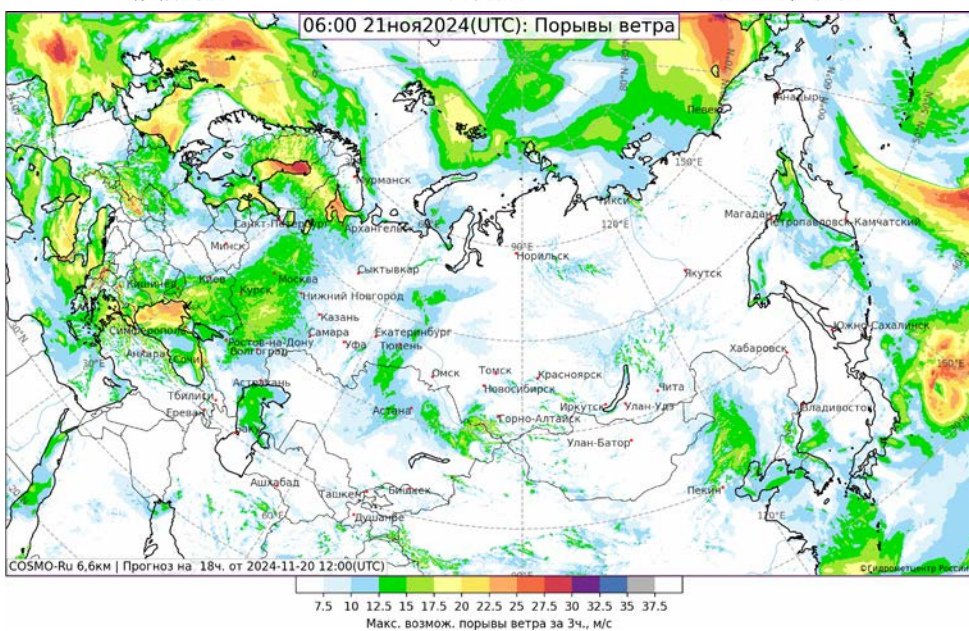
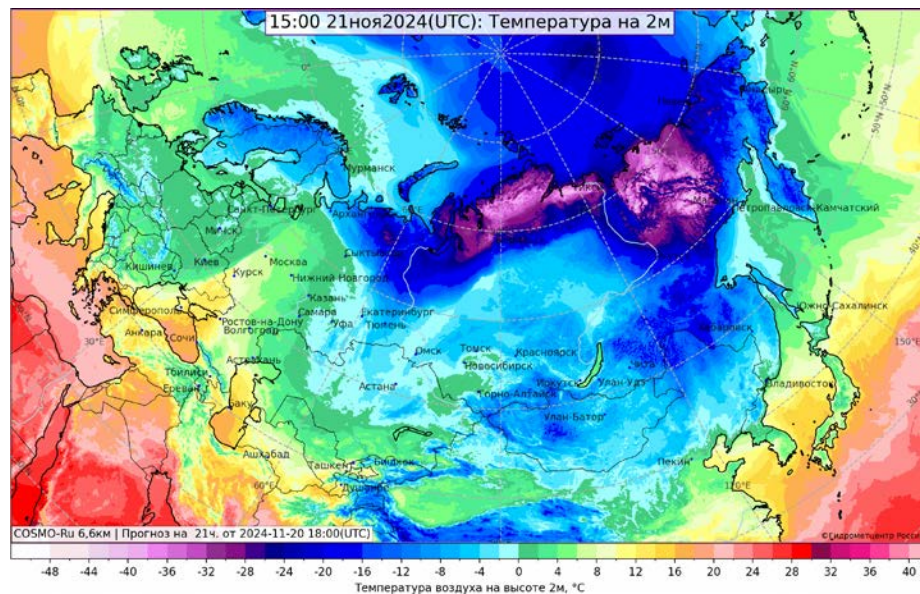
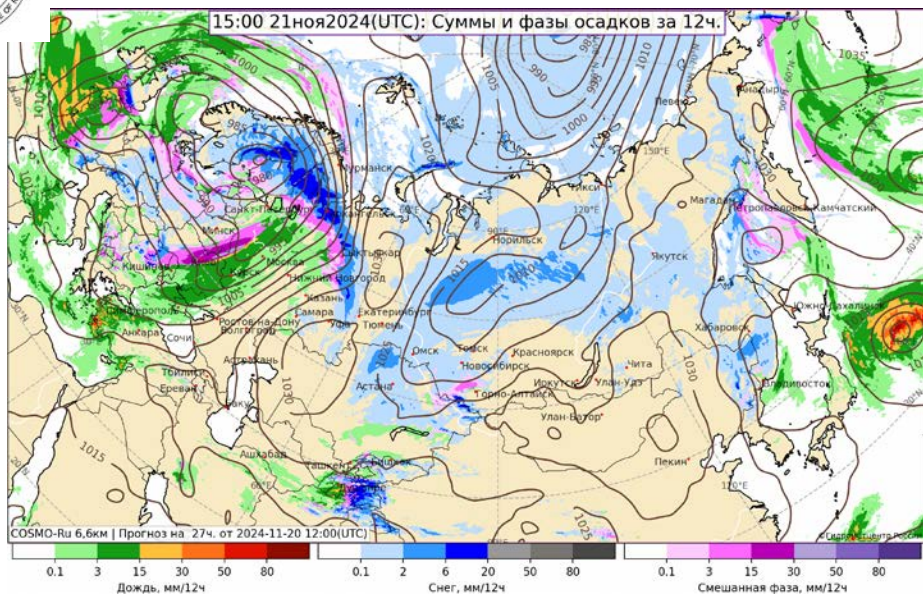


Последовательность процедур выпуска оперативных прогнозов погоды





Серия прогнозов различных метеополей старт 12.00 UTC





Источники неопределенностей в численном прогнозировании погоды условно можно подразделить на 2 класса:

- (1) – ограничения техник моделирования (разрешение модели, усвоение данных, математическое описание физических процессов)**

- (2) – квази-случайное проявление природных процессов конвективной деятельности, облако- и осадкообразования, др.**



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

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.



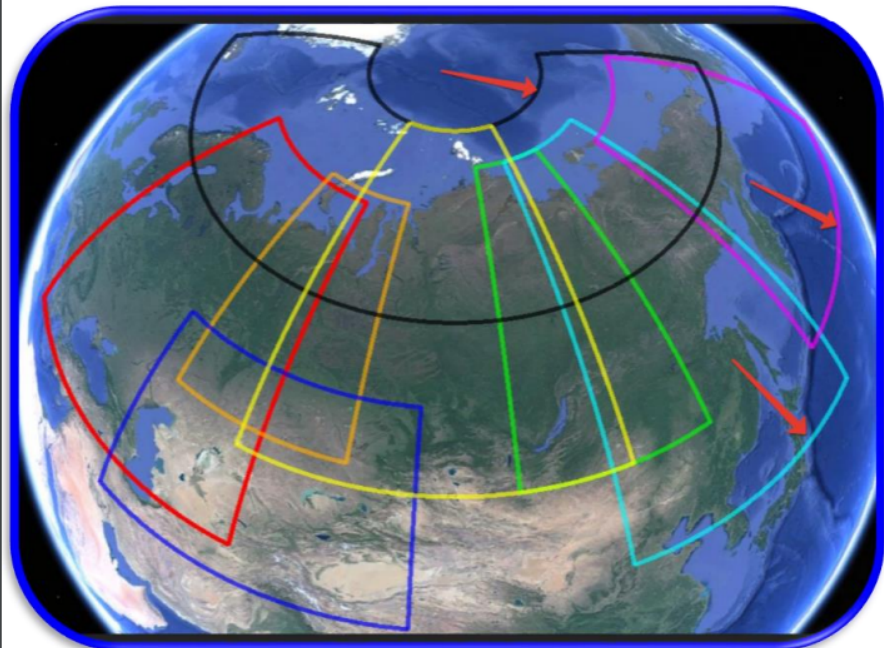
Проблемные ситуации для конфигураций модели с различным пространственным разрешением

Наиболее Проблемные ситуации	13 км	6-7 км	2 км	1 км	500 м
Конфигурации морских берегов	?	?	😊	😊	😊
<i>Порывы ветра в заливах</i>	?	?	?	😊	😊
Климато- значимые внутренние водоемы	?	😊	😊	😊	😊
Микроклимато-значимые внутренние водоемы	?	?	😊	😊	😊
Городская среда (остров тепла)	?	?	?	😊	😊
Горные страны <i>(горно-долинные процессы)</i>	?	?	?	😊 ?	😊
<i>Применение индексов конвекции</i>	?	?	😊	😊	
<i>Формирование конвективных структур (в тч суперъячеек)/явлений</i>	?	?	?	? ?	😊



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



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

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

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.**

Подготовлены конфигурации с шагом 2 км для различных регионов России, предназначенные для оперативного функционирования



Резервы повышения успешности

- **Уменьшение шага сетки**

Позволяет перейти к более физическому воспроизведению процессов, связанных с морфологией земной поверхности, а также- явлений конвективной природы



Разрешение сетки численного прогноза и детализация процессов

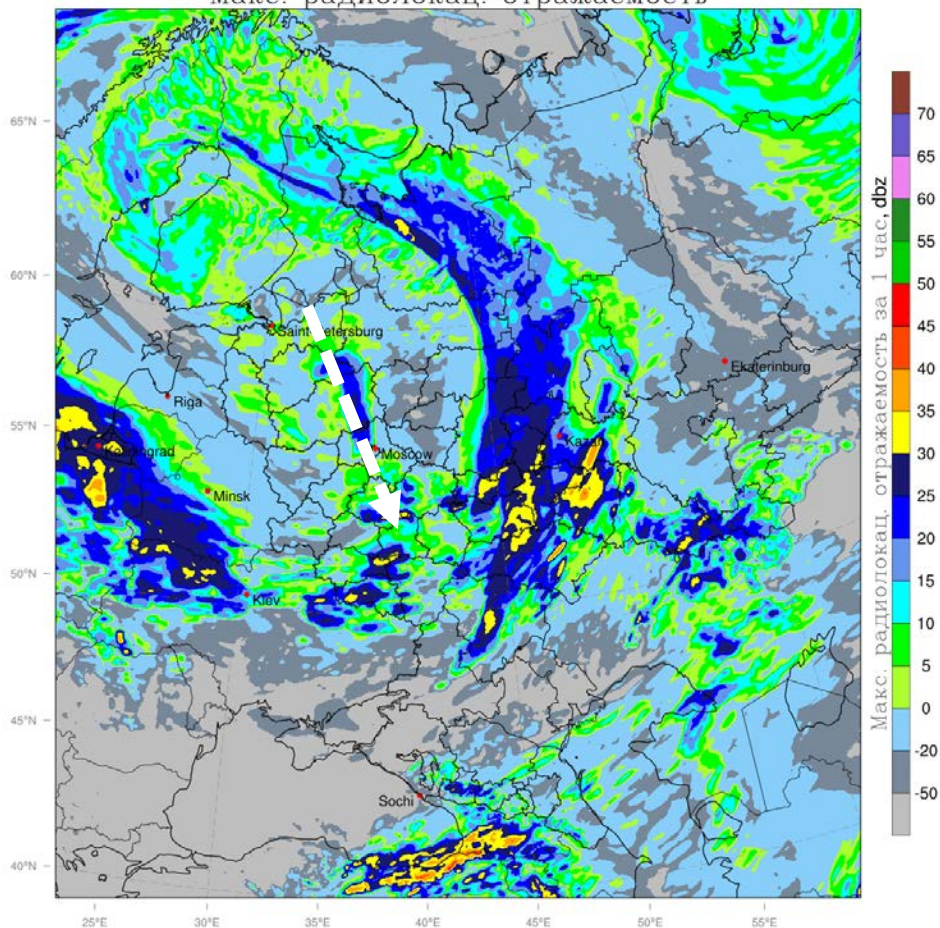
Прогноз COSMO **6 км** от 00:00 UTC.

Заблаговременность: 37 ч.

Максимальная отражаемость в слое за 1 ч

13:00 6 апр 2022 (UTC):

Макс. радиолокац. отражаемость



COSMO-Ru 6км: Прогноз на 37 часов Омин.
от 2022-04-05 00:00(UTC)

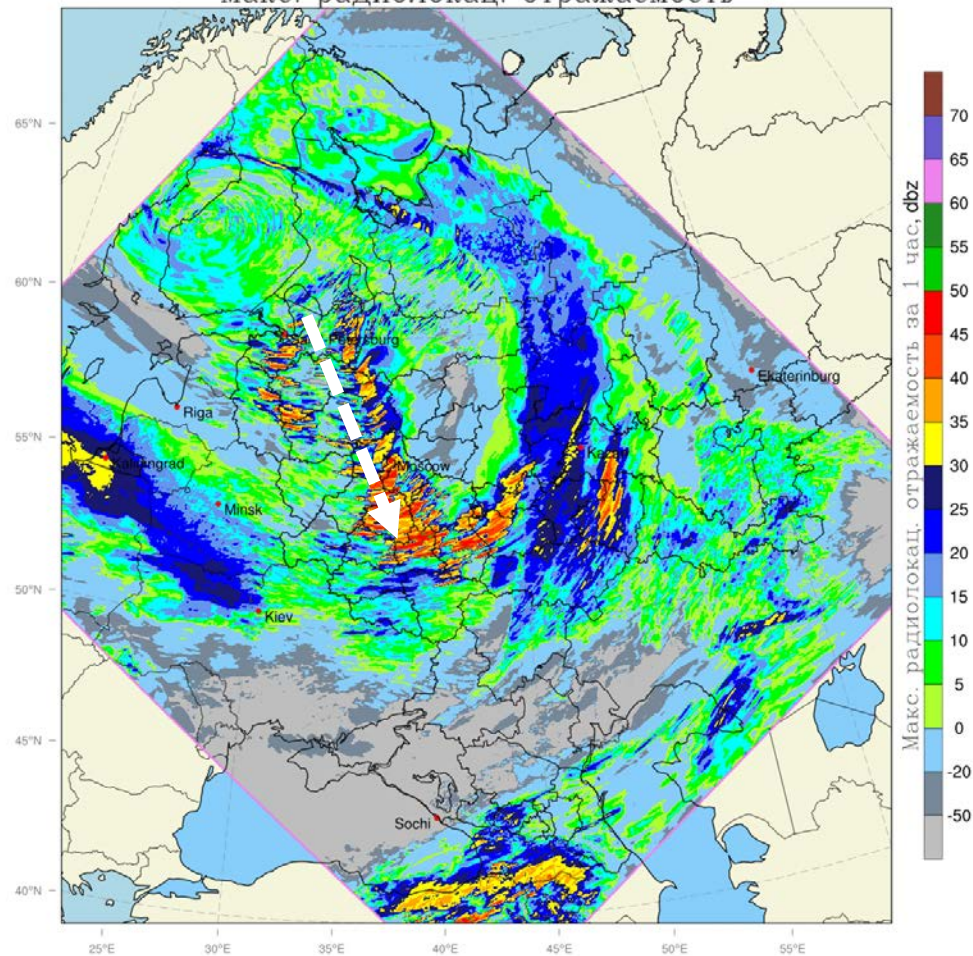
Прогноз COSMO **2 км** от 00:00 UTC.

Заблаговременность: 37 ч.

Максимальная отражаемость в слое за 1 ч

13:00 6 апр 2022 (UTC):

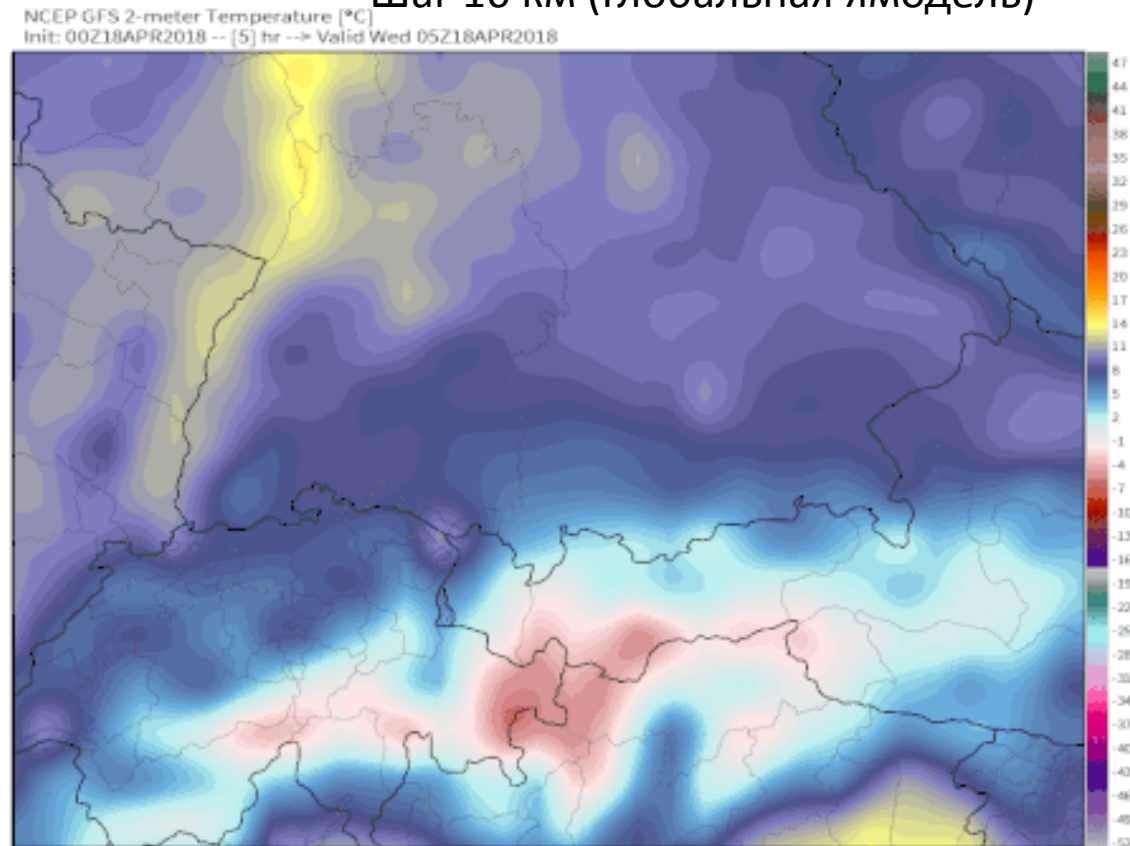
Макс. радиолокац. отражаемость



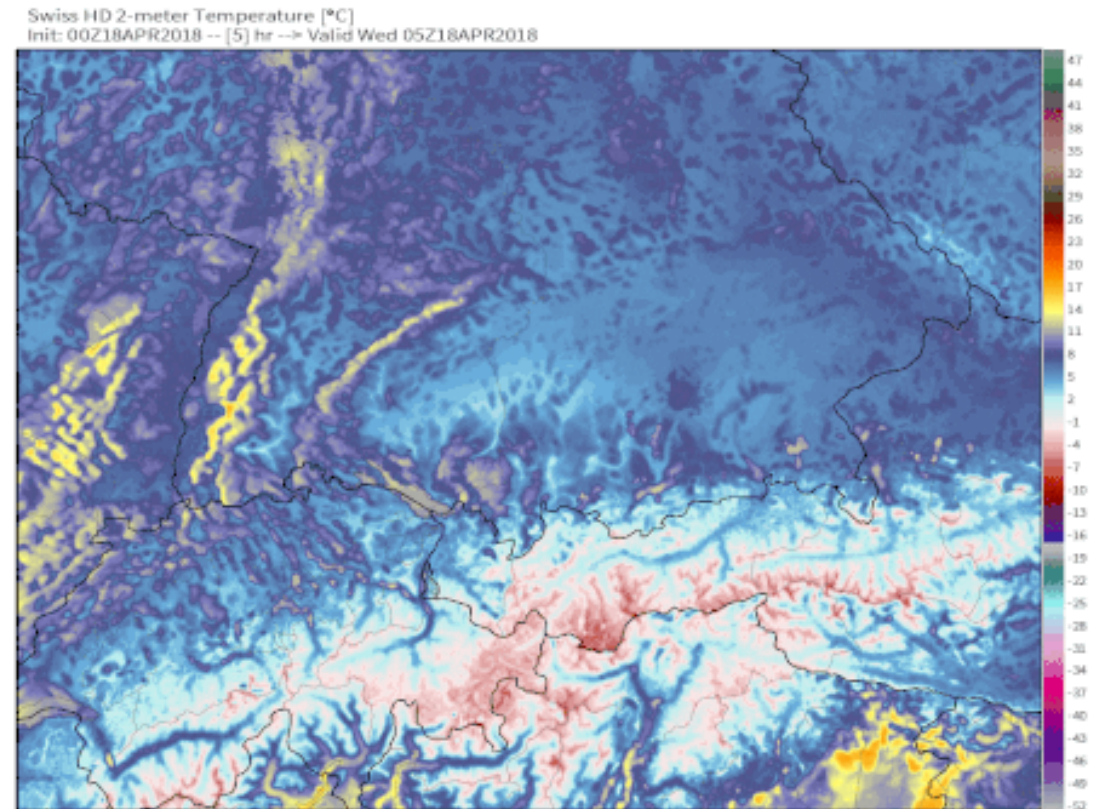
COSMO-Ru 2,2км: Прогноз на 37 часов Омин.
от 2022-04-05 00:00(UTC)

Разрешение вычислительных сеток: иллюстративные примеры

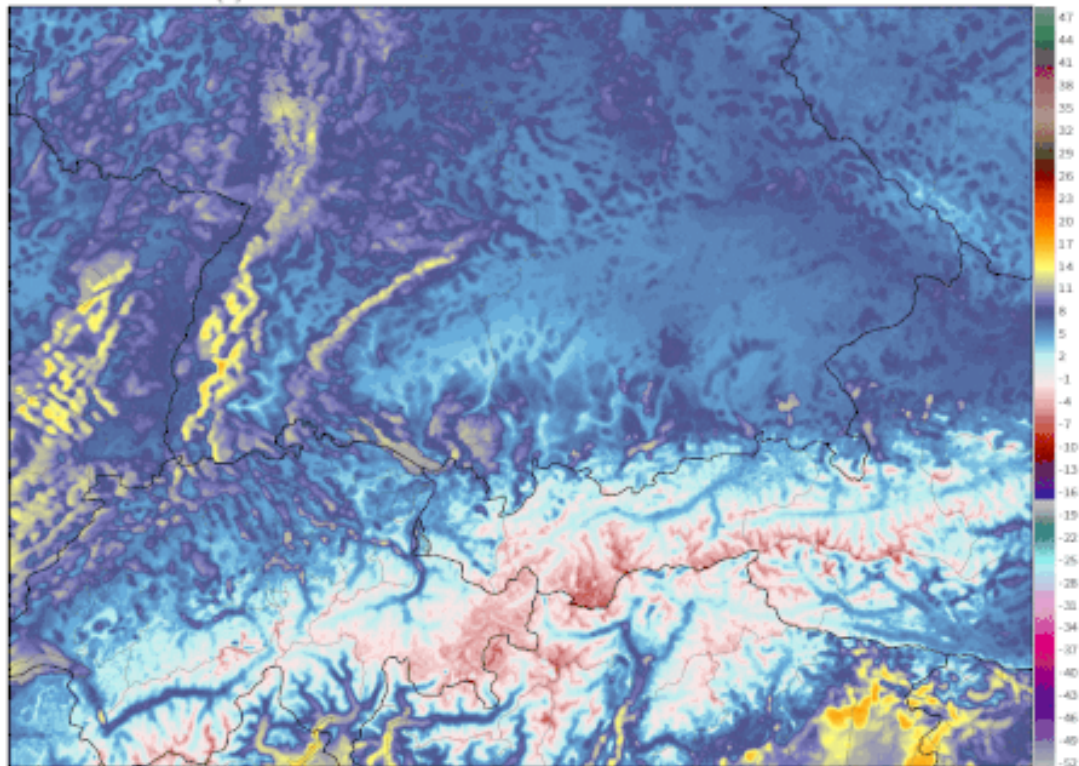
Шаг 16 км (Глобальная ямодель)



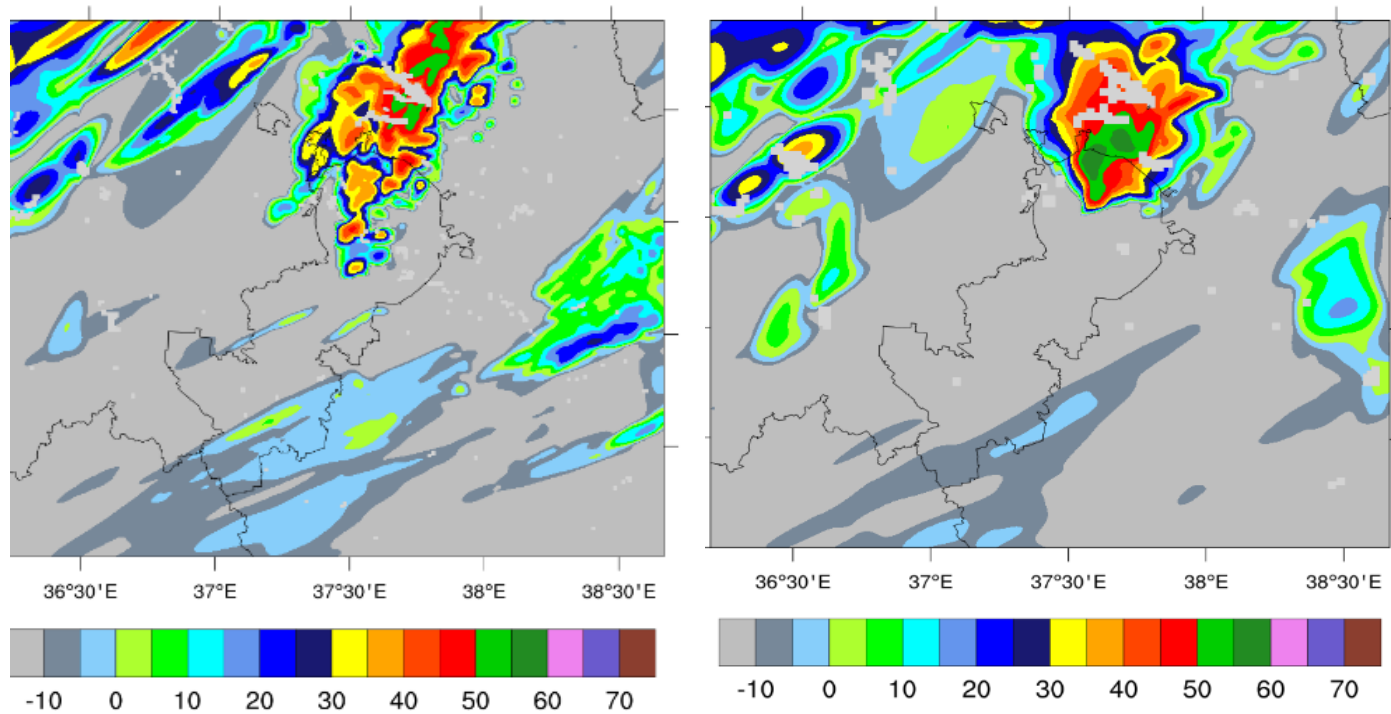
Шаг 1 км (региональная модель)



Swiss HD 2-meter Temperature [°C]
Init: 00Z18APR2018 -- [5] hr --> Valid Wed 05Z18APR2018



Оперативное прогнозирование погоды, Курсы ИПК,
Москва, 16-20 сентября 2024 г



Ситуация по COSMO-Ru05-MSK оказалась ближе к реальности (на основе сравнения с картинкой ДМРЛ)

- COSMO-Ru1-MSK (1км) успешно прогнозирует структуру фонового ветра и термо-влажностных полей в пределах АПС (см выше), **однако часто происходит фиктивное объединение мелких конвективных структур в суперъядейки**, что приводит к неподтверждаемым наблюдениями прогнозам более крупных и интенсивных явлений (см Рисунок, справа).
- COSMO-Ru05-MSK (500м) **наиболее реалистично воспроизводит размеры и погодные проявления конвективных структур** (Ривин, 2020), см рисунок, слева
- Все конфигурации **воспроизводят проявления конвективных явлений**, однако местоположение прогнозируются **с точностью до 30-150 км** (при заблаговременностях от 6 до 36 ч) – что является следствием отображения **стохастики** процессов конвекции, облако- и осадкообразования..

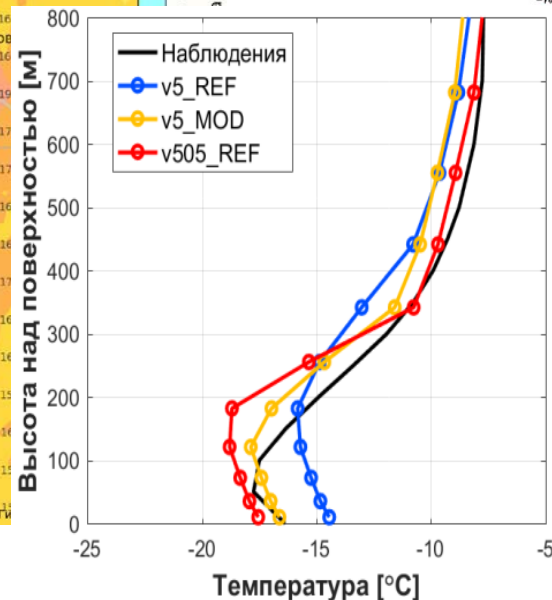
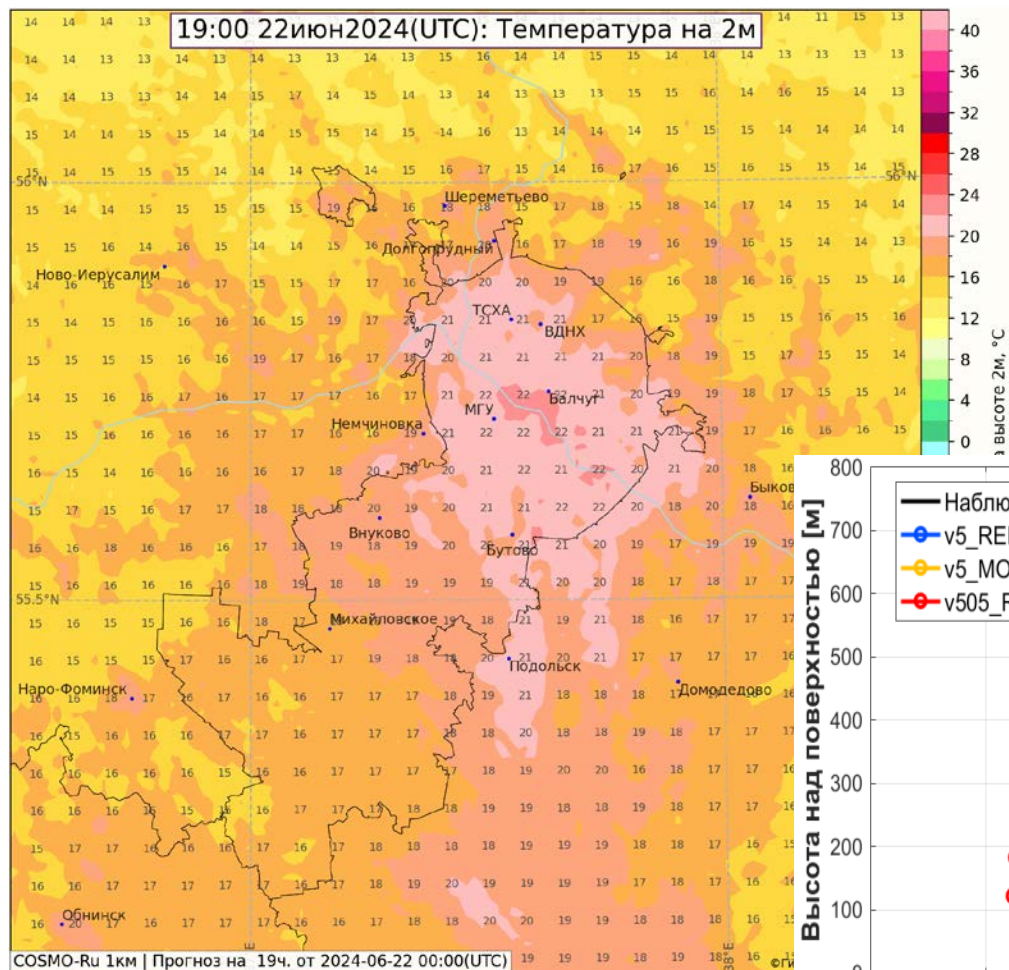


Резервы повышения успешности и

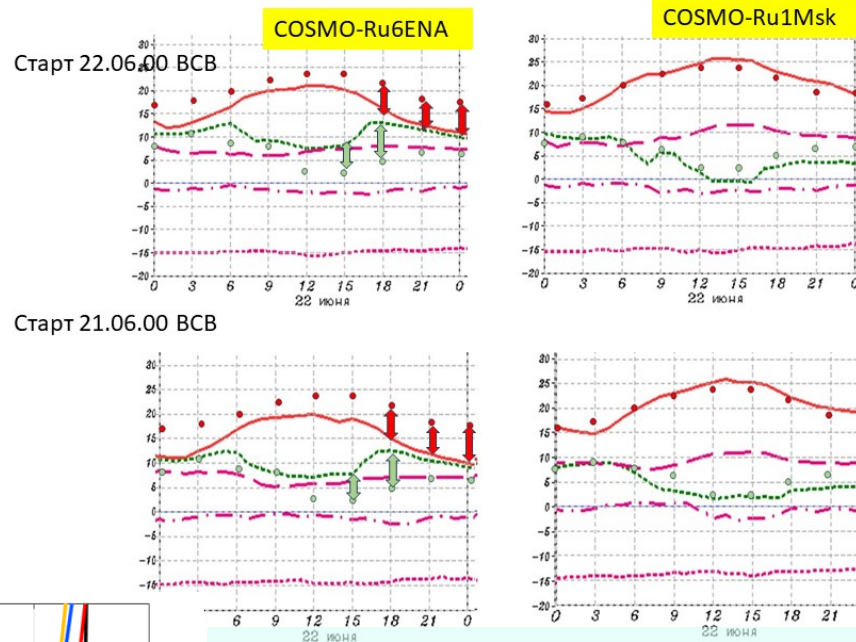
Совершенствование учета процессов на земной поверхности
– один из емких резервов



Моделирование городского острова тепла над Москвой



Пример прогнозов для метеостанции Балчуг на 22.06.2024



Фрагменты метеограмм прогнозов на 22 июня 2024г для центр Москвы, **верхний ряд**: оперативные расчеты на текущий день
нижний ряд: оперативные расчеты, выполненные накануне

слева: По конфигурациям модели с шагом 6.6 км, без включения параметризации городской среды TERRA URB

справа: По конфигурациям модели с шагом 1.1 км, с включением параметризации TERRA URB

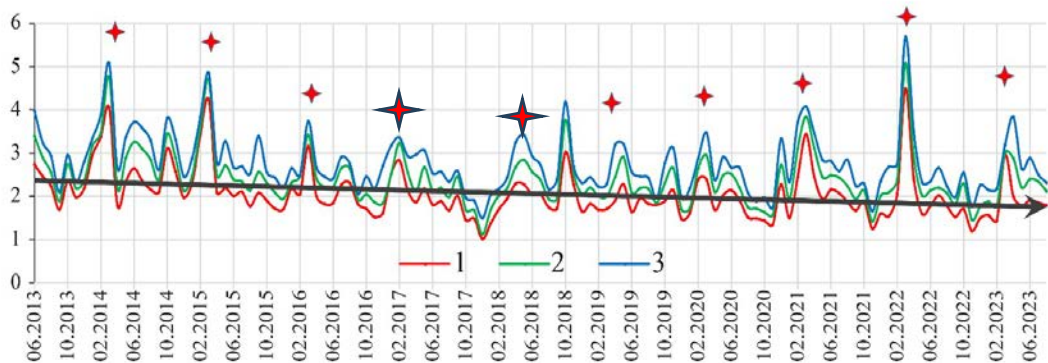
Непрерывные линии – прогнозы
Точки – данные измерений

Красный цвет – информация для T2м,
Зеленый – для TD2м
Стрелками показаны случаи ошибок более 5градусов

Включение в модель параметризационной модели суши с учетом городской среды TERRA- URB на конфигурации с шагом 1 км позволило существенно уточнить воспроизведение термического режима для мегаполиса Москва и его окрестностей, выявляя эффекты «Острова тепла» (напр., Варенцов и др, 2017, Ривин и др., 2020)

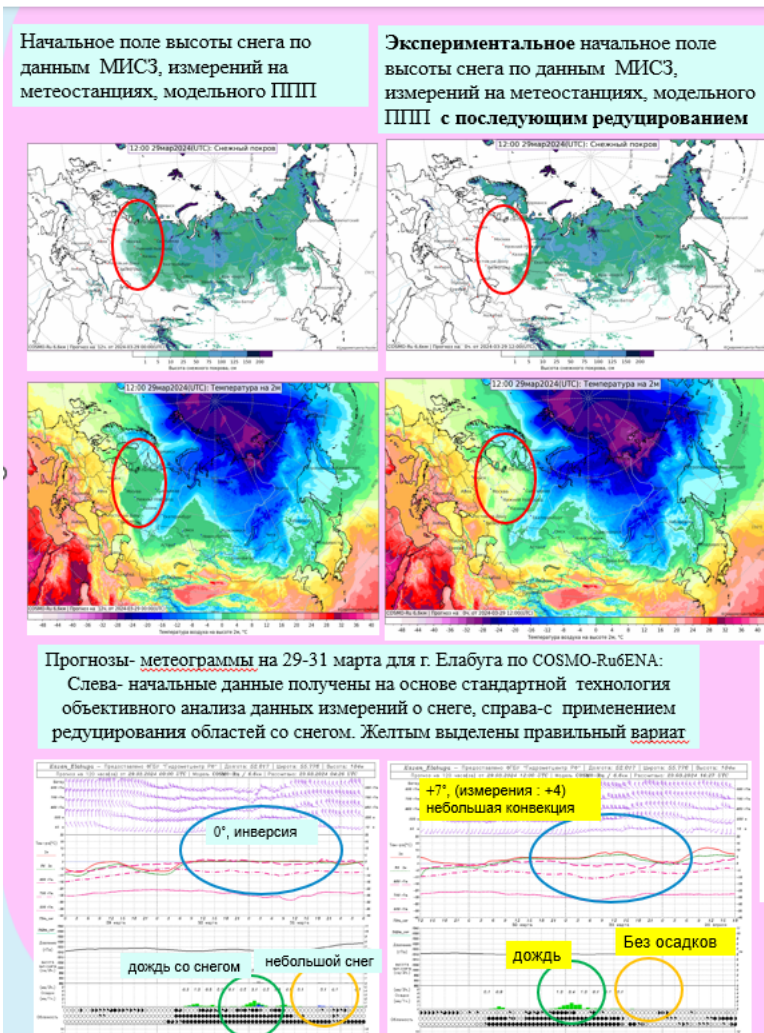
Аналогичные модификации успешно себя зарекомендовали в конфигурациях модели с шагами сеток 2.2, 1, 0.5 км, в настоящее время опыт распространен для технологии COSMO-Ru-SIB для западно- сибирских городов (Колкер и др, 2024)

Определяющее влияние начальной информации о границе снега в весенний период

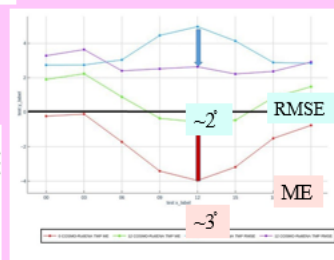


ежегодные локальные максимумы в марте (отмечены значками), начиная с 1х суток прогноза что вряд ли объяснимо накоплением ошибок моделирования

•Одна из актуальных проблем разработка физически- обоснованных алгоритмов редуцирования областей со снегом в весенний период за счет взаимодействия с 3х мерной растительностью



Параллельный счет по двум вариантам начальных данных (см. рисунок) показал существенные различия в прогнозах приземной температуры и других полей (облачности, фазы осадков) при использовании редуцированного снежного покрова и выявил бесспорное преимущество использования редуцирования.



Оценки прогнозов T2м, стартовавших от различных данных о снеге, осреднение по часам суток за март 2024, ЕТР. Стрелки и цифры - максимальные



Источники неопределенностей в численном прогнозировании погоды условно можно подразделить на 2 класса:

(1) – ограничения техник моделирования (разрешение модели, усвоение данных, математическое описание физических процессов)

(2) – квази-случайное проявление природных процессов конвективной деятельности, облако- и осадкообразования, др.

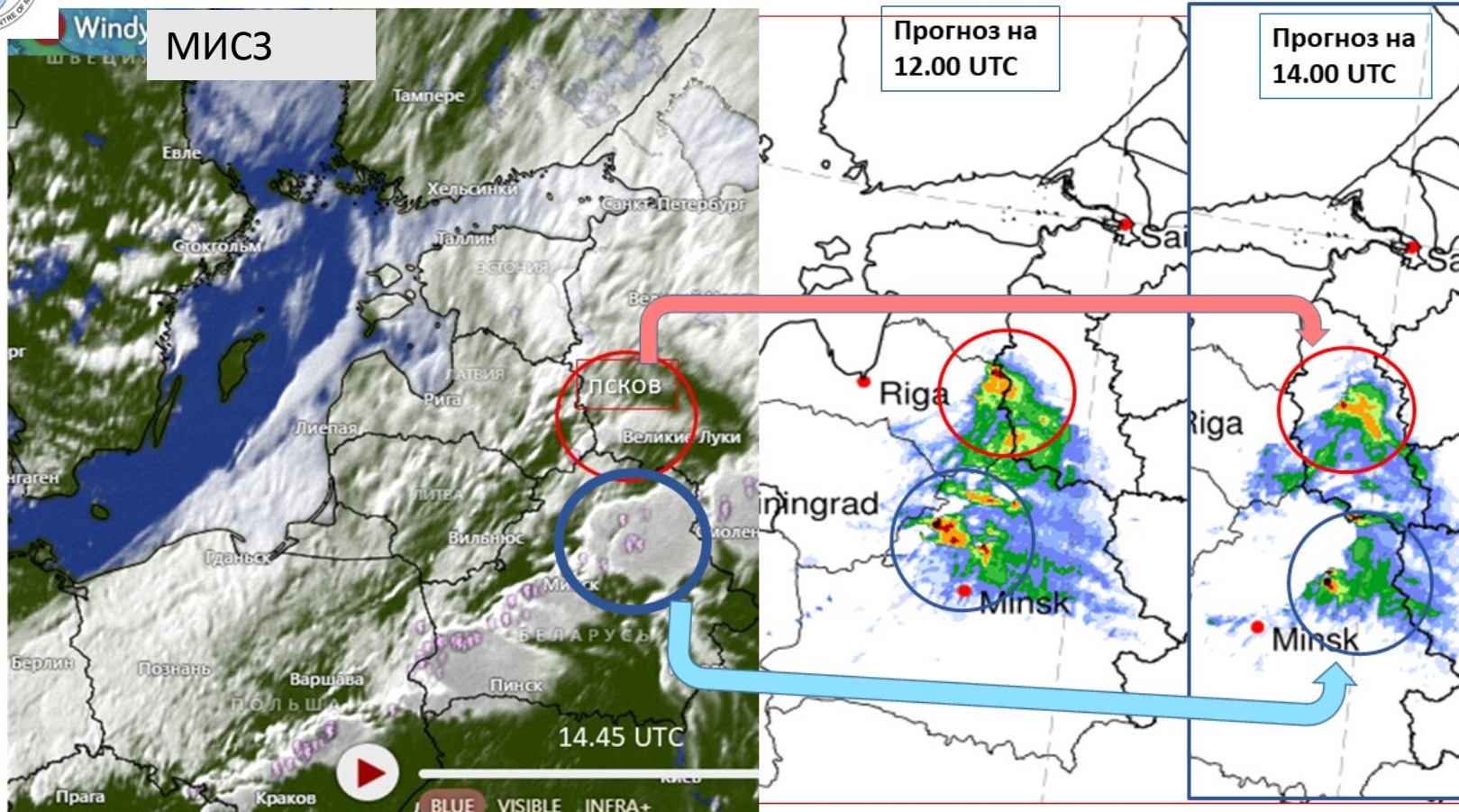


Для ситуаций 2–го класса наиболее проблематично прогнозирование **локализации явлений**. Ощутимое уточнение структуры зон и размеров явлений было получено при уменьшении шагов сетки с 1 км до 500 м, однако, с остающейся неопределенностью положений «очагов».

Для решения таких проблем, оказываются эффективными отход от идеологии детерминистского прогноза, применение «апскейлинговых» алгоритмов в постпроцессинге (Индексы), применение окрестных и объектно-ориентированных методов верификации, ансамблевого моделирования высокой детализации, работа с потребителями, внесение уточнений в нормативную базу Росгидромета



Прогнозы COSMO-Ru2By смерчеопасных ситуаций 19/06/2024 (STP индекс)



19 и 20 июня 2024г на системе атмосферных фронтов развился ряд конвективных структур, принесших шквалистый ветер, сильные ливни, что привело к разрушениям и жертвам в ряде западных и центральных районов Европейской части России и в республике Беларусь.

19 июня разрушительные смерчи наблюдались в Псковской области (5 подтвержденных случаев).

На рисунке: регионы прогноза смерчеопасных ситуаций (по индексу STP), Слева- изображения облачности с МИСЗ.

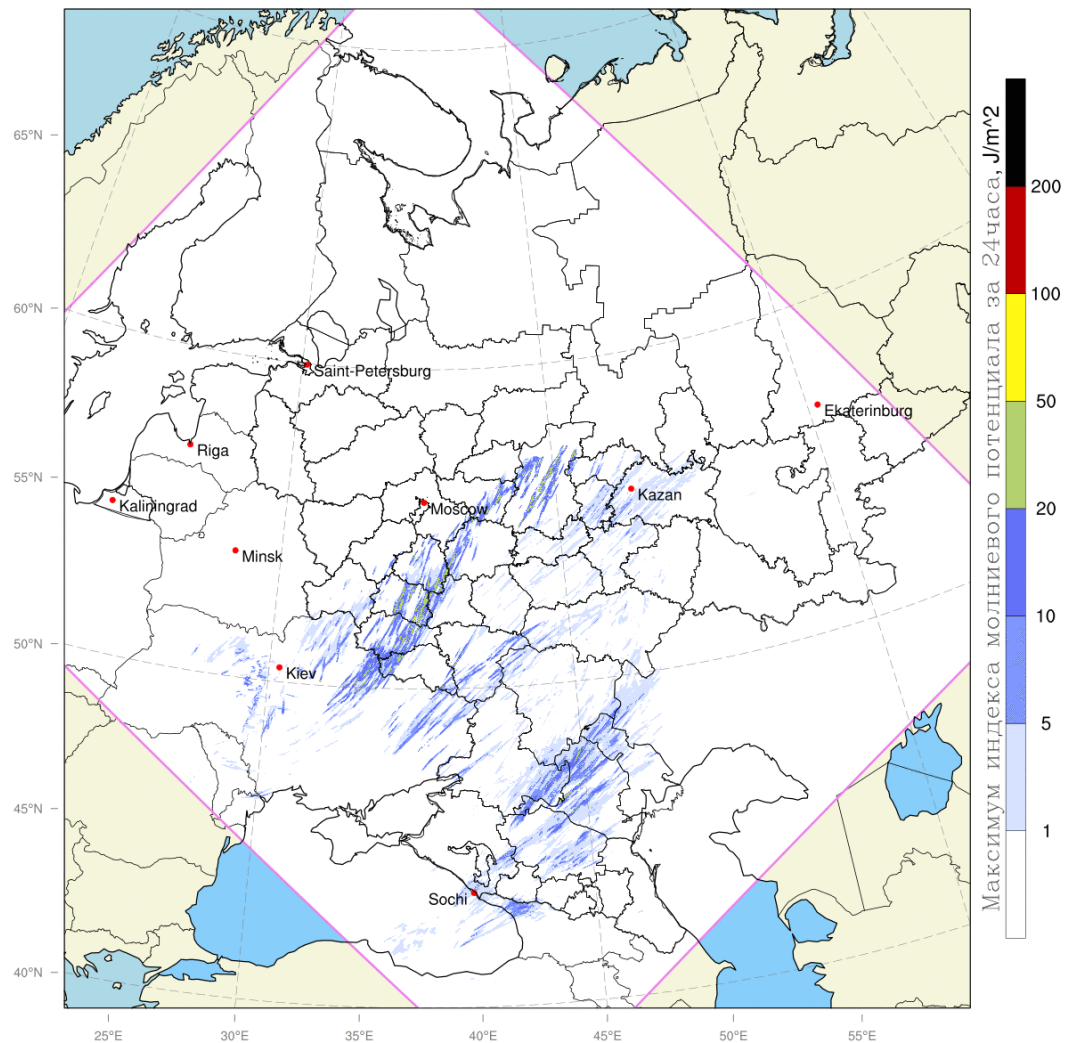
Данный успешный прогноз имел неточность 1-3 часа при ошибках локализации до 150 км

На основе прогнозов COSMO-Ru в СЗ УГМС были сформулированы штормовые предупреждения с передачей в МЧС



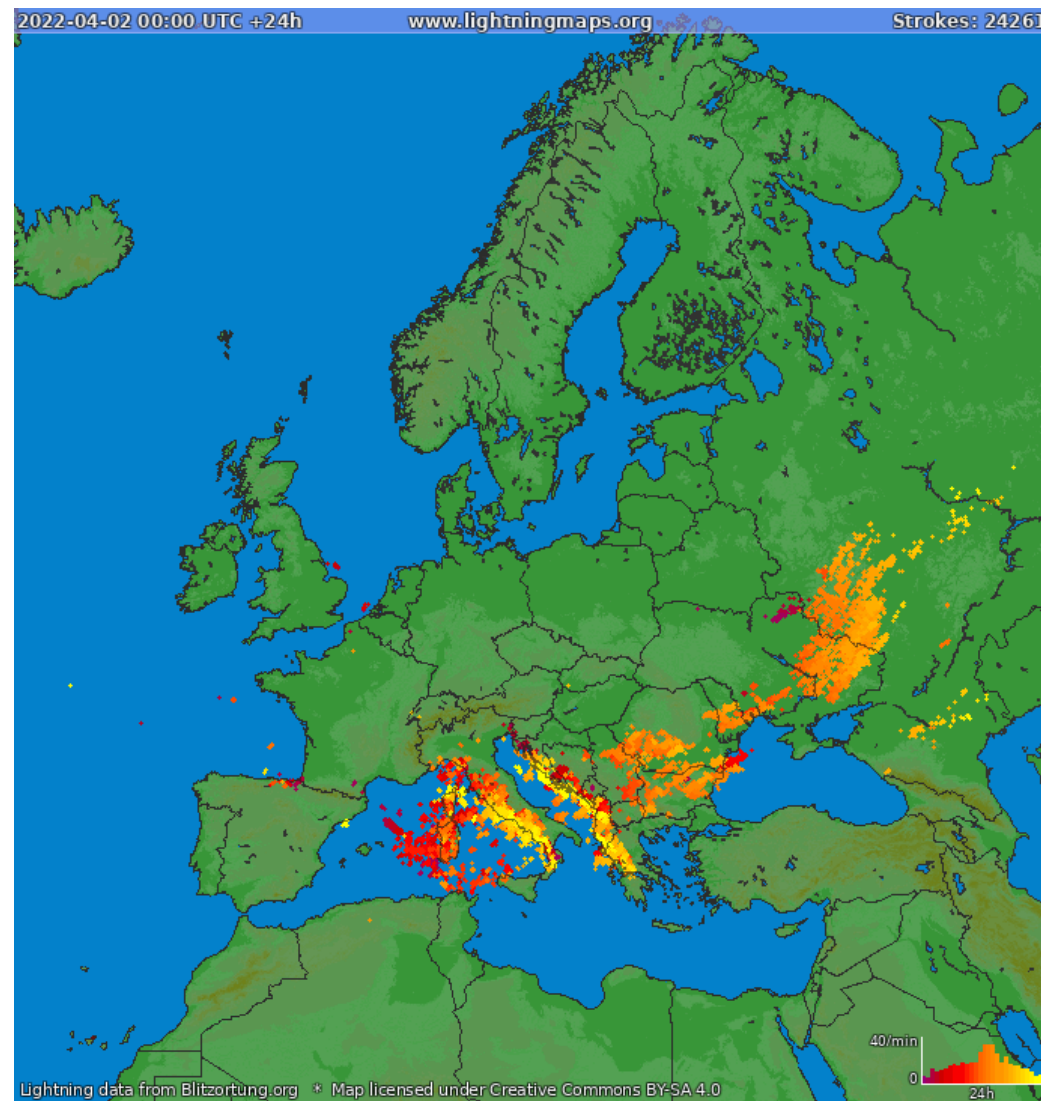
Молниевая активность 2 апреля 2022

Прогноз COSMO 2.2 км от 00:00 UTC.
Максимальные значения LPI за 24 часа



COSMO-RU 2,2км: Прогноз на 48 часов 0мин.
от 2022-04-01 00:00(UTC)

Измерения грозопеленгаторов. Композит за сутки



Lightning data from Blitzortung.org * Map licensed under Creative Commons BY-SA 4.0

Оперативное прогнозирование погоды, Курсы ИПК,
Москва, 16-20 сентября 2024 г

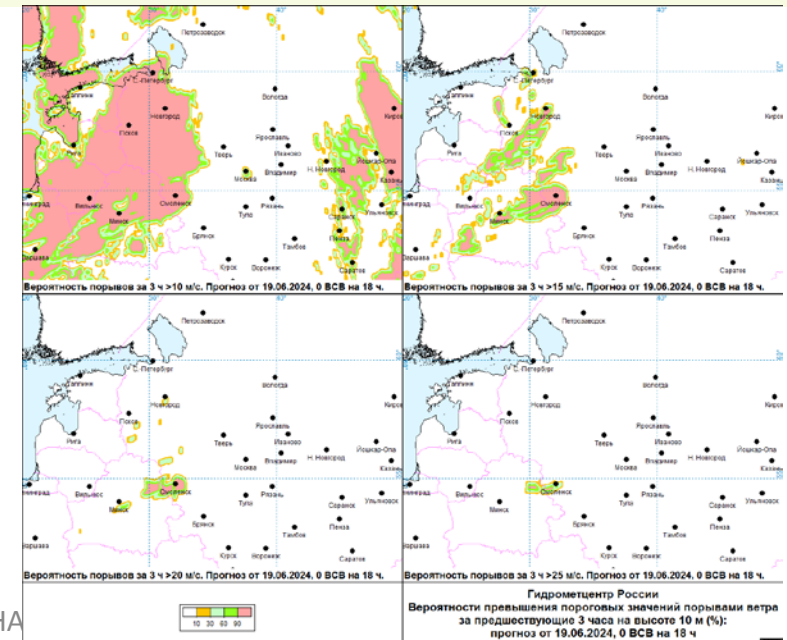
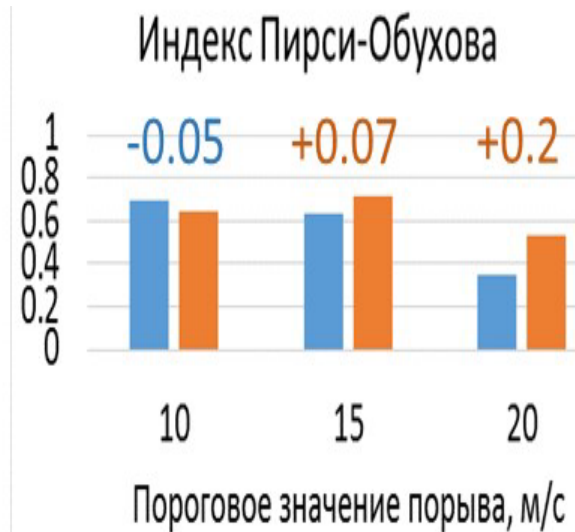


В Гидрометцентре России развиваются системы ансамблевого прогнозирования до 48 часов с шагами сеток менее 3 км:

Создана Система регионального ансамблевого прогноза на основе модели ICON на основе возмущений начальных данных и физических параметров

Квази- оперативно функционируют

- система мульти-модельного лагового ансамбля на основе WRF-ARW- (3 км) Белгидромета и COSMO-Ru2By (2.2 км) Гидрометцентра России,
- Система пространственного ансамбля (по- сути- ап-скейлинга детерминистского прогноза) на базе COSMO-Ru2By (2.2 км)





Резервы повышения качества системы краткосрочного
численного прогноза COSMO-Ru и эффективности интерпретации
продукции в системе разрешения

СПАСИБО!

*Розинкина И.А., Ривин Г.С., Блинов Д.В., Астахова Е.Д., Татаринович Е.В., Бундель А.Ю.,
Курсанов А.А., Варенцов М.И., Самсонов Т.Е., Шувалова Ю.О., Никитин А.Е., Гоморев И.А.,*

Вопросы?

*Волков И.О.
Гидрометцентр РФ,
МГУ им. М.В.Ломоносова*

Inna.rozinkina@mail.ru