



# Совместная модель атмосферы, океана, морского льда и почвы высокого пространственного разрешения

М.А.Толстых (ИОМ РАН, Гидрометцентр России),  
Р.А. Ибраев (ИОМ РАН, ИО РАН),  
В.В.Калмыков (ВМИК МГУ), Р.Ю.Фадеев (ИОМ  
РАН), К.В.Ушаков (ИО РАН)



# Классификация прогнозов погоды по заблаговременности

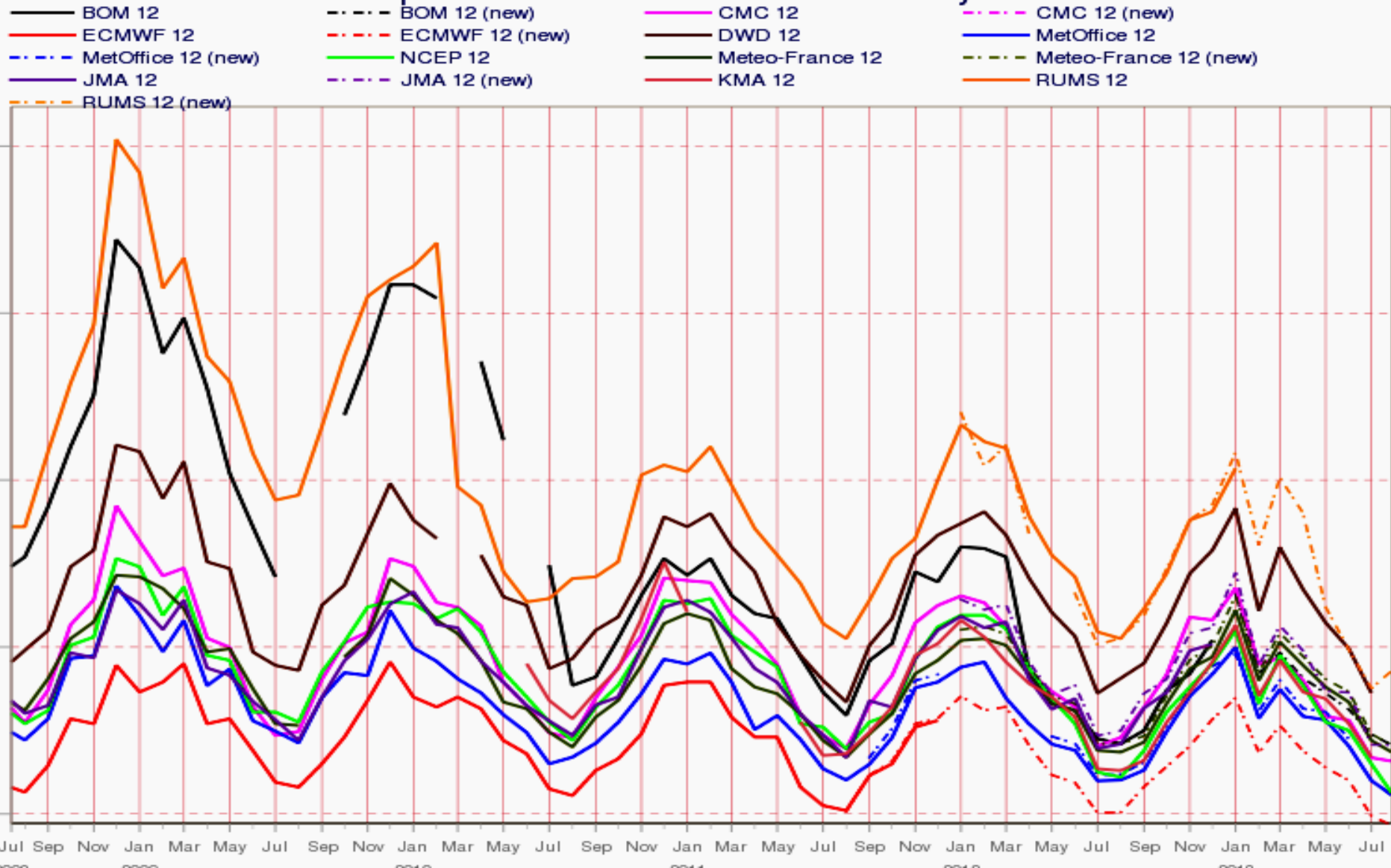
- Краткосрочные - 24-72 часа
- Среднесрочные - 3-7 дней
- Долгосрочные – более недели
- Детерминистический предел предсказуемости: 5-7 дней. За его пределами возможен лишь вероятностный прогноз.  
Численный долгосрочный прогноз – всегда в терминах аномалий по отношению к климату.

# Среднеквадратическая ошибка прогноза H500 на 3 суток. Период: июль 2008 – август 2013.

Гидрометцентр: желтый. Внедрение ПЛАВ: февраль 2010; внедрение 3ДВар: апрель 2013.

Июнь-июль 2013: догнали DWD. Источник: <http://apps.ecmwf.int/wmolcdnv/>

## Step: 72 RMSEF 500 hPa z/n.hem/analysis



# Пути повышения качества численных прогнозов погоды

- Совершенствование численных моделей (более высокое разрешение, улучшение параметризаций процессов подсеточного масштаба, более точные блоки решения уравнений (разрешенной) динамики атмосферы, **точное описание эволюции граничных условий**)
- Улучшение оценки начального состояния атмосферы в узлах модельной сетки
- Применение вероятностных подходов (ансамблевые прогнозы)

# Взаимодействие атмосферы и океана

- По сравнению с атмосферой, временные масштабы процессов в океане гораздо больше.
- Атмосфера и океан обмениваются потоками тепла и влаги (испарение морской воды, осадки), напряжениями трения на поверхности.
- Морской лед – интегратор взаимодействия атмосферы и океана в арктических широтах
- Морской лед изменяется на малых пространственных и временных масштабах (полыньи, торосы).

# Необходимость совместных моделей

- Ранее считалось, что изменение состояния поверхности океана влияет на прогноз , начиная лишь с заблаговременности в 5-7 дней.
- Глобально это так, однако появление данных наблюдений с разрешением порядка 1 км выявило локальные эффекты уже в прогнозе на 1-2 сутки
- Для совместной модели вычислительная стоимость прогноза возрастает примерно в 2 раза.

# Совместные модели -1

- Модель атмосферы
- Модель океана
- Модель деятельного слоя суши и растительности
- Модель морского льда
- +
- Модель рек
- Модель атмосферной химии

# Совместные модели -2

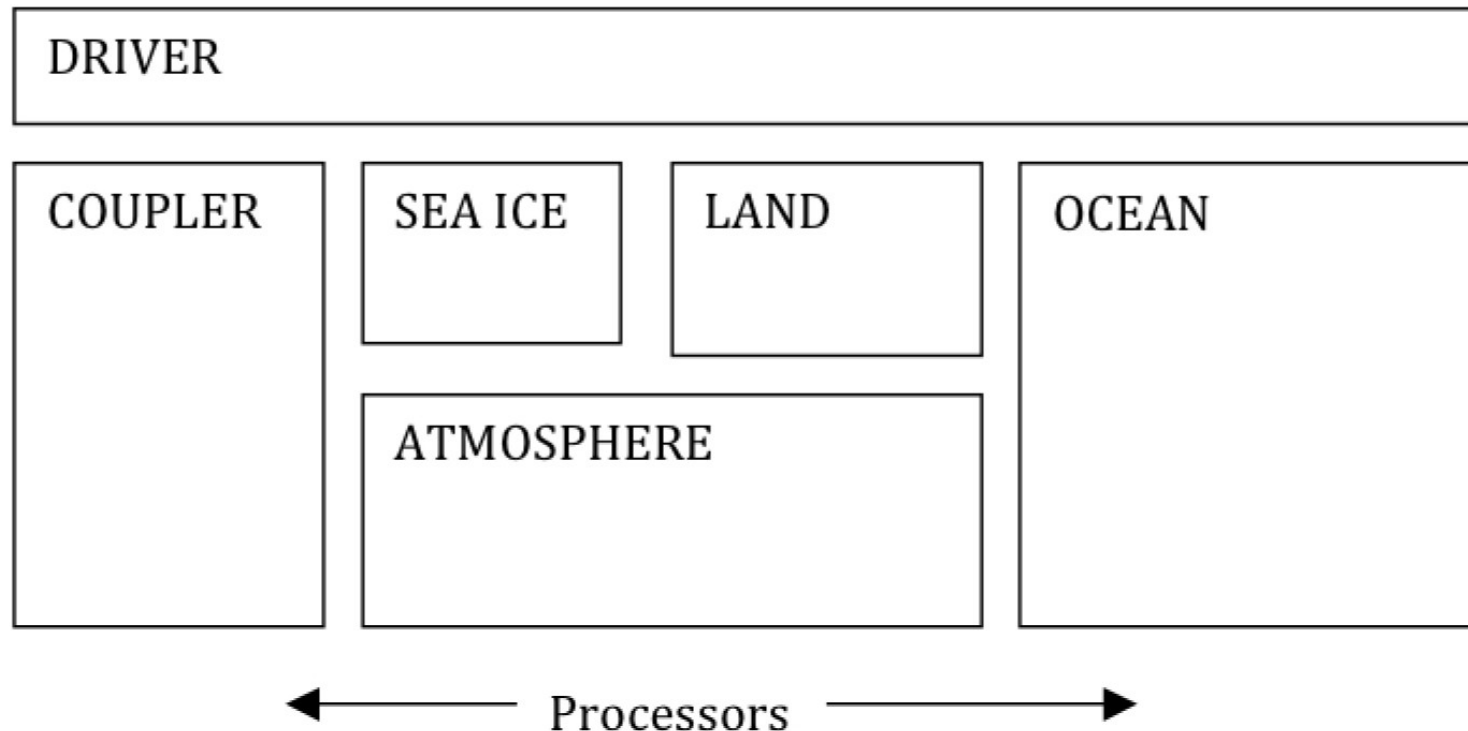
- Требуется объединить отдельно разрабатываемые (часто разными научными группами) компоненты с различным пространственным разрешением в единую совместную систему
- Необходимы огромные вычислительные ресурсы
- Необходима эффективная параллельная реализация совместной модели



# Совместные модели -3

Модели – компоненты работают параллельно, параллельно с ними работает программа-соединитель (coupler).

Внизу – пример организации вычислений в Общественной модели Земной системы (CESM) NCAR



# Совместные модели -4:

## Функции программы-соединителя (coupler)

- Интерполяция данных (потоки из атмосферы в океан, ТПО, ...) между моделями-компонентами с различными сетками
- Организация параллельных обменов между компонентами
- Организация параллельного ввода-вывода
- Сбор и выдача диагностики (например, интегралы решений моделей-компонент)

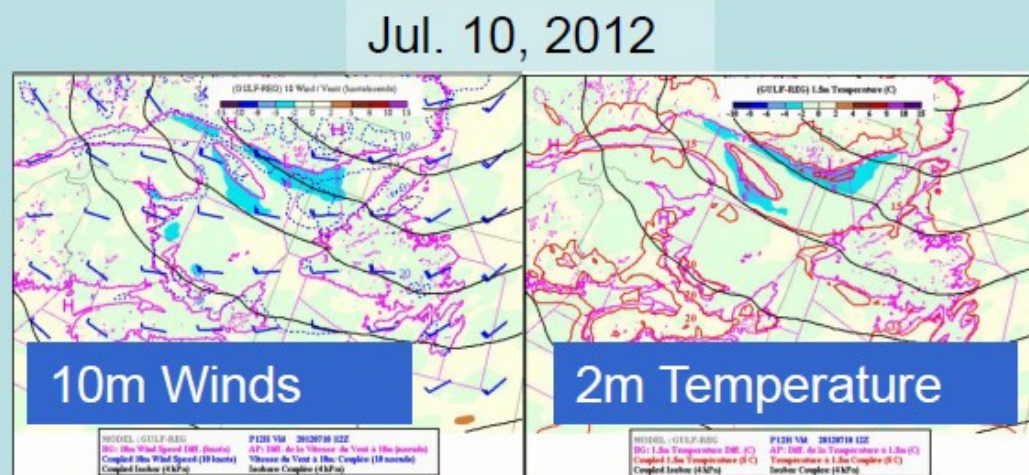
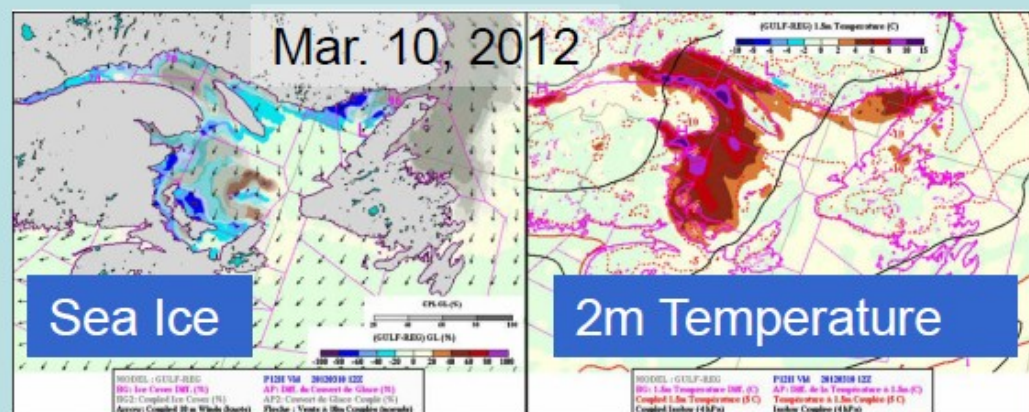
# Краткосрочный прогноз погоды с помощью совместных моделей

- В основном локальные, но важные эффекты в прогнозе приземной температуры и ветра

# Gulf of St. Lawrence Coupled Atm-Ice-Ocean Forecasting System

- Operational since June 2011
  - 48 forecast daily at 00Z
- Coupled system:
  - Atm: GEM (10km)
  - Ice: CICE (5km)
  - Ocean: MoGSL (5km)

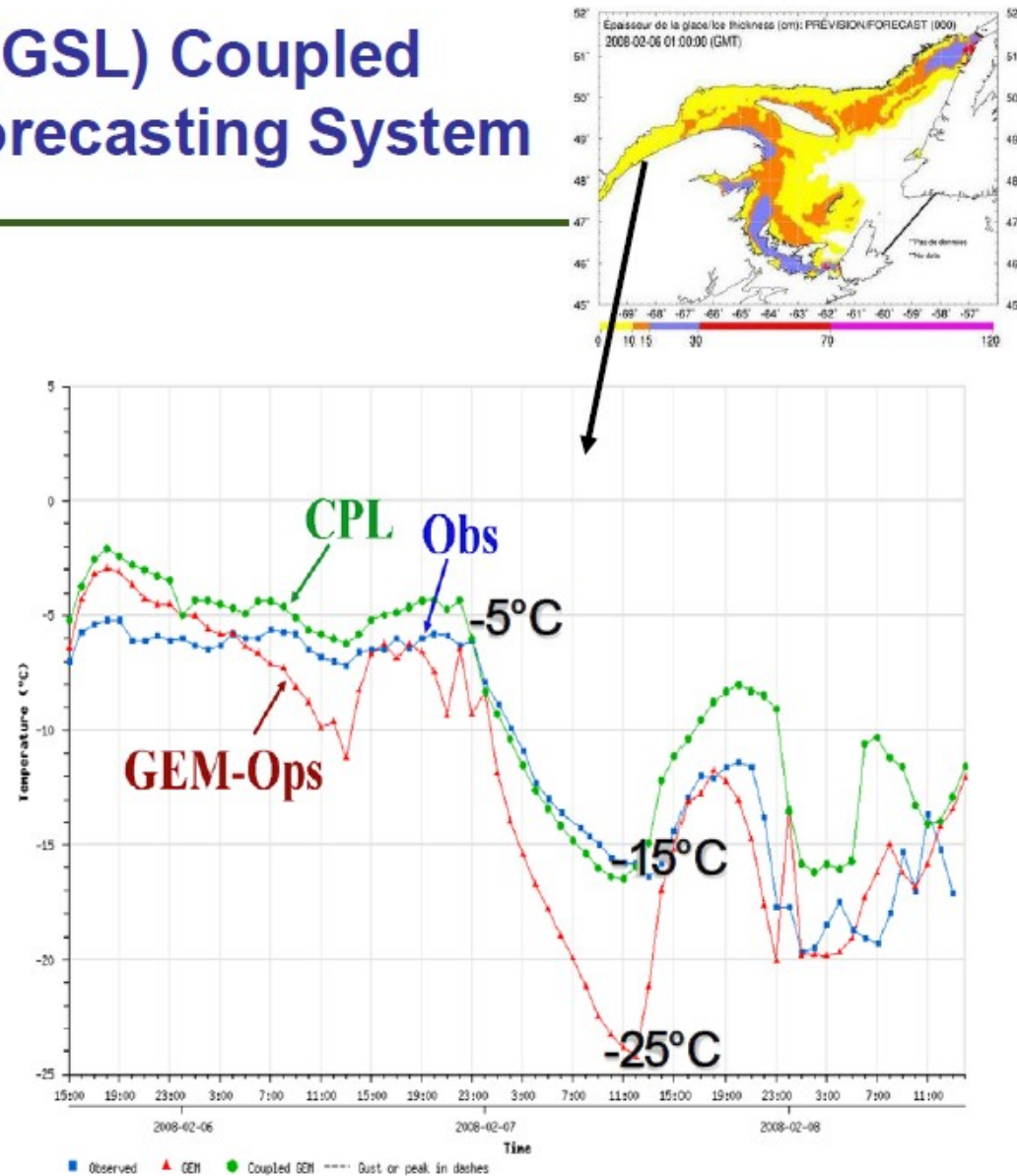
## Coupled – Uncoupled differences





# The Gulf of St. Lawrence (GSL) Coupled Atmosphere-Ice-Ocean Forecasting System

- A dynamic representation of sea surface conditions improves the meteorological forecast locally
- Time-evolving ice cover in coupled model allows vast stretches of ice-free water to open up, buffering atmospheric temperatures
- Use of coupled model results in significantly improved forecasts all around the GSL
- Demonstrates importance of air-sea-ice coupling even for short-range weather forecasts

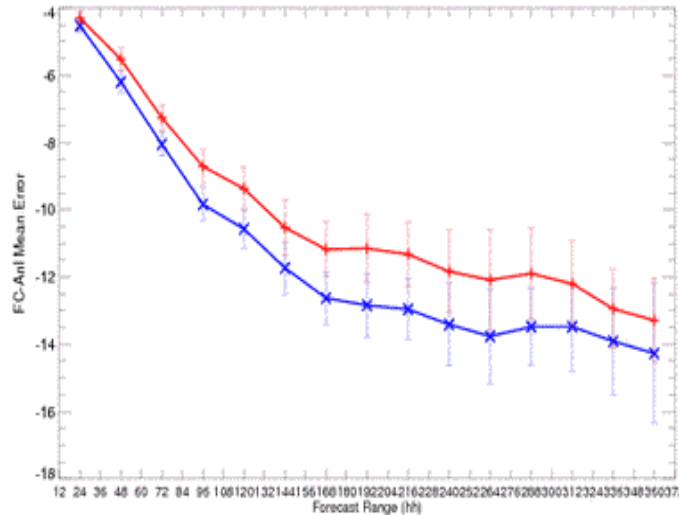


# UKMO coupled model: Verification: Tropics

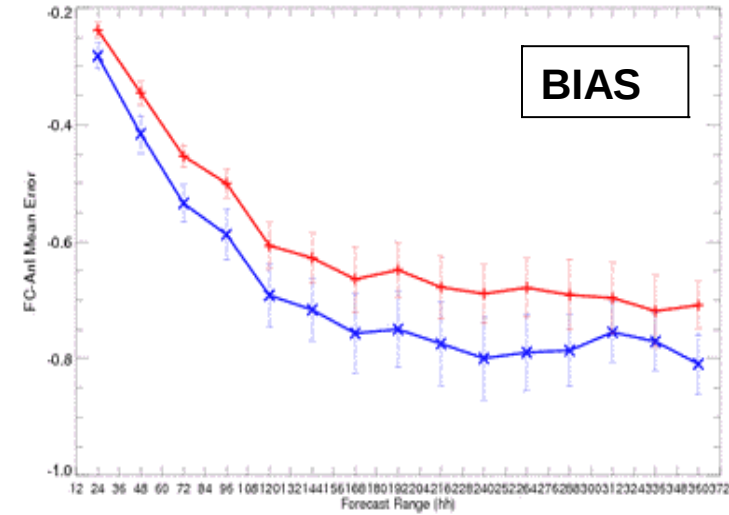
500hPa Height DJF

925hPa T JJA

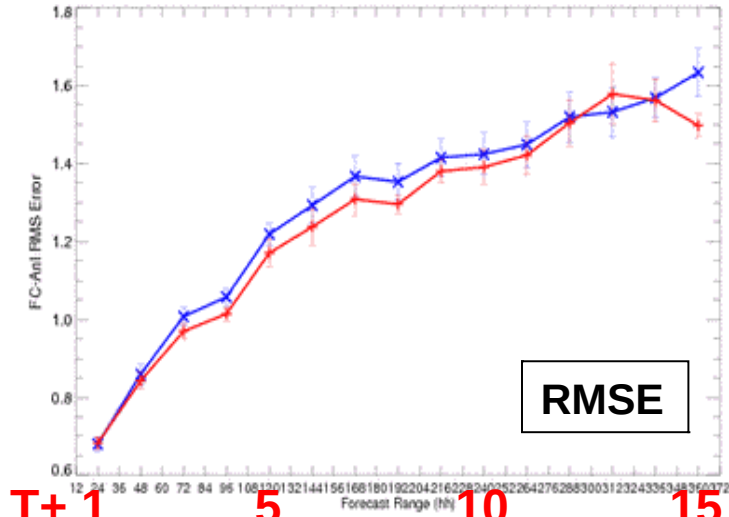
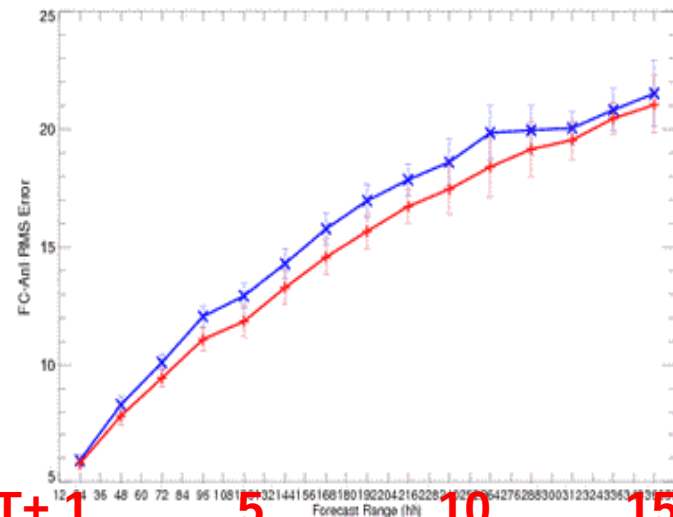
Cases: —x— Coupled\_model —x— Atmos\_control



Cases: —x— Coupled\_model —x— Atmos\_control



BIAS



RMSE

- Two examples of good coupled skill relative to atmosphere-only control forecasts
- Tropics is the main area of atmospheric performance difference
- Performance mostly comparable in the extra-tropics

# Сезонные прогнозы и кому они нужны

- Прогноз сезонной аномалии по отношению к (модельному) климату
- Попытка использовать предсказуемость «медленно» меняющихся граничных условий и ряда внутренних колебаний атмосферы.
- Сильный шум, слабый сигнал. Обязательна ансамблевая технология (возмущенные начальные данные) .
- Прогноз в терминах вероятности для категорий («норма» - «ниже нормы» - «выше нормы») .
- Нужен в с/х (сумма эффективных температур), в энергетике (запас топлива), мореплавании и рыболовстве.

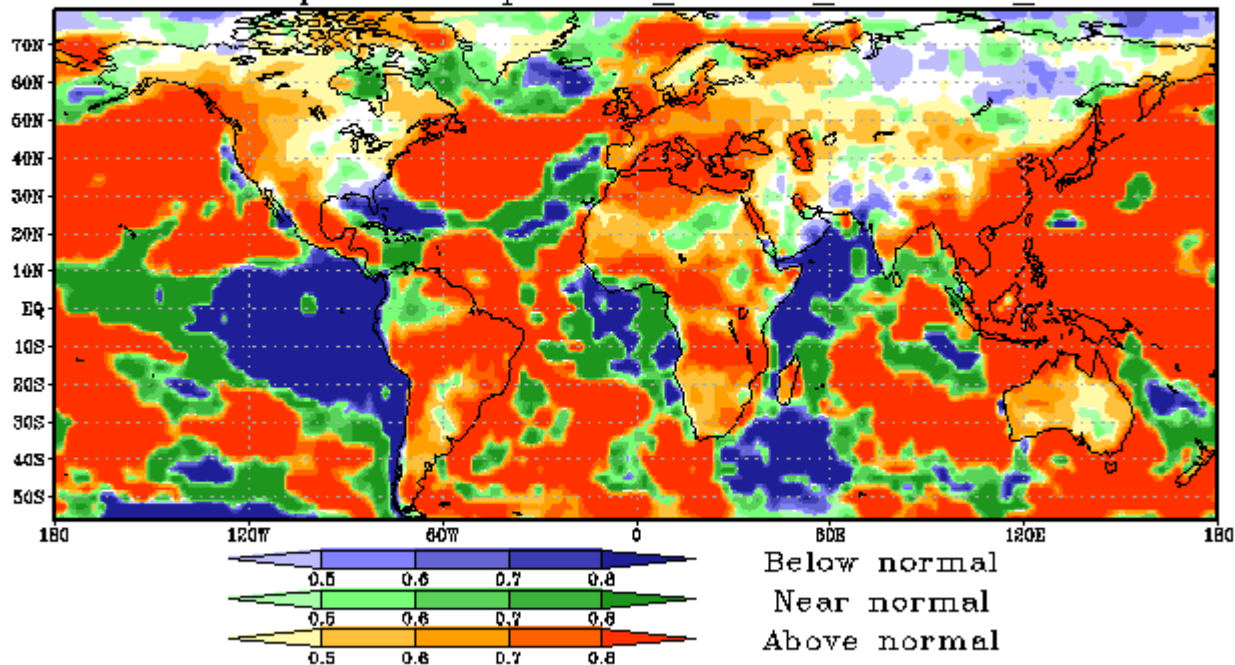
# Сезонные прогнозы -2

- Требуются ВМО. Гидрометцентр – один из 12 центров, оперативного сезонного прогноза (<http://www.wmolc.org/>). Северо-Евразийский климатический центр.
- Для прогноза – минимум атмосферная модель и модель почвы, простая экстраполяция аномалии ТПО.
- Многие центры начали применять совместные модели атмосфера-суша-океан-морской лед. Иногда, полная модель океана только в тропиках, во внетропиках – модель верхнего слоя океана.



# Образец прогноза ([wmc.meteoinfo.ru/season](http://wmc.meteoinfo.ru/season))

Composite probabilities of categorical forecast outcomes for  
T2m seasonal anomalies. Producer: HMC  
Forecast period: September\_October\_November\_2013



# Сезонный прогноз аномалии давления на уровне моря (from WMO LC LRF-MME)

lat=-90 90  
lon=0 360

Mean Sea Level Pressure : 02012

(issued on Nov)

[Unit: Pa]

GPC\_Beijing

GPC\_CPTEC

GPC\_ECMWF

GPC\_Exeter

GPC\_Melbourne

GPC\_Montreal

GPC\_Moscow

GPC\_Pretoria

GPC\_Seoul

GPC\_Tokyo

GPC\_Toulouse

GPC\_Washington

Distinct negative phase of the AO predicted!



# Разработка совместной модели атмосферы, деятельного слоя суши и растительности, океана, морского льда высокого разрешения

- Цель - создание перспективной системы долгосрочного прогноза
- Модель атмосферы ПЛАВ (ИВМ РАН, Гидрометцентр) с разрешением 20-25 км, 51 уровень (Толстых, 2010), включая модель многослойной почвы ИВМ РАН (Володин, Лыкосов 1998)
- Модель океана ИВМ-ИО РАН, разрешение около 10 км (Ибраев и др, ФАО 2012). В экспериментах использовалось разрешение  $\frac{1}{4}^\circ$  (около 27 км.)
- Соединитель (каплер) собственной разработки (доклад В.В. Калмыкова на молод. конференции).

# Модель атмосферы: Сезонная версия модели ПЛАВ

- Разработана в ИВМ РАН и Гидрометцентре, среднесрочная версия принята как основная модель среднесрочного прогноза погоды (Толстых, 2010).
- Принята как компонента вероятностной системы прогноза сезонных аномалий климата
- Участвует в мультимодельном ансамбле АРСС в Южной Корее