



Технологии метеорологического прогнозирования в Российской Федерации: достижения и перспективы

**Р.М. Вильфанд
ФГБУ «Гидрометцентр России»**

2024 г.



Современные технологии подготовки прогнозов погоды основаны на использовании математических моделей природной среды (атмосферы, деятельного слоя суши, океана и др.). Результатом их использования является **численный прогноз погоды (ЧПП)**.

Технологии ЧПП, кроме моделей природной среды, включают:

- технологии оперативного сбора и обработки гидрометеорологической информации;
- систему усвоения данных всех видов метеорологических наблюдений (наземная сеть, спутники и др.);
- программные средства формирования и распространения информационной продукции и другие компоненты (базы данных, средства раскодирования и контроля данных, оценки прогнозов и др.).

Технологии ЧПП используют (должны получать) информацию о состоянии природной среды глобального покрытия со всех видов наблюдательных средств и систем.

Таким образом, выпуск прогнозов погоды предполагает функционирование очень сложной международной информационно-технологической системы.



Наиболее важные результаты достигнуты в следующих областях:

1. Разработка, освоение и внедрение нового поколения прогностических моделей природной среды как основы для совершенствования технологий ЧПП различной заблаговременности (**внедрение на суперкомпьютере CRAY XC40-LC**).
2. Развитие российской группировки космических аппаратов (КА) наблюдения Земли. Получение и использование информации ДЗЗ (**от зарубежных и российских КА**).
3. Разработка и внедрение новой ансамблево-вариационной **системы усвоения данных** наблюдений с использованием нейросетевого моделирования (ИИ).
4. Развитие системы выпуска специализированных метеорологических прогнозов, **прежде всего для авиации** в соответствии с требованиями ИКАО (наиболее требовательный потребитель) .
5. Развитие технологий **ансамблевого прогнозирования**.
6. Развитие системы **наукастинга**, сверхкраткосрочного прогноза.
7. Развитие методов и технологий выпуска **климатических прогнозов** (СЕАКЦ).



Гидрометцентр России: используемые прогностические модели

Наименование	Область применения	Разработчик	Варианты модели (шаг расчетной сетки)
ПЛАВ	Глобальная модель атмосферы	Гидрометцентр России, ИВМ РАН	ПЛАВ072L96 (80км) ПЛАВ20 (20км) ПЛАВ10 (10км)
COSMO-RU	Модель атмосферы по ограниченной территории	Консорциум «COSMO», включая Гидрометцентр России	Разл. конфигурации (1км, 2,2км, 6,6км)
ICON-RU	Модель атмосферы: глобальная; по ограниченной территории	Консорциум «COSMO», включая Гидрометцентр России	Разл. конфигурации (2км, 3,25км, 6,5км, 13км)
INM-CM	Модель Земной системы, включает модель океана	ИВМ РАН	INM-CM5 INM-CM6



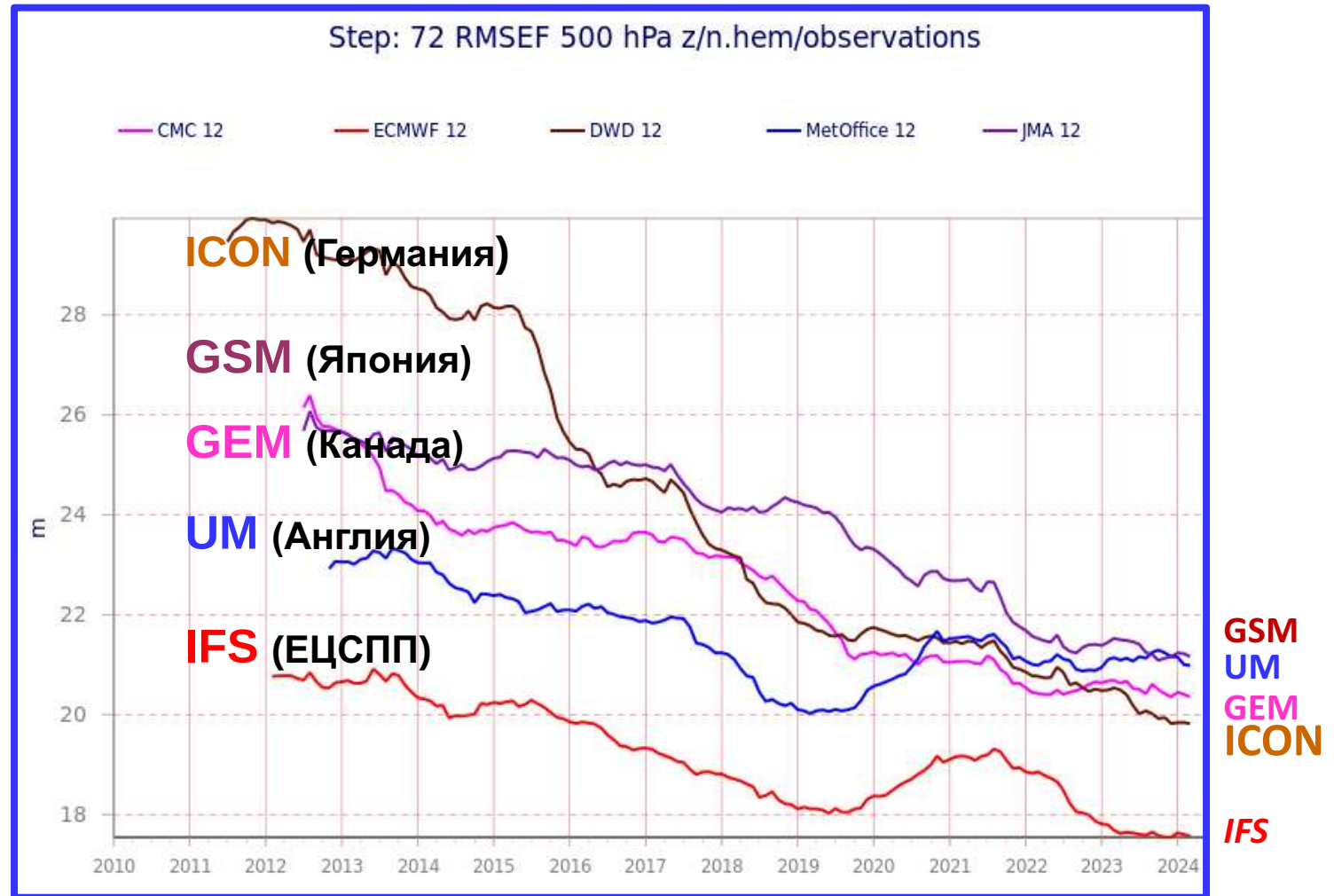
ДОСТИЖЕНИЯ: прогностические модели COSMO-RU, ICON-RU (2)

Динамика качества прогнозирования (RMSE) поля геопотенциала Н500
наиболее совершенными моделями
(Северное полушарие, прогноз на 72 часа, сравнение с данными наблюдений)

В настоящее время наиболее
качественный численный прогноз
дают модели **IFS** (ЕЦСПП), **UM** (Англия),
а также модель **ICON** (консорциум
COSMO).

За 10 лет ошибки модели **ICON**
уменьшились с 28-29 гпм до 20 гпм
(на 37 %). Наибольшая динамика

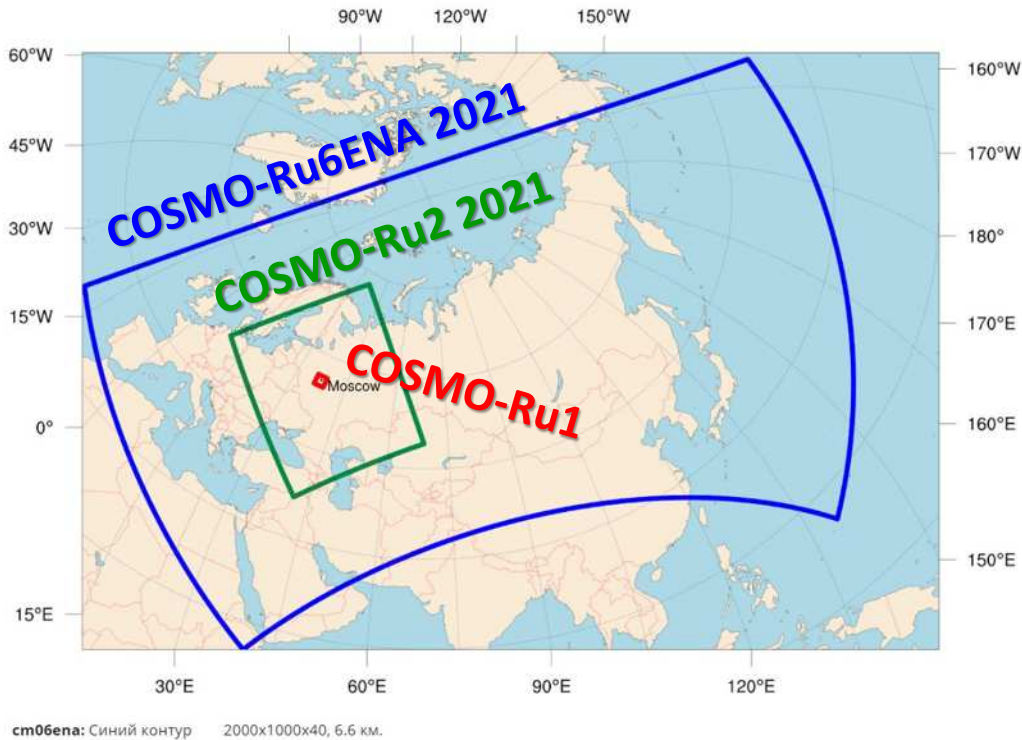
Оценка Центра ВМО
по верификации глобальных ЧПП
(<https://wmoicdnv.ecmwf.int/>)





ДОСТИЖЕНИЯ: прогностические модели COSMO-RU, ICON-RU (2)

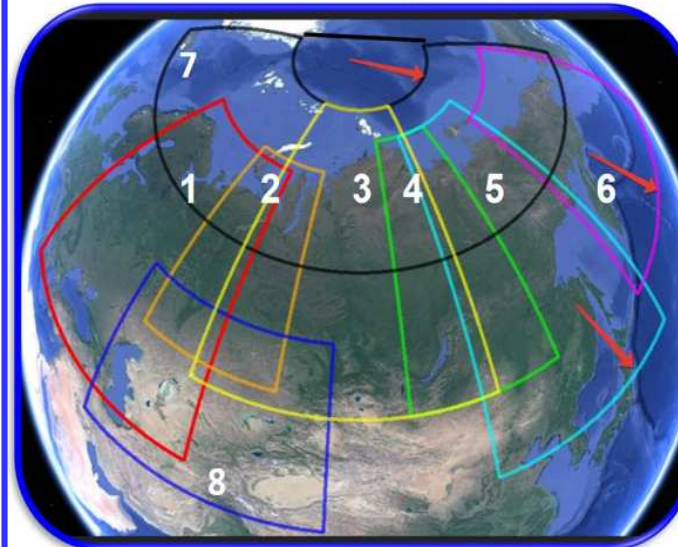
Оперативные модели



Внедрение в 4-м квартале 2024 г.

Модель ICON и развитие системы COSMO-Ru на основе конфигураций ICON-Ru и ILAM-Ru: детализированные конфигурации ILAM-Ru (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

Домены, шаг сетки 2 км	Время / 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

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

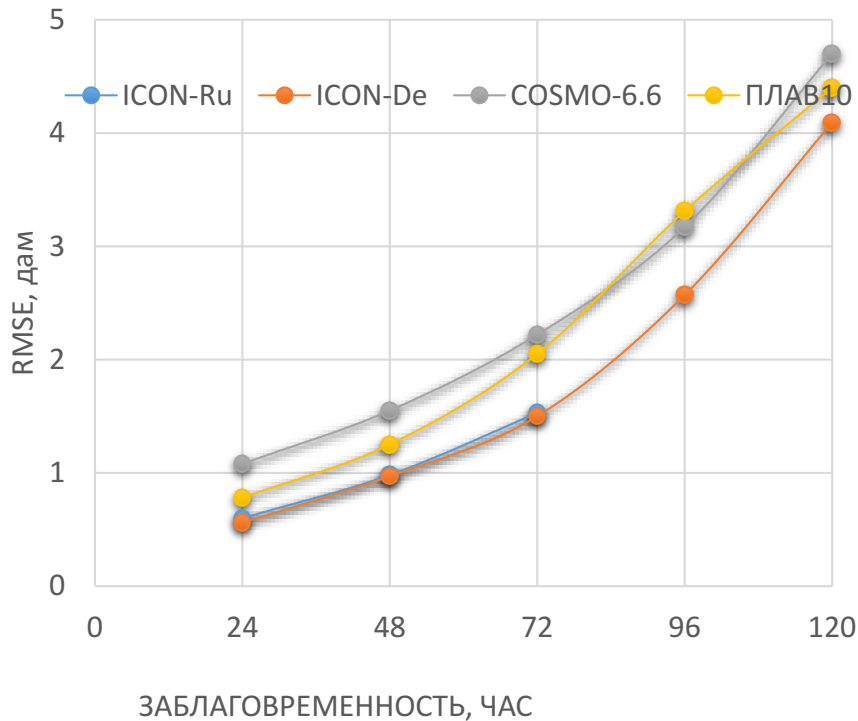
- для ЛЮБОЙ территории России конфигурации с шагом сетки 2,0 км (для Арктики 3,25км);
- для ЛЮБОЙ территории мира с шагом сетки 6,5 км или менее **предстоит работа.**



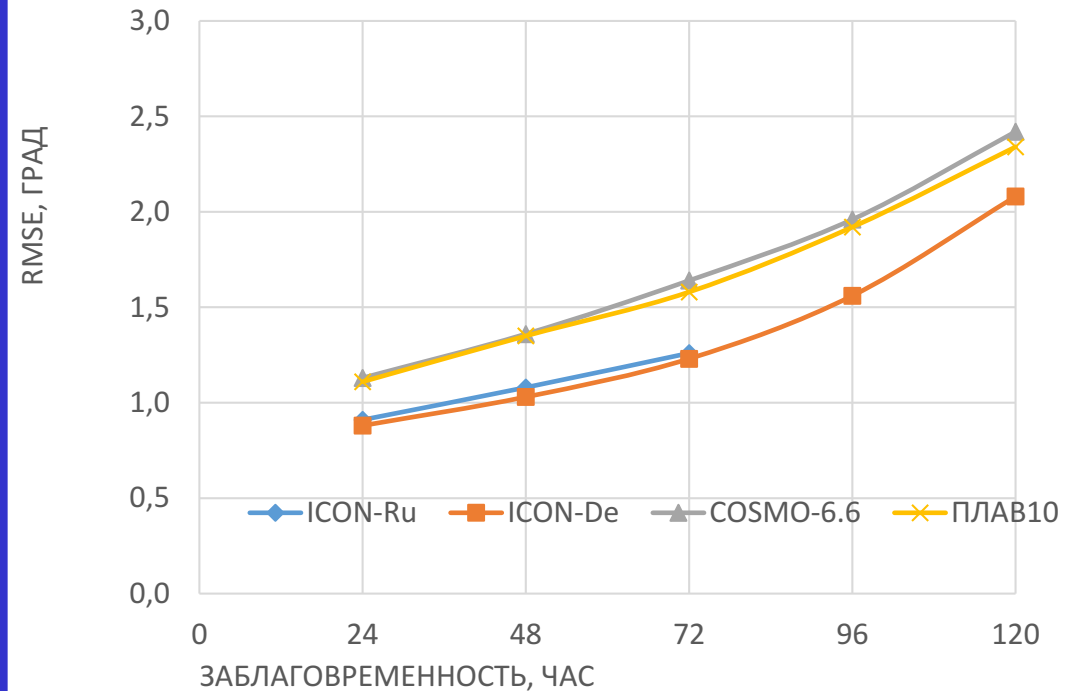
ДОСТИЖЕНИЯ: прогностические модели COSMO-RU, ICON-RU (2)

Качество прогнозов H500 и T850 по конфигурации ICON-Ru примерно соответствует качеству прогнозов по модели ICON-De и лучше, чем оценки прогнозов по COSMO-Ru6ENA и ПЛАВ10 (регион Европа)

H500 RMSE



T850 RMSE





ДОСТИЖЕНИЯ: оперативная прогностическая модель ПЛАВ (4)

Изменение средних ошибок прогноза поля H500 на 72 часа
по моделям ПЛАВ (по области 20°... 90° с.ш.) по годам

2016г. – внедрили модель
ПЛАВ20.

2022г. – отключили от части
данных зарубежных спутников.

2023г.(сент.) – внедрили модель
ПЛАВ10





Российские космические системы метеорологического назначения

В рамках федеральных космических программ (ФКП) на 2006-2015 годы и 2016-2025 годы выполнены работы:

Развернута космическая система **«Электро-Л»** на основе геостационарных КА **«Электро-Л»** (первый запуск 20.01.2011).

Восстановлена космическая система **«Метеор-М»** на основе нового поколения полярно-орбитальных КА **«Метеор-М» №1, №2** (запуск КА **«Метеор-М» №1** 17.09.2009, запуск КА **«Метеор-М» №2-4** 29.02.2024) .

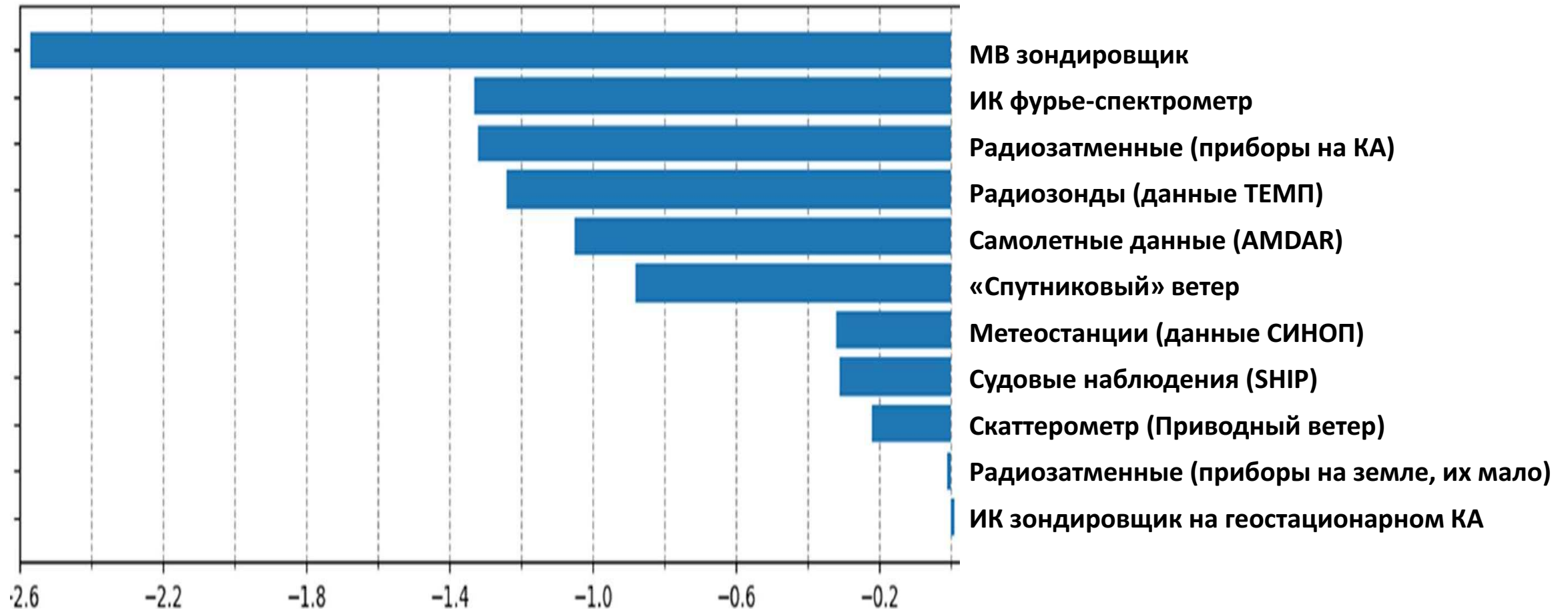
Создана уникальная космическая система **«Арктика-М»** включающая КА на высоко-эллиптической орбите (запуски КА **«Арктика-М»**: №1 - 28.02.2021, №2 - 16.12.2023).

Развернута космическая система наблюдения Земли **«Канопус»** (первый запуск КА **«Канопус»** 22.07.2012).



Влияние различных источников информации на качество ЧПП

(Изменение средней ошибки прогнозов (%%) при поочередном исключении перечисленных видов наблюдений. Ошибки усреднялись по прогнозируемым величинам, территории и заблаговременности (от 12 до 144 часов). Прогнозы оценивались в сравнении с **данными анализов ЕЦСПП**)





«Спутниковый» ветер

Важное значение для качества прогнозов погоды имеют характеристики ветра в атмосфере (уровень, скорость, направление), определяемые по движению атмосферных неоднородностей (трассеров) в полях облачности и влажности, так называемый «спутниковый» ветер.

Наиболее совершенная система определения «спутникового» ветра (система CIMMS, США, г. Мэдисон, штат Висконсин), использующая данные геостационарных и полярно-орбитальных КА, имеет ошибки в скорости ветра 4-5 м/с.

Создана отечественная система определения «спутникового» ветра, использующая информацию от спутников **«Электро-Л»** и **«Арктика-М»**. В настоящее время она имеет заметно большие ошибки в скорости ветра.

Ведутся работы по совершенствованию отечественной системы определения «спутникового» ветра.



ДОСТИЖЕНИЯ: российская группировка КА наблюдения Земли (4)

Эффект от использования данных наблюдений отечественного спутникового радиометра **МТВЗА-ГЯ** в системе усвоения данных Гидрометцентра России

Обозначения:

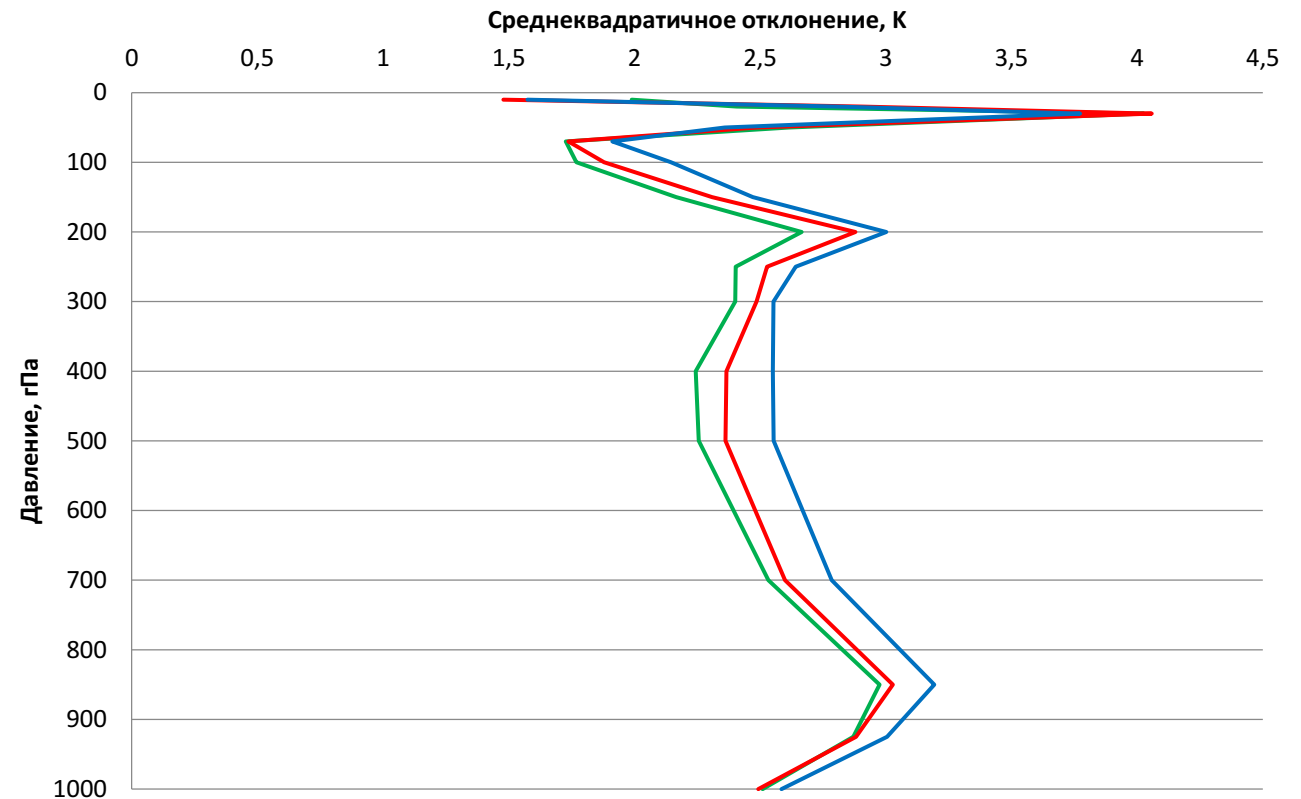
- **Зеленая линия** – усваиваются данные МВ зондировщиков AMSU-A (США);
- **Красная линия** – усваиваются данные МВ зондировщика МТВЗА-ГЯ (Россия);
- **Синяя линия** – без усвоения данных МВ зондировщиков.

Во всех перечисленных вариантах кроме того усваиваются данные:

- наземных наблюдений;
- спутникового ветра;
- данные радиозатменных наблюдений.

Вывод: данные МТВЗА-ГЯ в южном полушарии дают положительный эффект, равный примерно половине эффекта от использования данных американских приборов AMSU-A.

Южное полушарие, среднеквадратическая ошибка прогноза температуры на 72 часа





Основные компоненты системы усвоения данных наблюдений:

- 1) **Модель краткосрочного прогноза** – «переносит» информацию о прошлых наблюдениях на начальный момент нового прогноза.
- 2) **Модели наблюдений** – связывают наблюдаемые величины, например яркостные температуры, измеряемые на КА, и поля метеовеличин, используемые для прогнозирования погоды (необходимы для «косвенных» наблюдений с КА).
- 3) **Статистическая модель 3-мерного поля ошибок прогноза**
- 4) **Статистические модели ошибок усваиваемых наблюдений**
- 5) **Вычислительная схема оптимального объединения данных текущих наблюдений и результатов краткосрочного прогноза в единые глобальные поля метеовеличин (солвер).**



ДОСТИЖЕНИЯ: система усвоения данных (2)

**Система глобального усвоения данных Гидрометцентра России
усваивает информацию от следующих видов приборов ДЗЗ:**

Прибор	Принадлежность	Спектральный диапазон, метод	Определяемая характеристика	Примечание
AMSU-A	США, ЕС	МВ	Температура	
MHS	США, ЕС	МВ	Влажность	
ATMS	США	МВ	Температура	
MTB3A-ГЯ	Россия	МВ	Температура, влажность	Не оперативно
MWTS-2	Китай	МВ	Температура	
IASI	ЕС	ИК	Температура, влажность, облачность	
ИКФС-2	Россия	ИК	Температура, влажность, облачность	Сейчас данные отсутствуют
CrIS	США	ИК	Температура, влажность, облачность	
GRAS	ЕС	Радиозатменный	Температура, влажность	
AMV-Geo	США	Трассеры	Ветер	
AMV Polar	США	Трассеры	Ветер в полярных регионах	
AMV-LeoGeo	США	Трассеры	Ветер в полярных регионах	
AMV-NEO	Россия (Арктика-М)	Трассеры	Ветер в высоких широтах	Не оперативно
ASCAT	ЕС	Скаттерометр	Ветер приводный	



ДОСТИЖЕНИЯ: система усвоения данных (3)

Применение методов нейросетевого моделирования при усвоении данных

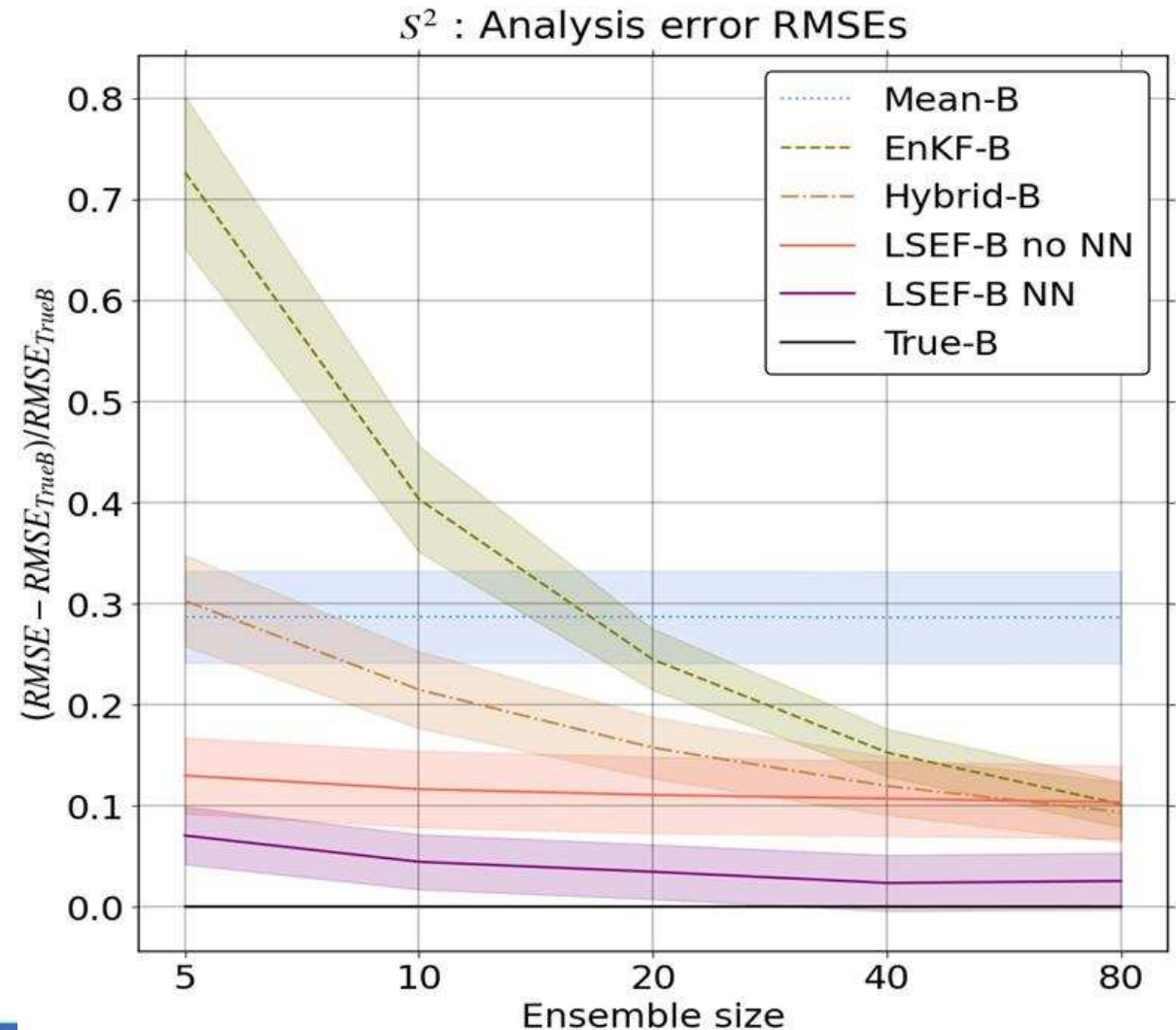
Относительная ошибка разных схем ансамблевого усвоения данных при различном объёме ансамбля

Пурпурная кривая (нижняя) – новая схема ансамблево-вариационного усвоения данных с использованием нейросети (LSEF-B NN).

Другие кривые представляют схемы усвоения без использования нейросети (LSEF-B no NN – новая схема без нейросети, MEAN-B, EnKF, Hybrid-B; True-B – «идеальный» метод).

Цветные полосы – 90% доверительные интервалы.

Виден значительный положительный эффект от новой схемы усвоения с использованием нейросети.





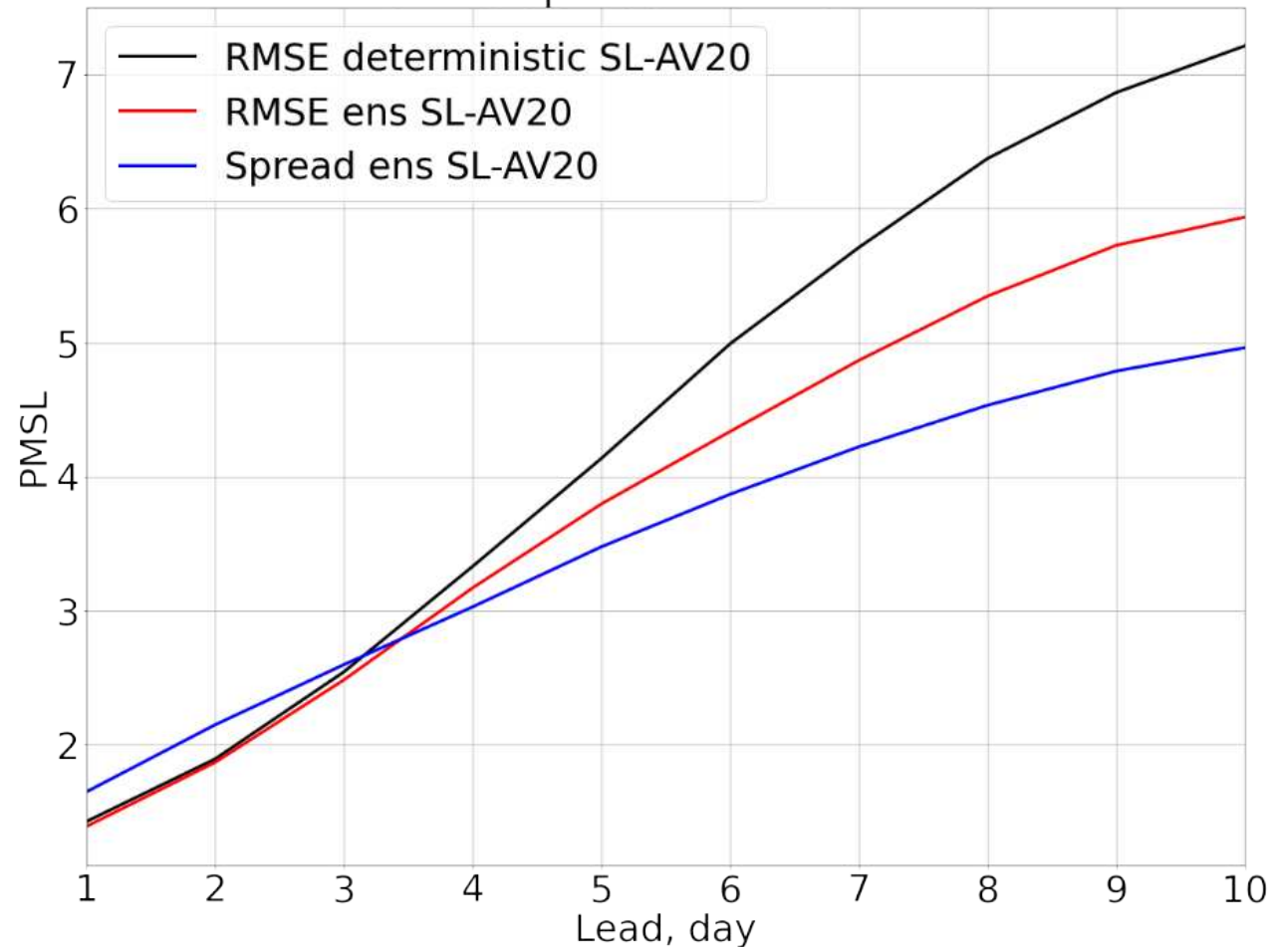
ДОСТИЖЕНИЯ: ансамблевые методы (1)

Внедрена технология ансамблевого среднесрочного прогноза (41 член ансамбля)
на основе модели ПЛАВ072L96 (шаг сетки 80км).

Технология на основе ПЛАВ20 проходит оперативные испытания

Среднеквадратическая ошибка
ансамблевого и **детерминистического**
прогноза давления на уровне моря;
разброс ансамблевого прогноза.

Технология на основе ПЛАВ20 в
среднем за период 15.05–14.06.2023;
20-90°с.ш., ансамбль 36 членов)





ДОСТИЖЕНИЯ: прогнозы для авиации

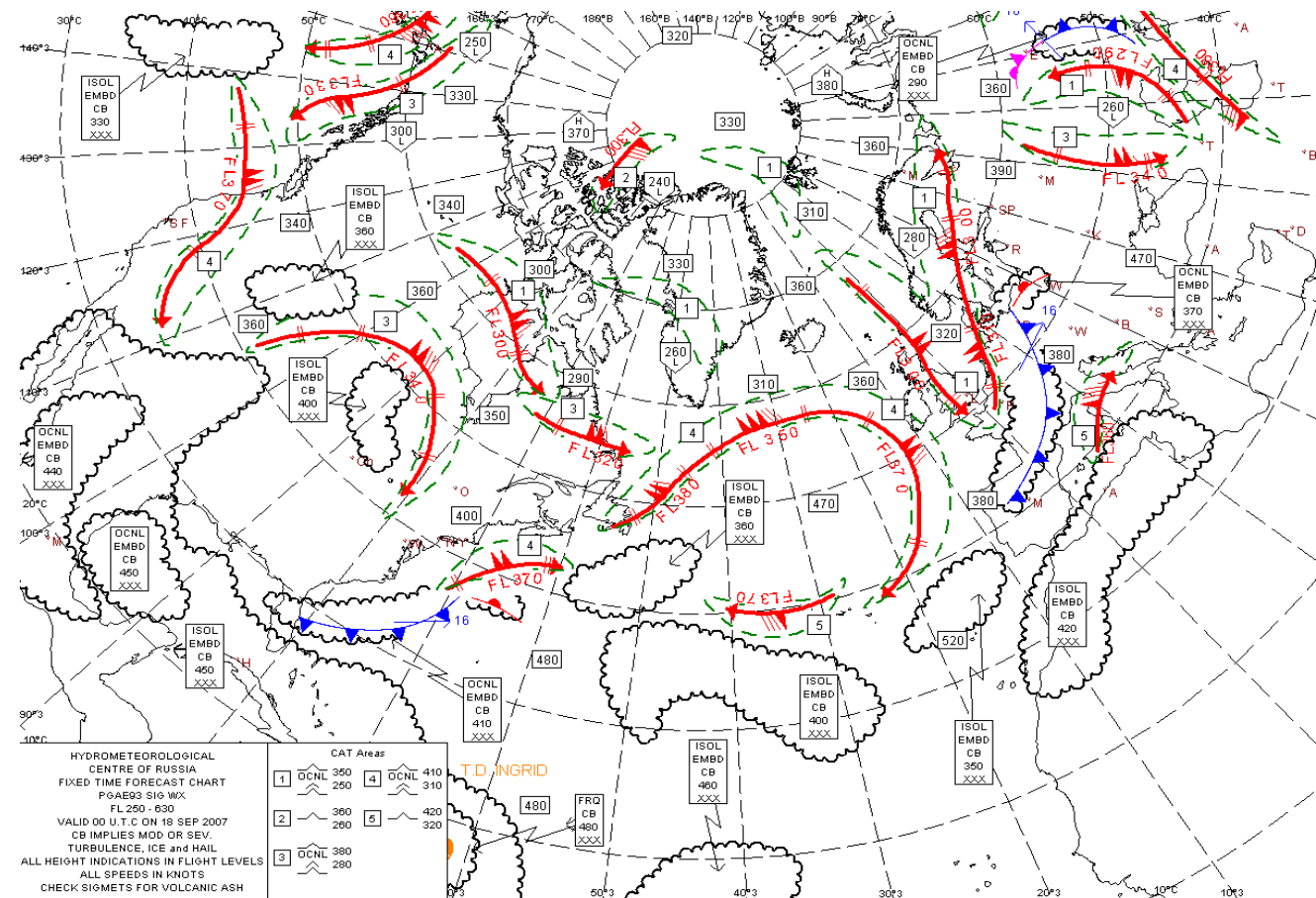
Организовано **импортозамещение** продукции ВСЗП ИКАО на основе продукции ЧПП, включая выпуск:

- карт прогноза особых явлений (SigWX) для авиации на 24 ч;
- прогностических полей метеоэлементов на эшелонах на 6-72 ч (4 комплекта в сутки).

Особые явления (характеристики):

- **Струйные течения** (скорость на оси, направление, высота оси)
- **Тропопауза** (высота, температура)
- **Кучево-дождевая облачность** (высота верхней границы, площадь покрытия)
- **Обледенение** (интенсивность, границы слоев)
- **Турбулентность** (интенсивность, границы слоев)

Пример карты прогноза особых явлений для авиации на 24 часа





ДОСТИЖЕНИЯ: наукастинг (1)

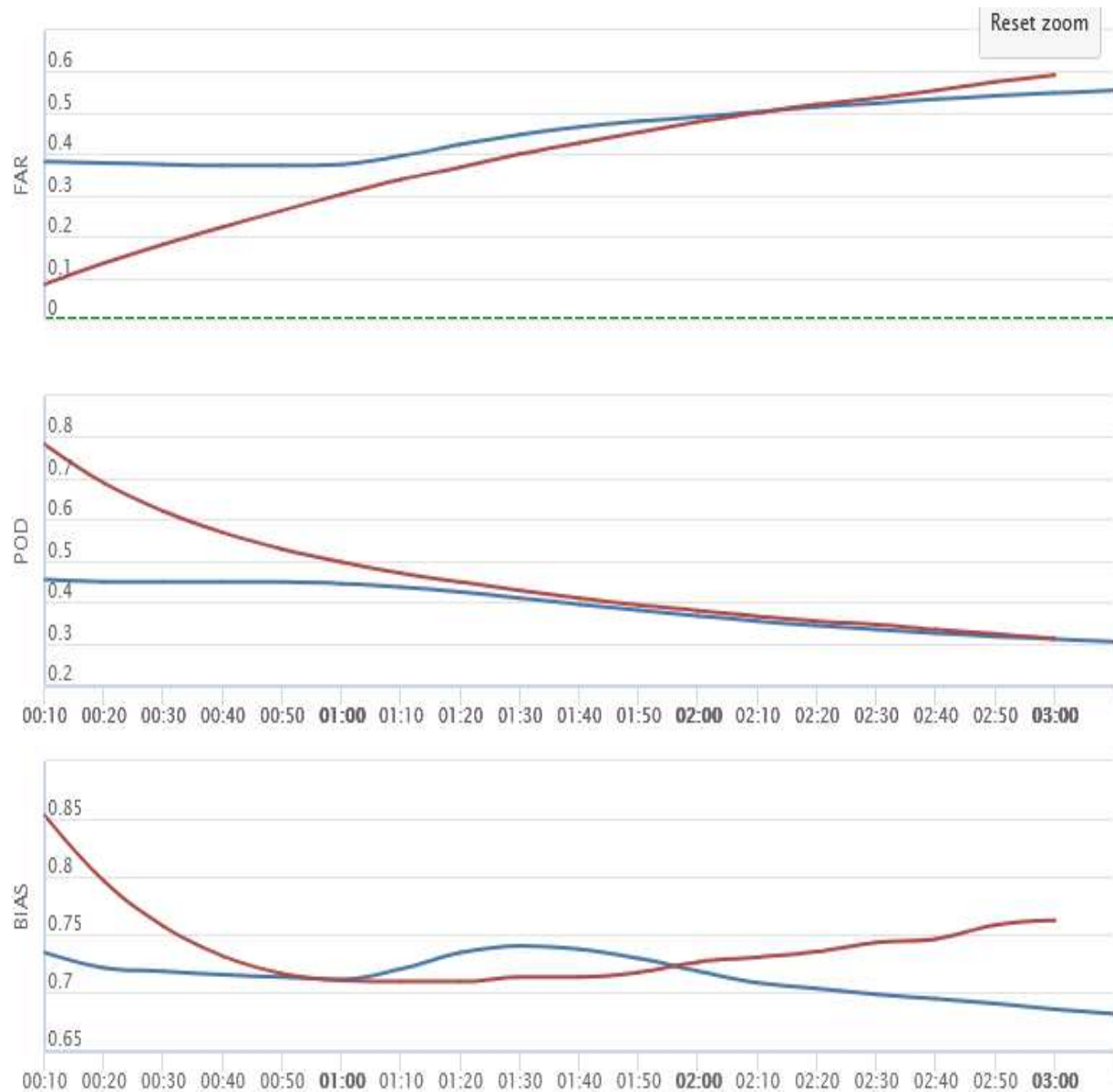
Наукастинг (прогноз текущей погоды) - детализированный прогноз погоды на ближайшие часы (до 2-6 часов). Актуален, прежде всего, для прогноза быстроразвивающихся опасных явлений (ливни, шквалы).

Для наукастинга применяются статистические (в том числе нейросетевые) методы экстраполяции результатов детальных метеорологических наблюдений (ДМРЛ, ИСЗ).

Возможности численных прогнозов таких явлений на 1-2 часа сегодня ограничены (спинап).

Оценки успешности прогнозов интенсивности осадков системы COSMO-RU2 (синие кривые) и STEPS (красные кривые) на интервале наукастинга.

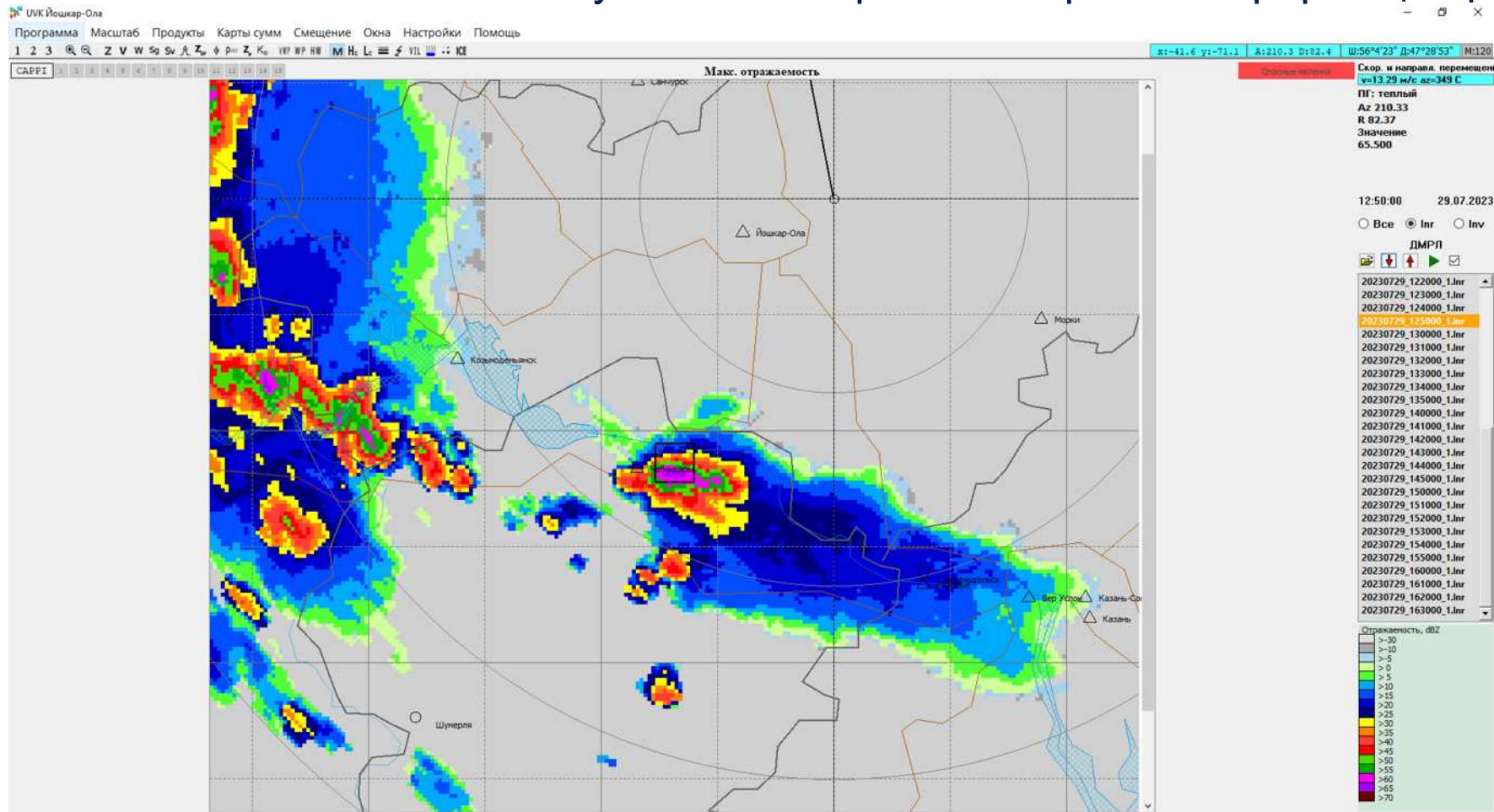
FAR – доля ложных тревог;
POD – доля совпадений;
BIAS – смещение.





ДОСТИЖЕНИЯ: наукастинг (2)

Экспериментальная технология наукастинга порывов ветра по информации ДМРЛ



С лета 2023 года тестируется система STEPS для радарного наукастинга порывов ветра с применением алгоритмов, построенных с использованием машинного обучения («случайный лес»).



ДОСТИЖЕНИЯ: Климатические прогнозы (СЕАКЦ) (1)

В рамках реализации проекта ВИП ГЗ модель Земной системы ИВМ РАН адаптирована для использования в Гидрометцентре России / СЕАКЦ.

Решениями Центральной методической комиссии Росгидромета по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) в прогностическую работу ФГБУ «Гидрометцентр России» и СЕАКЦ **внедрены:**

- система сезонного метеорологического прогноза на базе модели INM-CM5 (Решение ЦМКП от 22 ноября 2023 года);
- метод сверхдолгосрочного прогнозирования состояния климатической системы на основе климатической модели ИВМ РАН INM-CM5 и системы подготовки данных Гидрометцентра России (Решение ЦМКП от 22 ноября 2023 года);
- метод сезонных прогнозов температуры поверхности океана и состояния морского льда на основе модели Земной системы ИВМ РАН и системы подготовки данных ФГБУ «Гидрометцентр России» (Решение ЦМКП от 26 июня 2024 г.);
- технология сезонного прогнозирования на базе версии модели INM-CM6, включающей дополнительный модуль расчета сверхдолгосрочных прогнозов внедрена в прогностическую работу ФГБУ «Гидрометцентр России» и СЕАКЦ (Решение ЦМКП от 11 сентября 2024 г.).



ДОСТИЖЕНИЯ: Климатические прогнозы (СЕАКЦ) (2)

СЕАКЦ выполняет функции одного из узлов Региональной климатической сети в регионе **РА-VI (Европа)** со специализацией в области долгосрочных прогнозов.

В **РА-II (Азия)** **СЕАКЦ** работает в качестве Многофункционального регионального климатического центра.

Продукция СЕАКЦ (сайт: <https://seakc.meteoinfo.ru/ru/>) :

- Сезонные прогнозы
- Внутрисезонные прогнозы
- Специализированные прогнозы
- Прогноз на отопительный/вегетационный период
- Консенсусный прогноз
- Обзор ожидаемых аномалий
- Статистическая интерпретация прогнозов по модели Гидрометцентра России
- Индексы циркуляции, засушливости
- Экстремальные явления
- Десятилетние прогнозы

Используются: глобальные модели атмосферной циркуляции ПЛАВ (Гидрометцентр России); модель МОЦА (ГГО); модели Земной системы INM CM5/6 (ИВМ РАН).



Новые тенденции в развитии климатических прогнозов в Гидрометцентре России/СЕАКЦ:

- Переход к динамическим методам климатического прогнозирования – глобальная тенденция.
- В Гидрометцентре России до недавнего времени долгосрочные метеорологические прогнозы выпускались на основе моделей общей циркуляции атмосферы. Без использования океанской компоненты заблаговременность климатических прогнозов была ограничена сезоном.
- В настоящее время для выпуска климатических прогнозов используется модель океана в составе модели Земной системы INM-CM IBM РАН, что позволило увеличить заблаговременность климатических прогнозов.

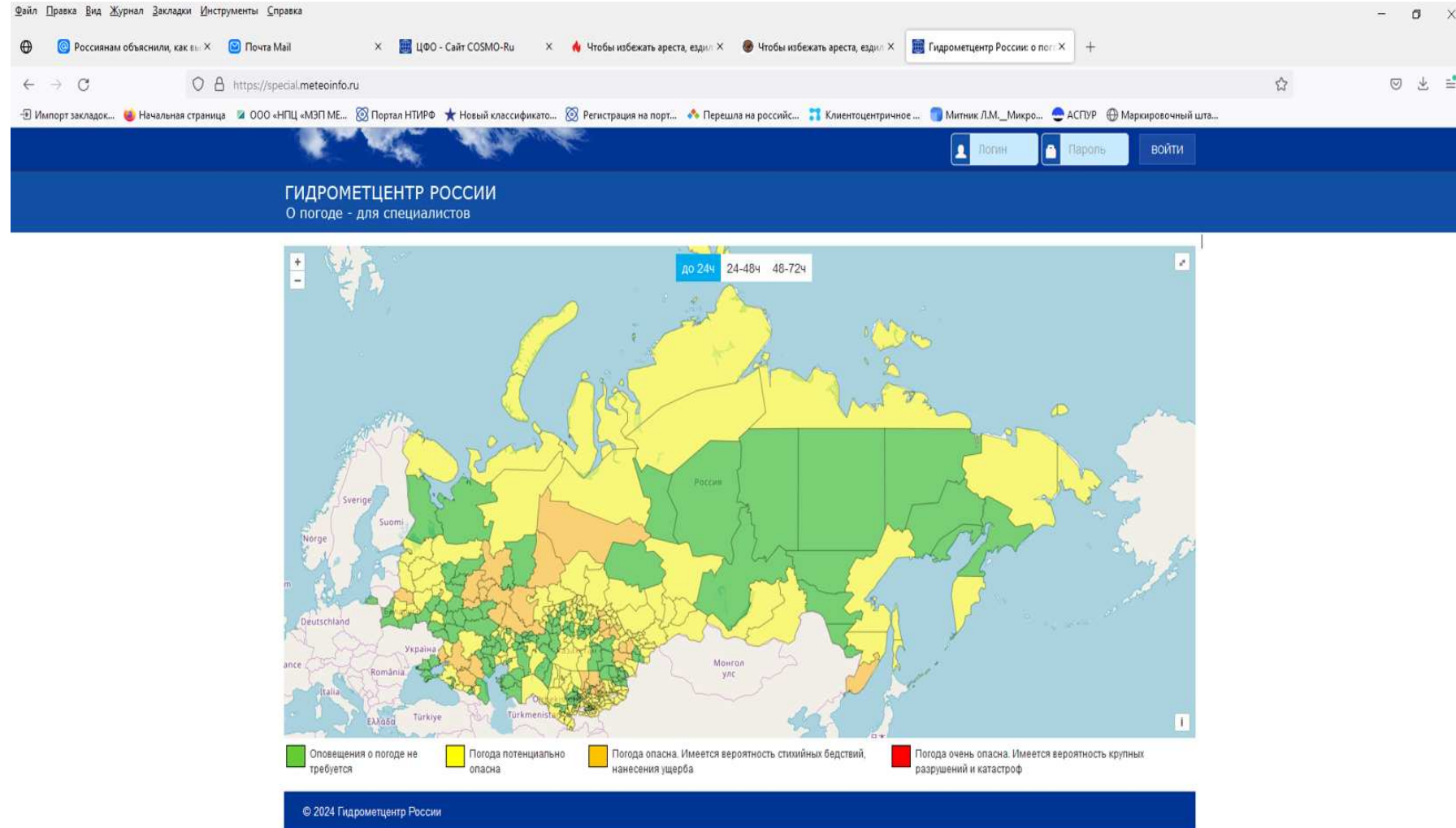


Для синоптиков: специализированный сайт (1):

<https://special.meteoinfo.ru/>

На этом сайте представлены:

- фактические данные (карты, таблицы, графики);
- предупреждения (WAREP) на карте и в таблице;
- модельные прогнозы (динамическая карта, графики, таблицы, прогностический зонд и др.);
- выделение зон превышения пороговых значений (НЯ, ОЯ);
- спутниковые снимки.





Для синоптиков: методическая деятельность (2)

- Разработка и актуализация руководящих документов Росгидромета.
- Методические инспекции прогностической деятельности УГМС.
- Ежедневные оперативные совещания с УГМС для обсуждения прогнозов и сложных синоптических ситуаций.
- Методические семинары с УГМС по использованию продукции Гидрометцентра России, а также получение обратной связи для совершенствования методов и технологий.
- Профильные курсы повышения квалификации для прогнозистов на базе ИПК Росгидромета.



Рост качества прогнозирования опасных гидрометеорологических явлений за 10 лет

Год	Опасные явления (ОЯ), нанесшие ущерб		Штормовые предупреждения (ШП)	
	Число ОЯ	Предупрежденность	Количество ШП	Оправдываемость
2013	455	91,6%	2060	92,5%
2023	488	96,4%	2224	96,2%
Динамика	+33	+4,8%	+164	+3,7%



Роль синоптика - прогнозиста (3)

Хотя современные прогнозы погоды основаны на ЧПП,
важна роль **синоптика**, включающая:

- **обобщение разнородной** по содержанию, форме представления и точности объективной фактической и прогностической информации;
- **интерпретацию численных прогнозов в терминах явлений** и параметров приземной погоды;
- **оценку влияния локальных особенностей** района прогноза на эволюцию погодообразующих процессов;
- **оценку возможности возникновения и интенсивности опасных** природных явлений и резких изменений погоды;
- **Ответственность за выпущенный прогноз, штормовое предупреждение.**





**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ !**



Дополнительная информация будет представлена в докладах **на 2-й секции:**

Д.Б. Киктев (Гидрометцентр России). Состояние, проблемы и перспективы развития систем раннего предупреждения на временных масштабах атмосферной памяти (от десятков минут до десяти дней).

В.М. Хан (Гидрометцентр России). Состояние, проблемы и перспективы развития систем долгосрочного ЧПП.