



Мезомасштабный ансамблевый прогноз погоды в Гидрометцентре России на основе негидростатической модели атмосферы COSMO-Ru

Алферов Д.Ю., Астахова Е.Д., Ривин Г.С., Розинкина И.А.

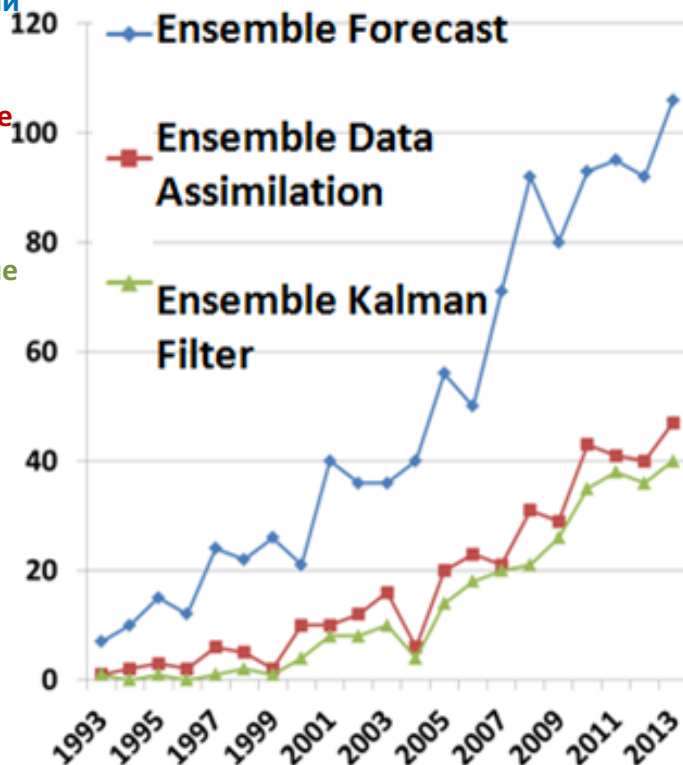
Активизация исследований

в области ансамблевого прогноза и ансамблевого усвоения данных

• Ансамблевый прогноз

• Ансамблевое усвоение данных

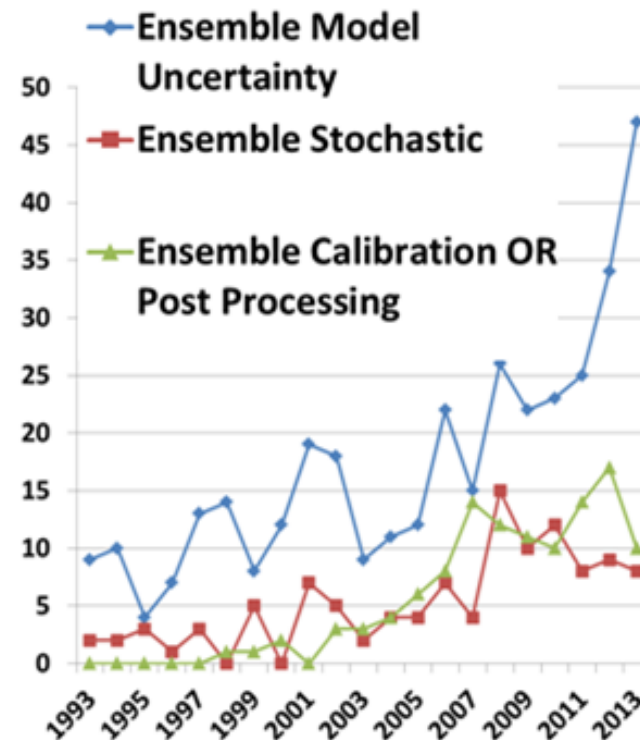
• Ансамблевые фильтры Калмана



• Ансамбли и неопределенность модели

• Стохастические ансамбли

• Калибровка и/или постпроцессинг ансамблей



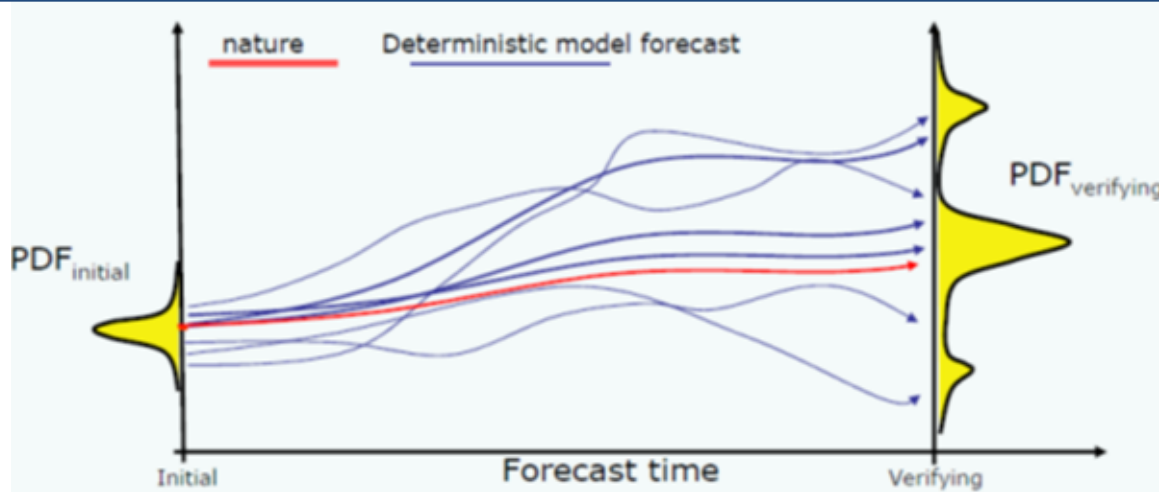
Число статей, в аннотации к которым содержатся указанные слова, в журналах AMS за год

Источник: C. Reynolds, C. Muroi, T. Hamill. *Current Issues and Challenges in Ensemble Forecasting*.

// 29 конференция Рабочей группы ВМО по численным экспериментам, Мельбурн, Австралия, 10-13 марта 2014.

Что такое ансамблевый прогноз?

Приближенное описание эволюции плотности распределения вероятности, учитывающее неопределенность начальных данных и ошибки моделей



Детерминированные прогнозы чувствительны к входным данным.

Ансамблевый прогноз – набор детерминированных прогнозов на один и тот же момент времени, полученных с использованием слегка различающихся данных о начальном состоянии атмосферы, подстилающей поверхности и модели атмосферы (плотность распределения вероятности (ПРВ, PDF) известна неточно).

При генерации ансамбля стремятся к тому, чтобы результаты прогнозов описывали неопределенности, возникающие за счет неточности начальных данных о состоянии атмосферы и подстилающей поверхности, а также за счет несовершенства модели атмосферы.

Применение ансамблевого подхода позволяет дать априорную оценку качества прогноза с учетом конкретной ситуации.

Источники ошибок прогноза

- **Неточность начальных и боковых граничных условий, их дискретизация => погрешности интерполяции**
 - Боковые граничные условия сами являются результатом прогноза!
- **Погрешности модели**
 - численные методы
 - дискретизация данных
 - параметризация подсеточных процессов

Пути решения

- **Возмущение входных данных**
 - сингулярные векторы, breeding-метод и т.п.
- **Стохастическое возмущение физических тенденций (SPPT)**
 - компоненты влажности атмосферы, почвы...
- **Возмущение настроечных параметров параметризаций подсеточных процессов**
 - требует аккуратного подбора возмущаемых компонентов
 - желательна балансировка весов ансамблевых реализаций в соответствии с повторяемостью соответствующих характеристик процессов
- **Мультимодельный подход**
 - Вариант: использование входных данных из более грубого ансамбля
 - Ещё один вариант: «лагирование» – использование данных нескольких последовательных прогнозов

Мезомасштабные ансамбли высокого разрешения с прямым моделированием глубокой конвекции (convection-resolving ensemble)

- **Направление, активно развивающееся в настоящее время**
 - Великобритания (UKMO; 2,2 км), США (NCER; 3-4 км), Норвегия (2,5 км) и др.;
 - в рамках COSMO: Германия, Италия, Швейцария (все - 2,2 или 2,8 км)

Причины:

- Развитие моделей высокого разрешения (шаг 2 км, 1 км, ...)
- Чем мельче масштаб, тем сложнее описываемые процессы => проблемы предсказуемости
- Большая детализация вероятностного прогноза, оценок предсказуемости
- Прогноз опасных явлений, развития штормов и т.п. (storm-scale ensemble)

Мезомасштабные ансамбли:

Сочи-2014

- Мезомасштабная система ансамблевого прогноза (САП) COSMO-Ru2-EPS была разработана в рамках одной из задач проекта FROST-2014*: развитие и адаптация систем ансамблевого прогноза для региона Сочи
- 2 ансамбля с прямым моделированием глубокой конвекции
 - COSMO-Ru2-EPS (Гидрометцентр России, шаг сетки по горизонтали 2,2 км)
 - HARMON-EPS (Metno, Норвегия, шаг сетки по горизонтали 2,5 км)
- САП COSMO-Ru2-EPS работала в оперативном режиме (2 прогноза в сутки) во время Сочи-2014 и была высоко оценена прогнозистами

*FROST-2014 (Forecast and Research in the Olympic Sochi Testbed) – международный проект Всемирной программы Метеорологических исследований ВМО по метеорологическому обеспечению зимних Олимпийских игр 2014 года в Сочи

Организация ансамбля COSMO-Ru2-EPS



ECMWF-EPS

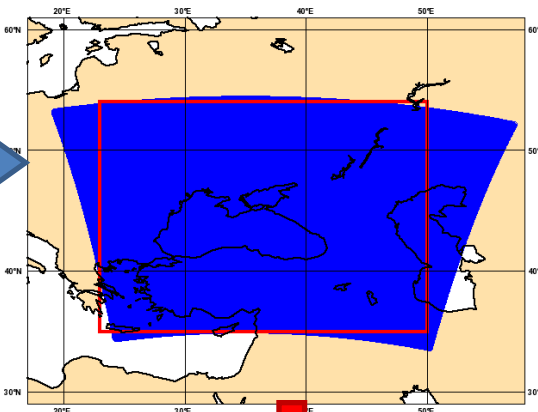
Глобальный ансамбль

T779L61 ($\Delta x \sim 30$ км)

51 реализация

Макс. заблаговременность: 14 суток

ЕЦСПП



COSMO-S14-EPS

SOCHI DOMain

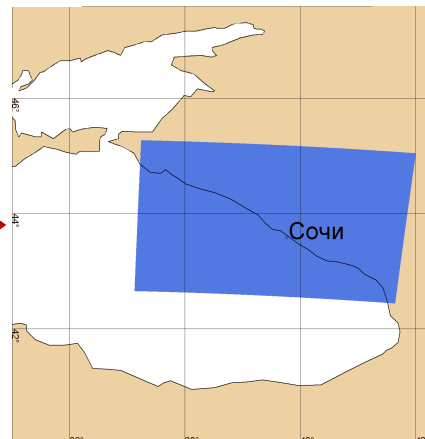
$\Delta x \sim 7$ км, 40 уровней

10 реализаций

Макс. заблаговременность: 72 ч

Италия (считалось в ЕЦСПП)

+Nesting



COSMO-Ru2-EPS

Район Сочи

$\Delta x \sim 2,2$ км, 51 уровень

10 реализаций

Макс. заблаговременность:

48 ч

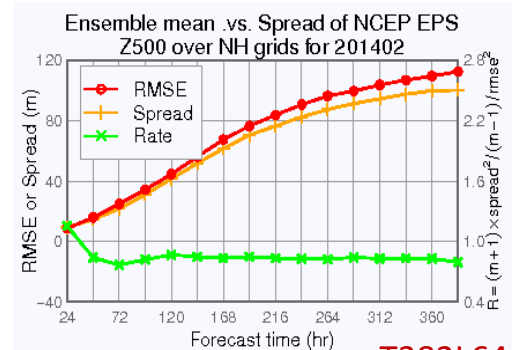
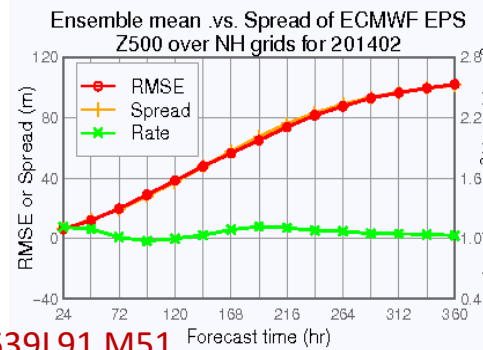
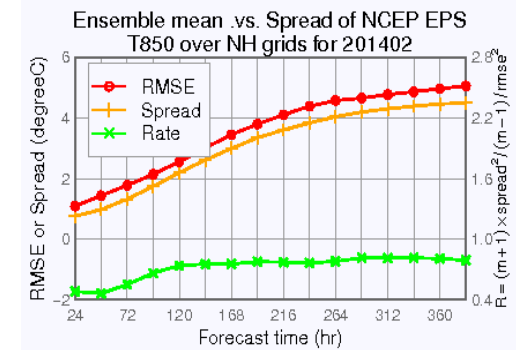
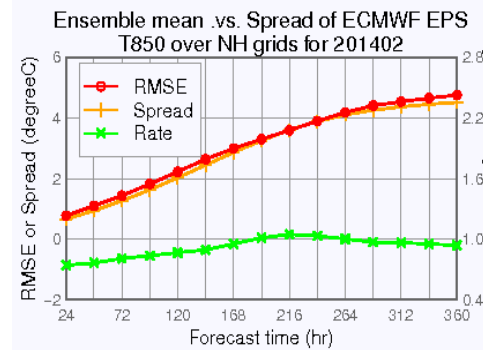
Гидрометцентр России

Проблемы ансамблевого прогноза

Соответствие между разбросом и среднеквадратической ошибкой для ведущих мировых глобальных ансамблей

• Создание достаточного разброса в ансамбле

- Разброс в ансамбле – среднеквадратическое отклонение прогнозов отдельных реализаций относительно среднего по ансамблю
- Разброс должен быть сопоставим с ошибкой прогноза, и его рост должен соответствовать росту ошибки
- Недостаточный разброс является одной из проблем ансамблей высокого разрешения



T639L91 M51

T382L64 M21

• Время вычисления прогноза и хранение результатов

- Ансамбль фактически представляет собой набор из нескольких (многих!) детерминированных прогнозов, что влечёт соответствующие требования к мощности ЭВМ и объему дискового пространства