# Суперкомпьютерные технологии в задачах прогноза погоды и климата

Е.Д. Астахова

Гидрометцентр России

helen@mecom.ru

# План презентации

- Что такое прогноз погоды и климата?
- Почему задача прогноза погоды и моделирования климата – задача Grand Challenge?
- Что влияет на качество прогноза?
- Что такое детерминированный прогноз погоды?
- Что такое ансамблевый прогноз погоды?

# *Что такое прогноз погоды и климата?*

# Введение. Основы численного прогноза погоды и моделирования климата

*Цель:* *Описание эволюции атмосферы*

*Суть:* *Решение численными методами уравнений гидротермодинамики атмосферы*

*Реализация:* *Модель атмосферы*

*Численный прогноз = Интегрирование модели атмосферы*

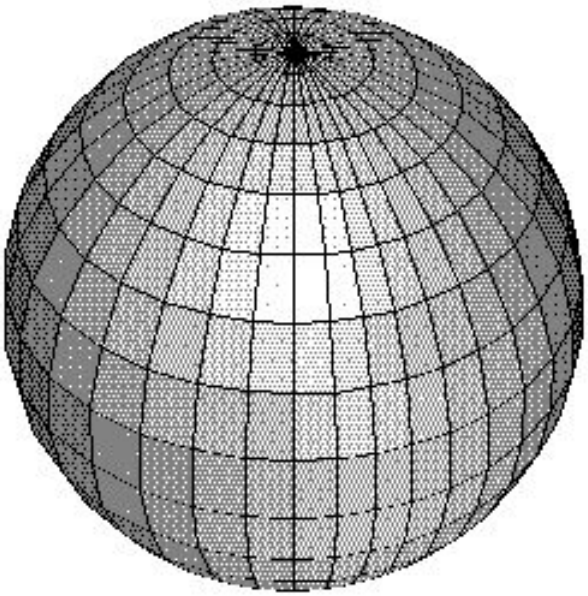
# Модель атмосферы

- Уравнения гидротермодинамики
- Методы их решения
- Параметризации процессов подсеточного масштаба

  (*правая часть уравнений)*

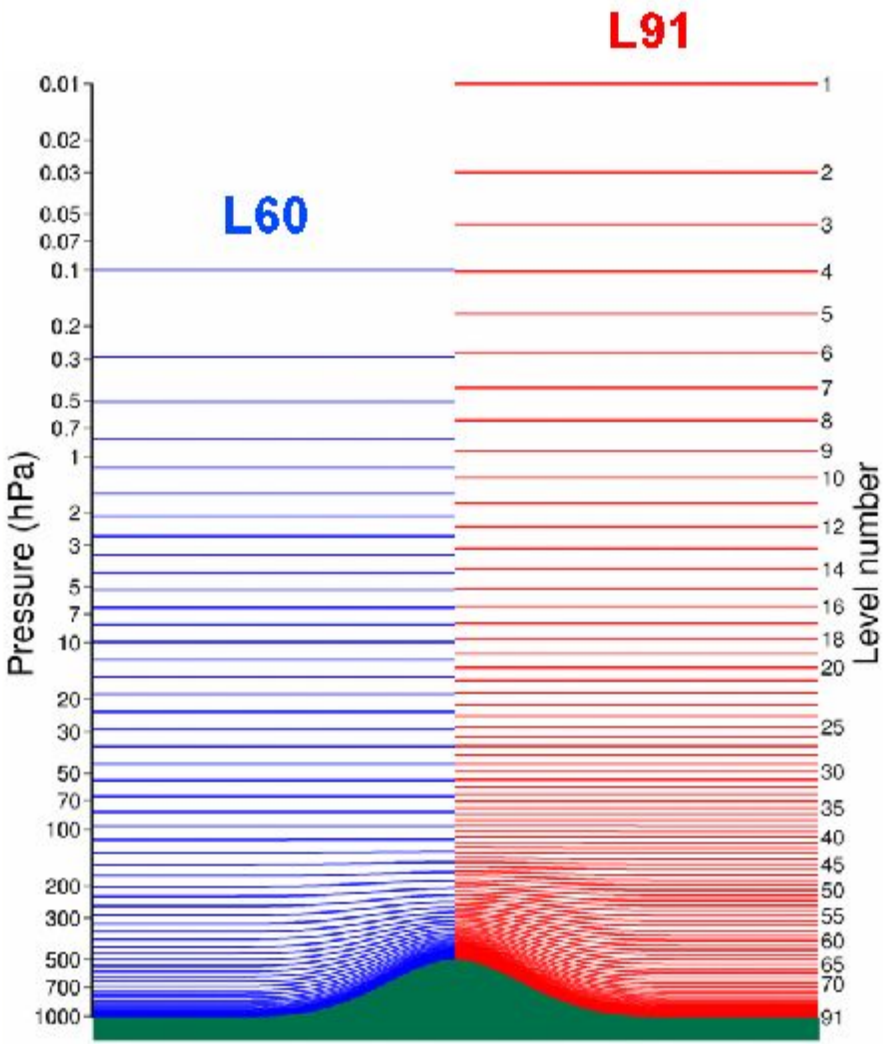
# Дискретизация

**По горизонтали**

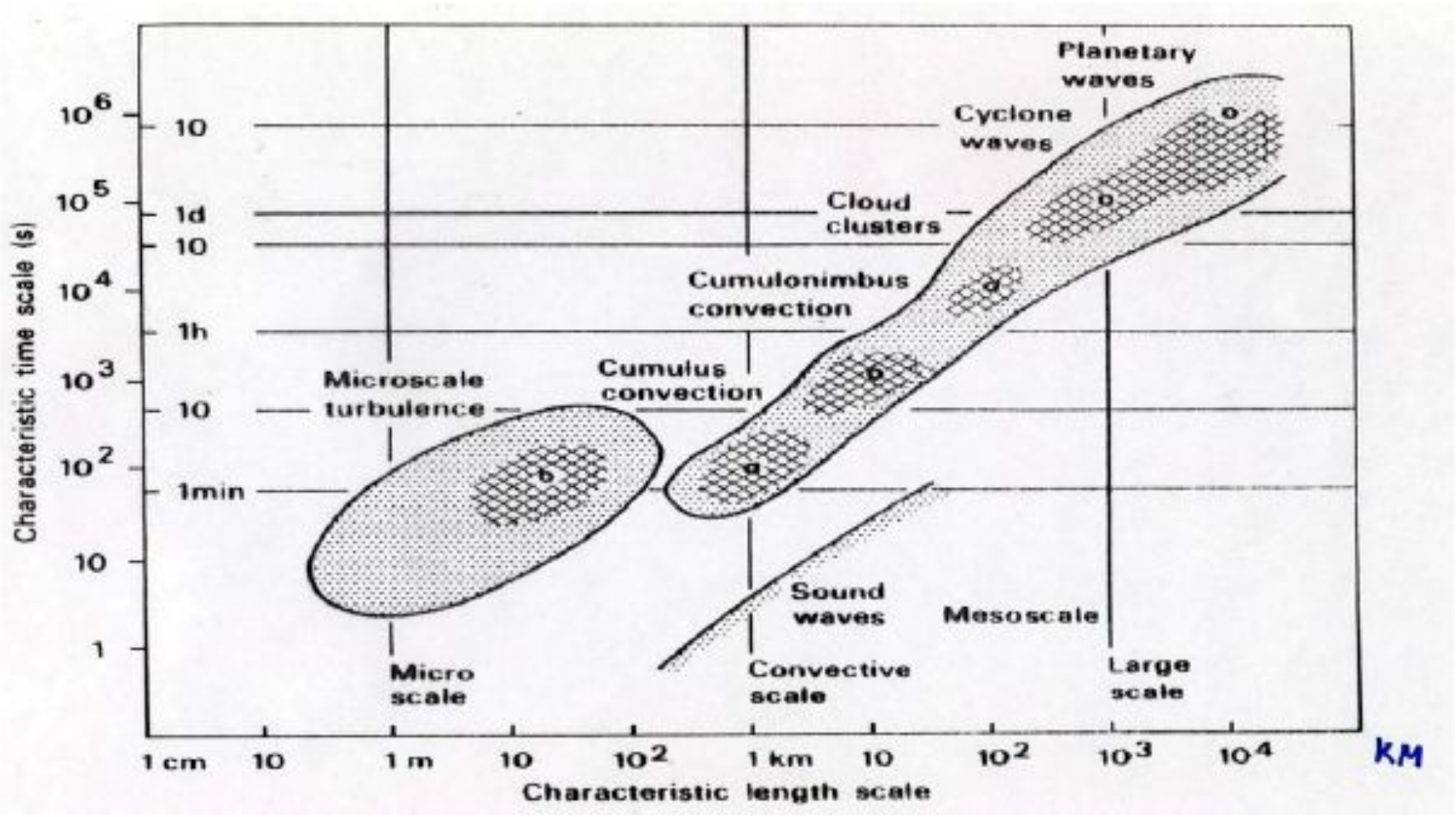


Сферические координаты
Широтно-долготная сетка

**По вертикали**



# Пространственные и временные масштабы некоторых процессов в атмосфере




Beljaars, 2008

*В зависимости от разрешения модели физические процессы описываются явно или параметрически*

Немецкая метеослужба DWD

| | GME | COSMO_EU | COSMO-DE |
|---|---|---|---|
| spatial: | ~150 km | ~30 km | ~10 km |
| temporal: | ~4 min | ~1.5 min | ~30 sec |

| ECMWF | T799 | T1279 | T2047 |
|---|---|---|---|
| | ~25 km | ~16 km | ~10 km |
| | 720 s | 450 s | 300 s |

# Основные физические процессы подсеточного масштаба, учитываемые в моделях атмосферы.

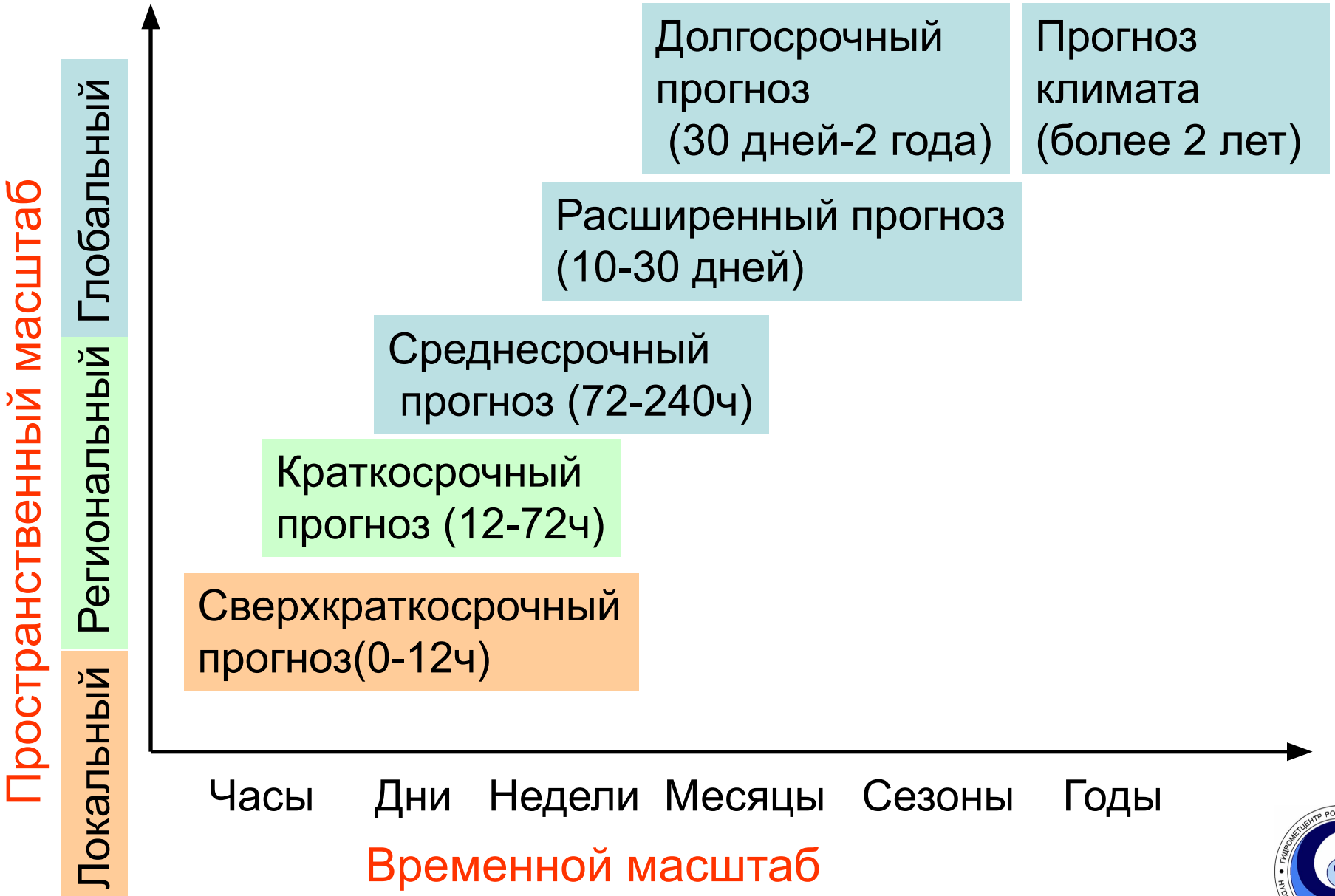
# Модели атмосферы

Спектральные и конечно-разностные – по методу решения уравнений

Глобальные, региональные, мезомасштабные - по пространственному масштабу

Краткосрочного, среднесрочного, долгосрочного прогноза погоды, климата – по временному масштабу

# Численное моделирование процессов в атмосфере



# *Современные тенденции: бесшовный подход*

**Численный прогноз погоды**

**Численное моделирование климата**

*Единая система моделирования на масштабах от дней до десятков лет*

WCRP

World Climate Research Programme

WWRP

WORLD WEATHER RESEARCH PROGRAMME

Почему задача прогноза погоды
и моделирования климата
–
задача *Grand Challenge?*

И что это такое?

# Численное моделирование процессов в атмосфере

– задача «Grand Challenge» = фундаментальная проблема, решение которой имеет большое экономическое и научное значение и требует применения высокопроизводительных вычислений

Численный прогноз погоды

Моделирование климата

ТОЧНЕЕ и БЫСТРЕЕ!

# Что влияет на точность численного прогноза погоды?

- Качество начальных данных о состоянии атмосферы и поверхности Земли (наблюдений и методов их обработки)
- Разрешение модели атмосферы

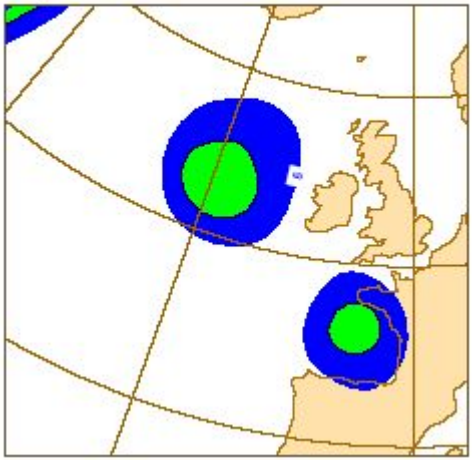
*(Спектральные модели: T169L31 = 169 гармоник, треугольное усечение, 31 уровень по вертикали)*

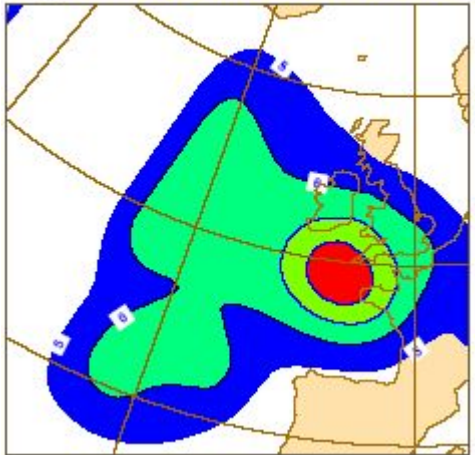
- Полнота и точность параметризаций процессов подсеточного масштаба («физики»)

# Роль начальных данных о состоянии атмосферы

(*влияние их малых возмущений на 5-сут прогноз*)

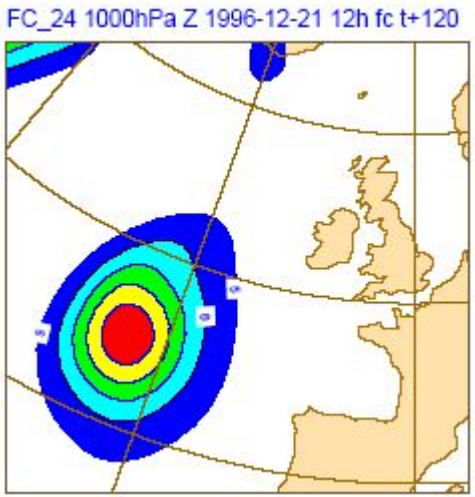
**Прогноз 1 контрольный**

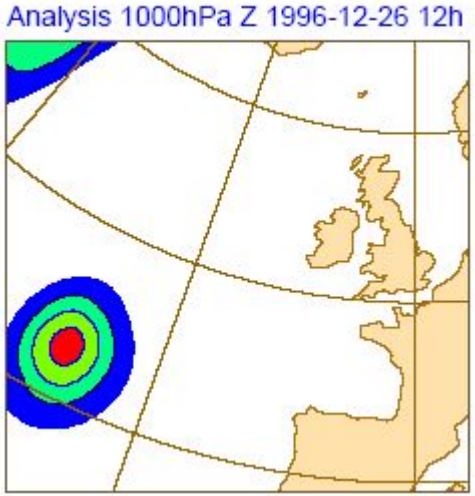



**Прогноз 2 от возмущенных начальных данных**

**Прогноз 3 от возмущенных начальных данных**

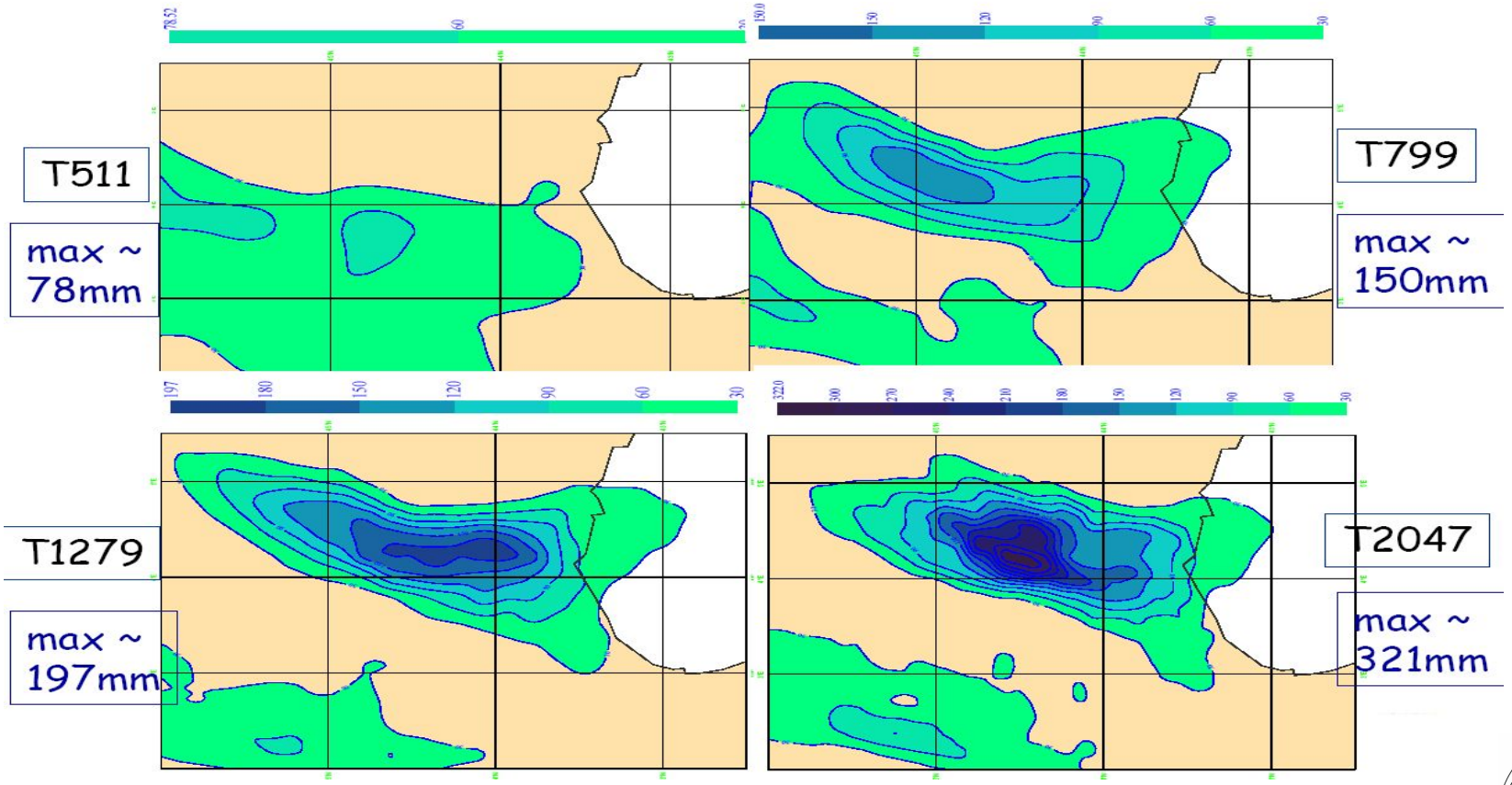


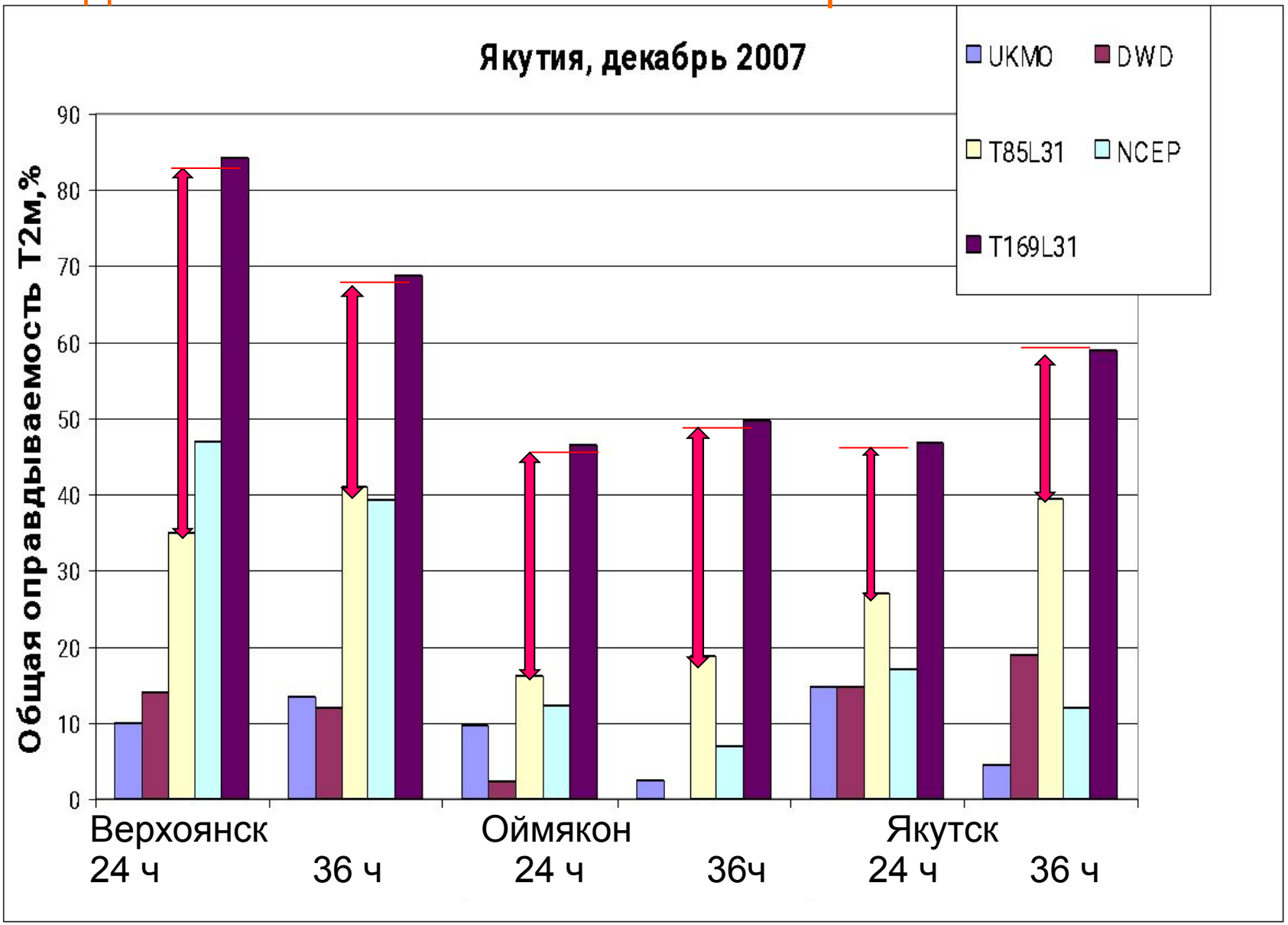

Факт

# Роль разрешения модели

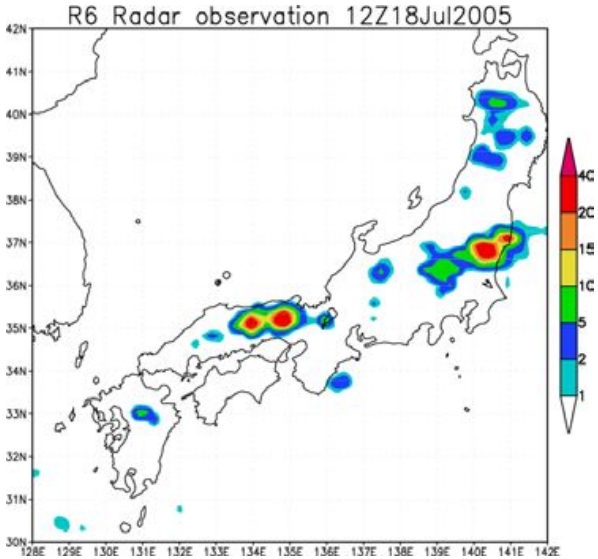
## Осадки за вторые сутки прогноза, полученные по модели ECMWF с разным разрешением



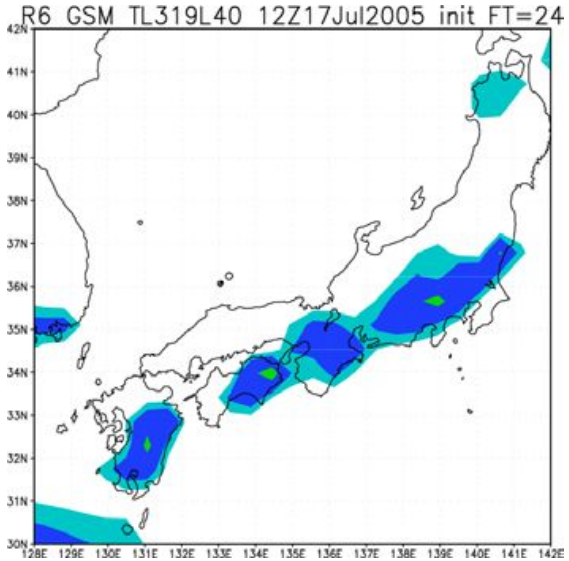
# Оправдываемость прогнозов температуры на уровне 2 м на 24 и 36 часов (% случаев с абсолютной ошибкой < 3 град) по моделям T85L31 и T169L31 в Сибири



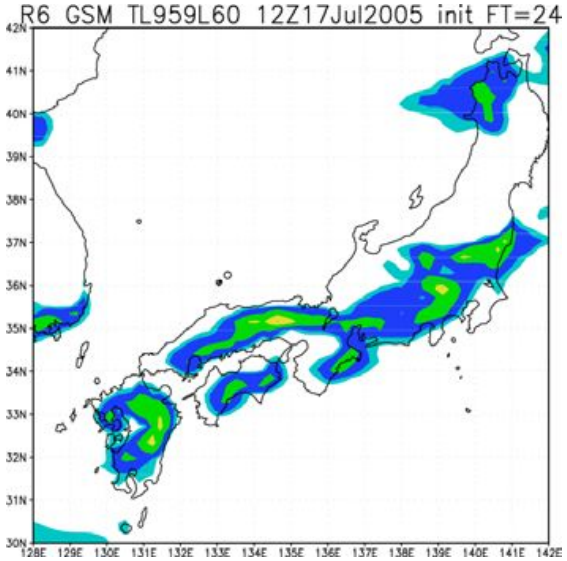
# Роль улучшения разрешения и параметризаций процессов подсеточного масштаба. Осадки



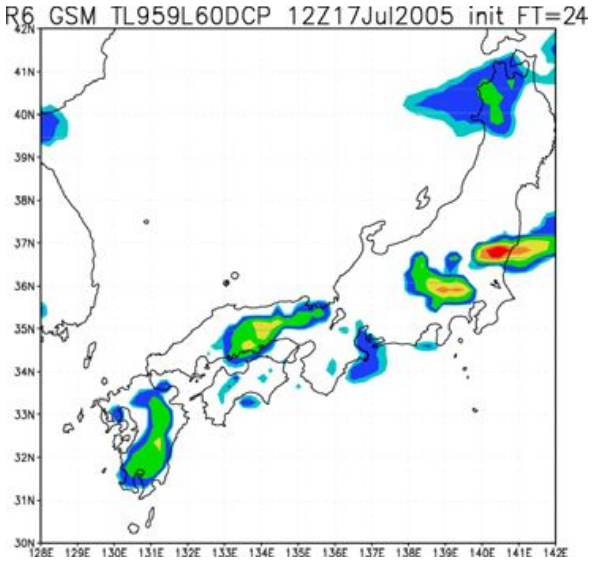

*Радар*




TL319




TL959




TL959

Новая схема конвекции

Nakagawa,2005

# Временные ограничения для задач прогноза погоды и климата

- Прогноз погоды: 1 сутки за 10-20 мин

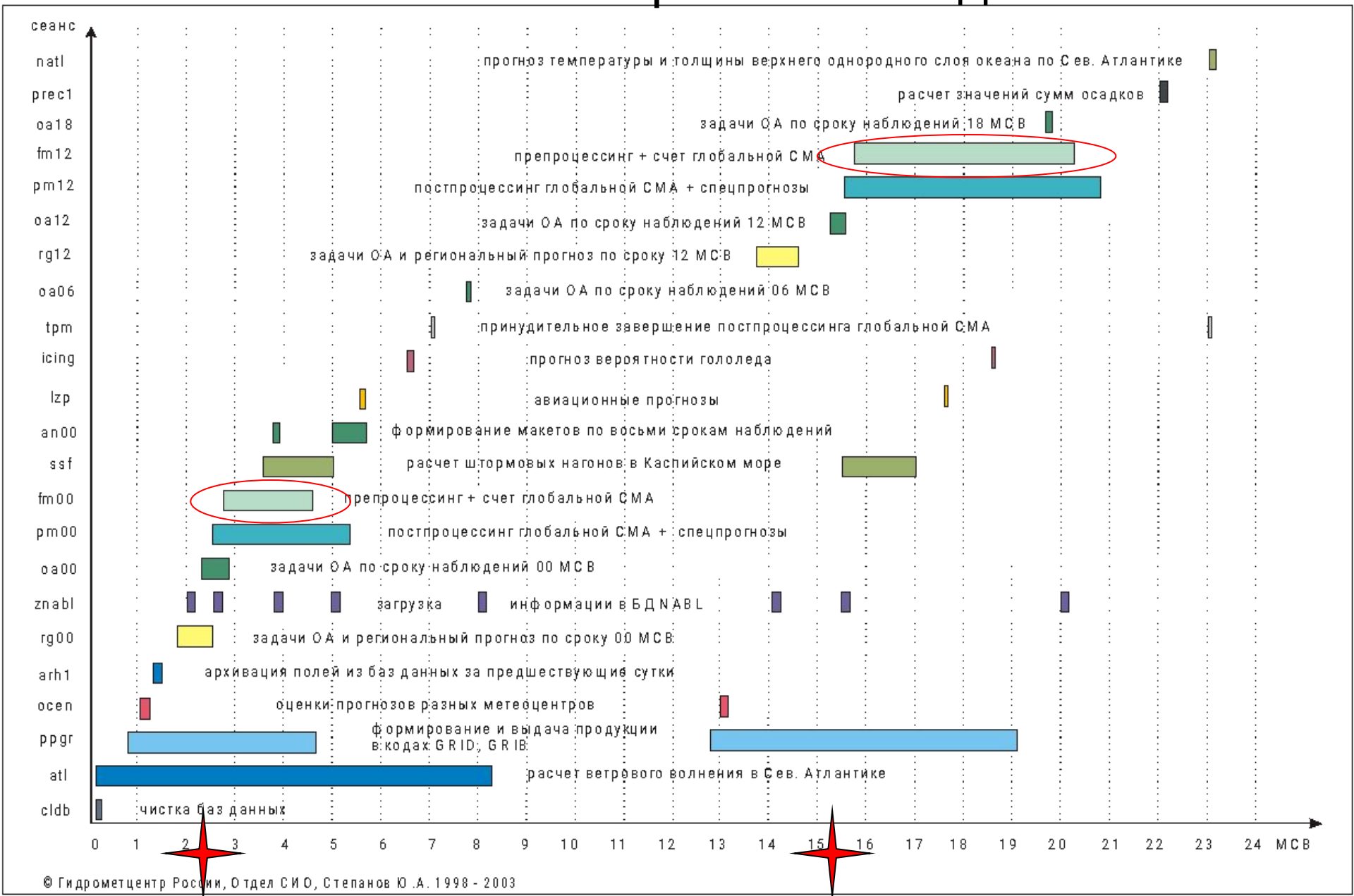
*Наблюдения в фиксированные моменты времени*

*Надо успеть передать по каналам связи*

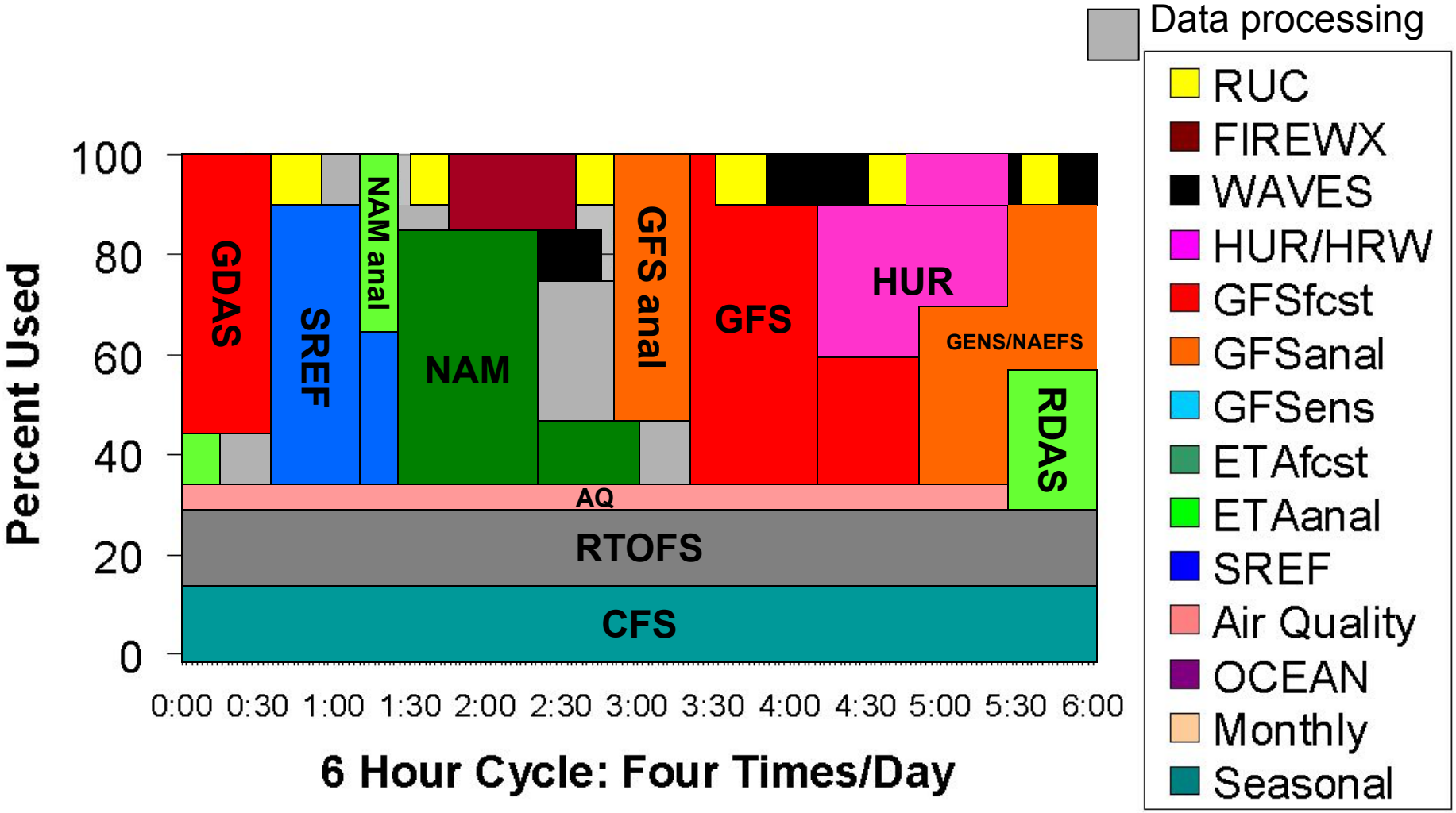
- Моделирование климата: 100-1000 дней за сутки

(*World Modelling Summit for Climate Prediction, 2008)*

# Строгие временные рамки счета задачи численного прогноза погоды



# Использование компьютера для решения различных прогностических задач в NCEP



# Откуда так много вычислений?

*(1) Разрешение 1 км:*

*Радиус Земли ~ 6380 км*

*Площадь поверхности ~ 128 000 000 кв.км*

*100 уровней по вертикали в модели*

*Итого около 13 млрд точек сетки!!!!!*

*(2) Задача моделирования изменения климата:*

*Шаг по времени – минуты (устойчивость), временной масштаб – сотни лет.*

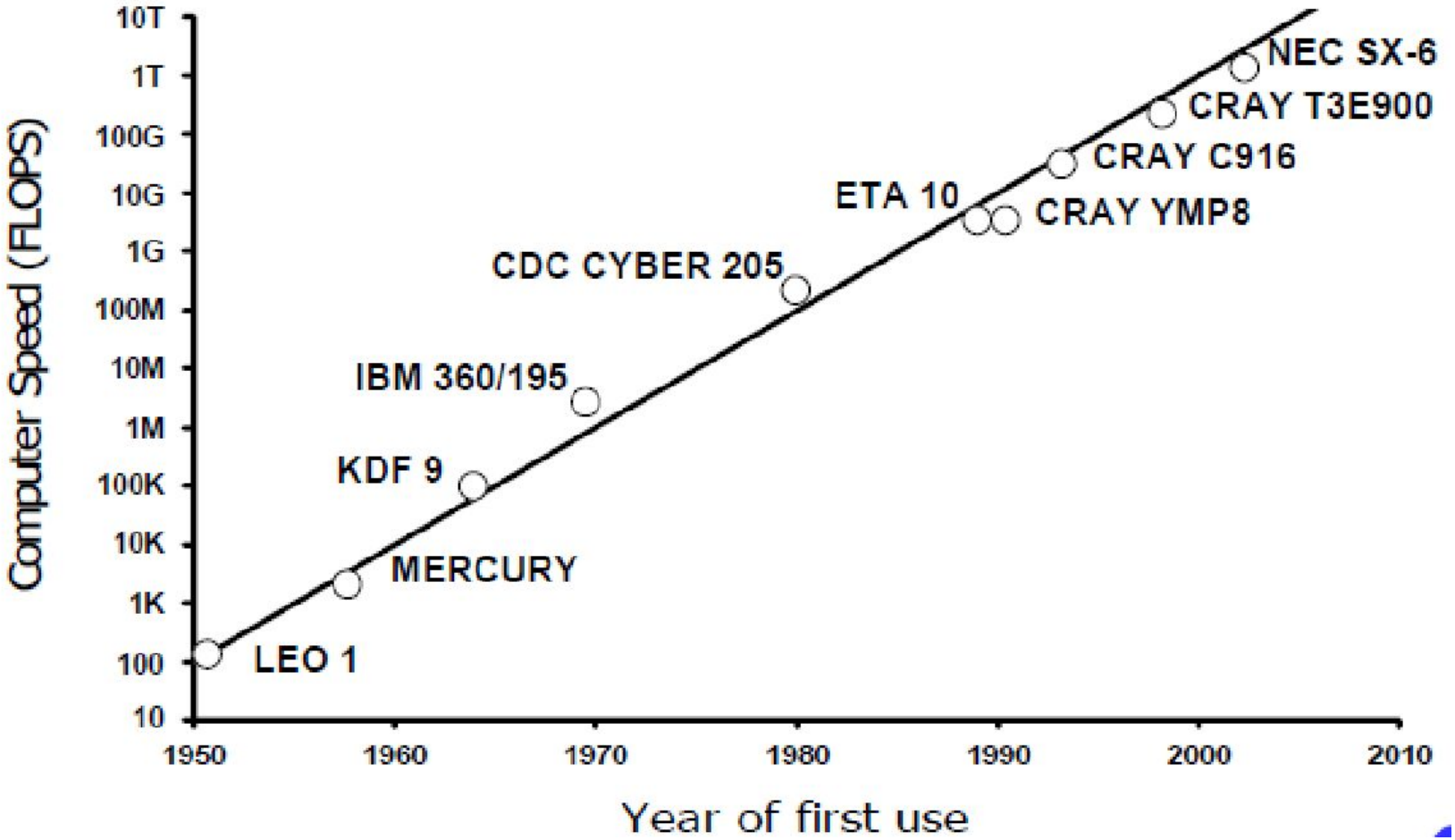
*Сколько минут в столетии?*

52 560 000 !!!!

# Суперкомпьютерные системы ведущих метеорологических центров мира

| Название центра, страна, год установки, место в Top500 (Top50) | Компьютер | Число ядер | R peak, Tflops |
|---|---|---|---|
| ECMWF, UK<br>2009, 25 и 26 | IBM pSeries Power 575, p6 4.7 GHz, Infiniband | 8320 | 156.42 |
| NCEP, USA<br>2008, 51<br>2009, 63 | IBM pSeries Power 575, p6 4.7 GHz, Infiniband | 4992<br>4224 | 93.85<br>79.41 |
| UKMO, UK<br>2009, 73 и 74<br>352 | IBM pSeries Power 575, p6 4.7 GHz, Infiniband | 3520<br>1280 | 66.18<br>24.06 |
| Environment Canada<br>2008, 295 | IBM pSeries eServer pSeries p5 575 1.9 GHz | 3472 | 26.39 |
| Росгидромет, Россия,<br>2008, 12 и 8 | SGI Altix 4700 Itanium 2 1.66 GHz, NUMALink<br>Altix ICE 8200 Xeon E5440 2.83 GHz, Infiniband 4x DDR | 1664<br>1416 | 11<br>16 |

# Компьютеры, использовавшиеся в английской метеослужбе



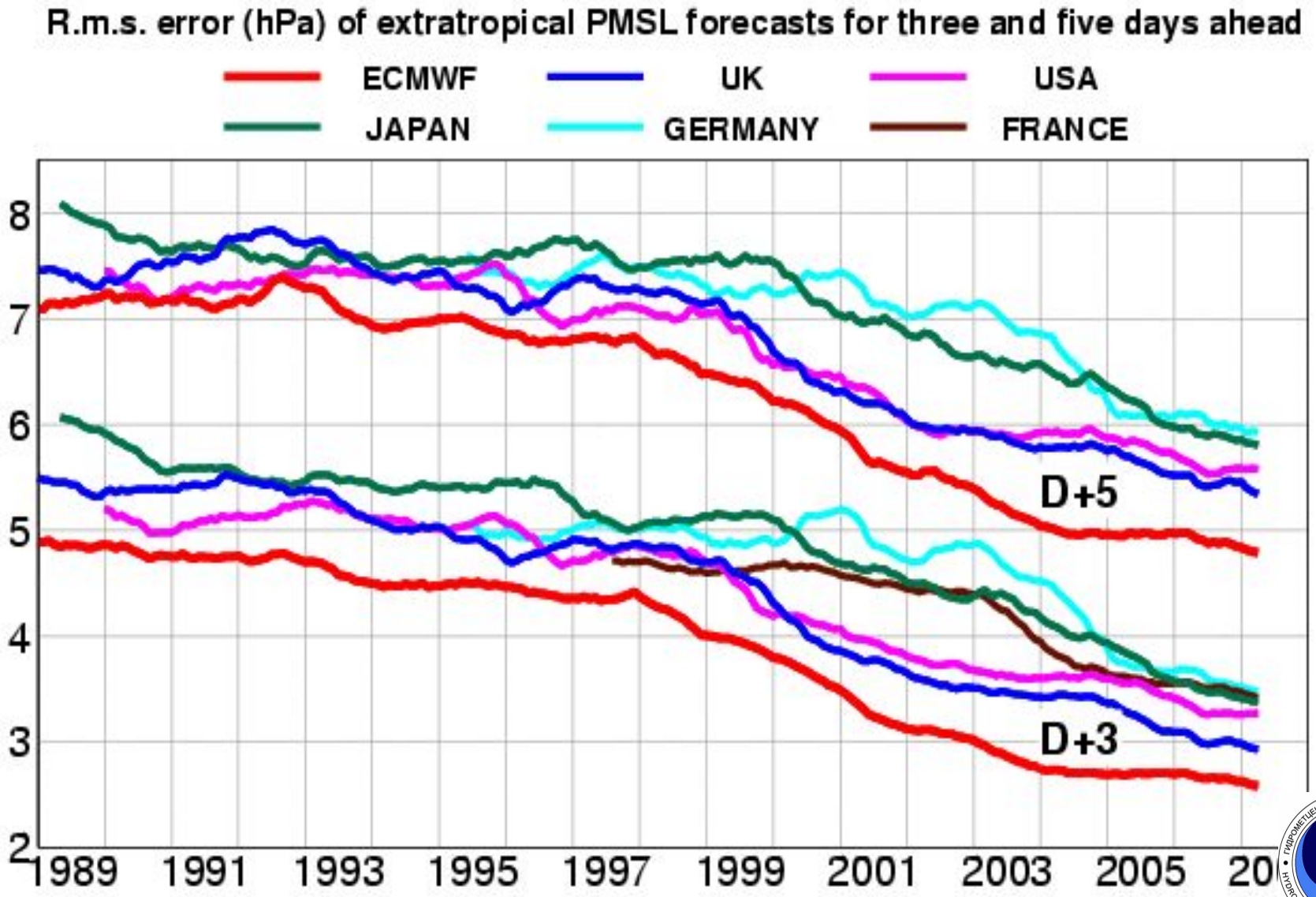

Salmond, 2004

# Компьютеры в метеорологических центрах в 2009-2014

| Forecast Centre (Country) | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ECMWF (Europe) | 2x15 | 2x15 | 2x30 | 2x30 | tbd | tbd |
| Met Office (UK) | 0.15 on 1/8 of system | 1.2 (on 1/8) | 1.2 (on 1/8) | 4 (on 1/8) | 4 (on 1/8) | tbd |
| Météo France (France) | 2x2 | 2x3 | 2x3 | tbd | tbd | tbd |
| DWD (Germany) | 2x4.5 | 2x15 | 2x15 | 2x15 | tbd | tbd |
| HMC (Russia) | 1.8+1.3 | 1.8+1.3 | 1.8+1.3 | 1.8+1.3 | tbd | tbd |
| NCEP (USA) | 2x1.9 | 2x9.3 | 2x9.3 | 2x27 | 2x27 | 2x90 |
| Navy/FNMOC/NRL (USA) | 3 | 3 | 3 | tbd | tbd | tbd |
| CMC (Canada) | 2.5 | 3.2 | 3.2 | tbd | tbd | tbd |
| CPTEC/INPE (Brazil) | 15 | 15 | 15 | tbd | tbd | tbd |
| JMA (Japan) | 2x0.7 | 2x0.7 | 2x0.7 | tbd | tbd | tbd |
| CMA (China) | 2.1 | 2.1(IBM)<br>5.0(SW2) | 2.1(IBM)<br>5..0(SW2) | tbd | tbd | tbd |
| KMA (Korea) | 2x0.7<br>2x0.7 | 1.4<br>2x7 | 2x7 | 2x7 | 2x7 | tbd |
| NCMRWF (India) | 2.5 | 2.5 | tbd | tbd | tbd | tbd |
| BoM (Australia) | 1.5 | 1.5 | 3 | 3 | tbd | tbd |

http://www.wmo.int/wgne

# Улучшение качества численных прогнозов идет параллельно улучшению компьютерных ресурсов



# Computing Capability & Model Grid Size (km)

| Peak Rate: | 10 TFLOPS | 100 TFLOPS | 1 PFLOPS | 10 PFLOPS | 100 PFLOPS |
|---|---|---|---|---|---|
| Cores | 1,400 (2006) | 12,000 (2008) | 80-100,000 (2009) | 300-800,000 (2011) | 6,000,000? (20xx?) |
| Global NWP[0]: 5-10 days/hr | 18 - 29 | 8.5 - 14 | **4.0** - 6.3 | **1.8 - 2.9** | **0.85 - 1.4** |
| Seasonal[1]: 50-100 days/day | 17 - 28 | 8.0 - 13 | **3.7** - 5.9 | **1.7 - 2.8** | **0.80 - 1.3** |
| Decadal[1]: 5-10 yrs/day | 57 - 91 | 27 - 42 | 12 - 20 | 5.7 - 9.1 | **2.7** - 4.2 |
| Climate Change[2]: 20-50 yrs/day | 120 - 200 | 57 - 91 | 27 - 42 | 12 - 20 | 5.7 - 9.1 |

Range: Assumed efficiency of 10-40%
0 - Atmospheric General Circulation Model (AGCM; 100 levels)
1 - Coupled Ocean-Atmosphere-Land Model (CGCM; ~ 2X AGCM computation with 100-level OGCM)
2 - Earth System Model (with biogeochemical cycles) (ESM; ~ 2X CGCM computation)

* Core counts above O($10^4$) are unprecedented for weather or climate codes, so the last 3 columns require getting 3 orders of magnitude in scalable parallelization (scalar processors assumed; vector processors would have lower processor counts)

**Thanks to Jim Abeles (IBM)**

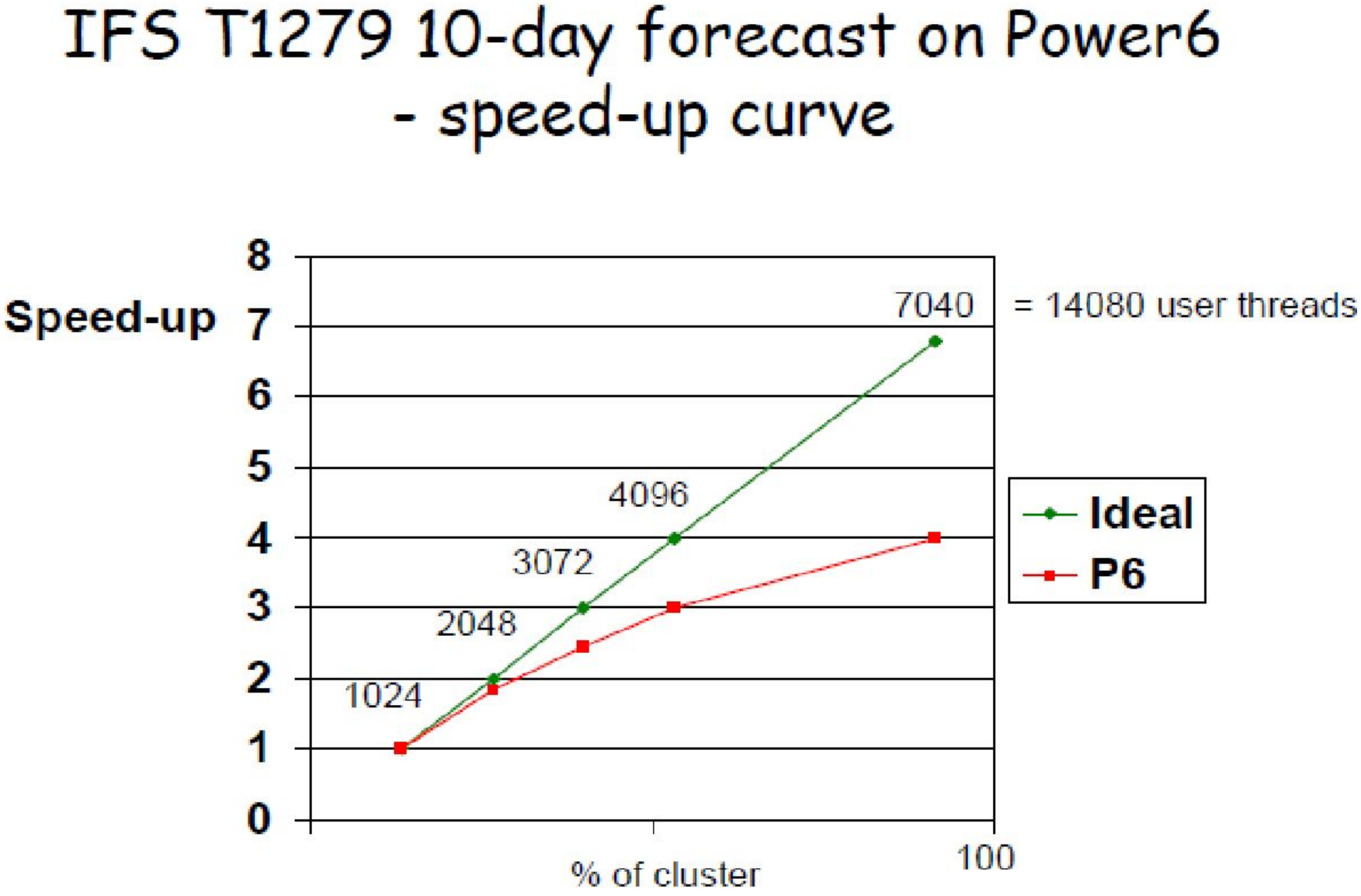
*orld Modelling Summit for Climate Prediction, 2008.* WCRP No. 131.WMO/TD No. 1468, Jan.2009*)*

*Проблема :*

*Программное обеспечение моделей атмосферы не рассчитано на десятки тысяч и миллионы процессорных элементов!!!*

*CAM – эксперименты до 100 000 PEs.*

# Масштабирование модели Европейского центра среднесрочных прогнозов с разрешением T1279L91



# Что такое детерминированный и ансамблевый прогноз погоды и как он делается?

Прогнозы погоды - Windows Internet Explorer

http://www.meteoinfo.ru/forecasts5000/russia/nizhegorodskaya-area

Прогнозы погоды | http://193.7.160.230/w...

Страница | Сервис

ДРОМЕТЦЕНТР
ОССИИ

сти | Прогнозы | Фактические данные | Погода - другими глазами | Климат | Моря и океаны | Поиск | О Гидрометцентре | Контакты | Метео-Энерго | English vers

**Прогноз на неделю для 5000 городов мира**

- дрометеорологический ллетень: Прогноз важнейших дрометеорологических лений. Прогноз по Москве и ласти.
- огноз температурного жима в России на опительный период 09/2010 гг.
- имация прогноза на 2 суток территории Европы
- огноз опасных и благоприятных явлений годы 28.10.2009 - 02.11.2009
- кидаемое распределение омалий температуры и адков в октябре 2009 г.
- огностические карты теорологических полей по зультатам модели ПЛ-АВ дрометцентра России и ИВМ Н
- огностические карты

Прогнозы • Прогноз на неделю для 5000 городов мира

Страна: Россия | Область: Нижегородская область | Станция (город): Нижний Новгород

Поиск города | О статусе данной информации

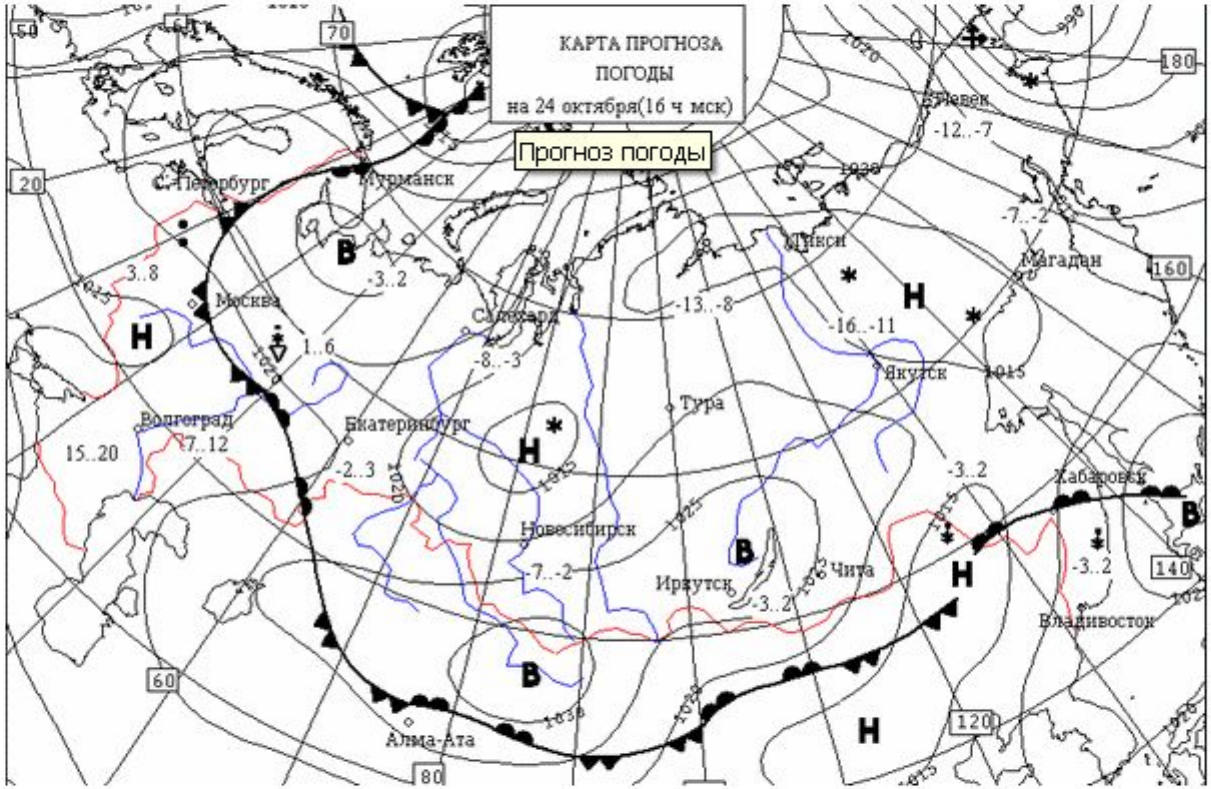
Версия для печати

| | Среда 28 октября | Четверг 29 октября | Пятница 30 октября | Суббота 31 октября | Воскресенье 01 ноября | Понедельник 02 ноября | Вторни 03 нояб |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Атмосферное давление ночью / днем, мм рт.ст. | 753 / 749 | 746 / 743 | 743 / 745 | 747 / 750 | 752 / 755 | 749 / 753 | 754 / 75 |
| Температура воздуха ночью / днем, °C | 0 / 2 | 0 / 2 | -1 / 0 | -3 / -1 | -5 / 0 | -4 / -1 | -6 / -1 |
| Погода | | | | | | | |
| Комментарий к погоде | Облачно, осадки | Облачно, осадки | Облачно, осадки | Облачно, небольшие осадки | Облачно, осадки | Облачно, небольшие осадки | Малообла без осад |
| Осадки, мм | 6 | 7 | 9 | 1 | 4 | 3 | 0 |
| Вероятность осадков, % | 91 | 91 | 87 | 83 | 79 | 75 | 26 |

# Пример прогноза Гидрометцентра России

## meteoinfo.ru

ГИДРОМЕТ ЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ
№ 201 23 октября 2009 г.




**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

В область высокого атмосферного давления

Н область низкого атмосферного давления

→ направление перемещения барических образований

теплый атмосферный фронт

холодный атмосферный фронт

1010 изобары и давление (гПа)

фронт окклюзии

1...5 температура воздуха (°С)

* снег : дождь ливневые осадки

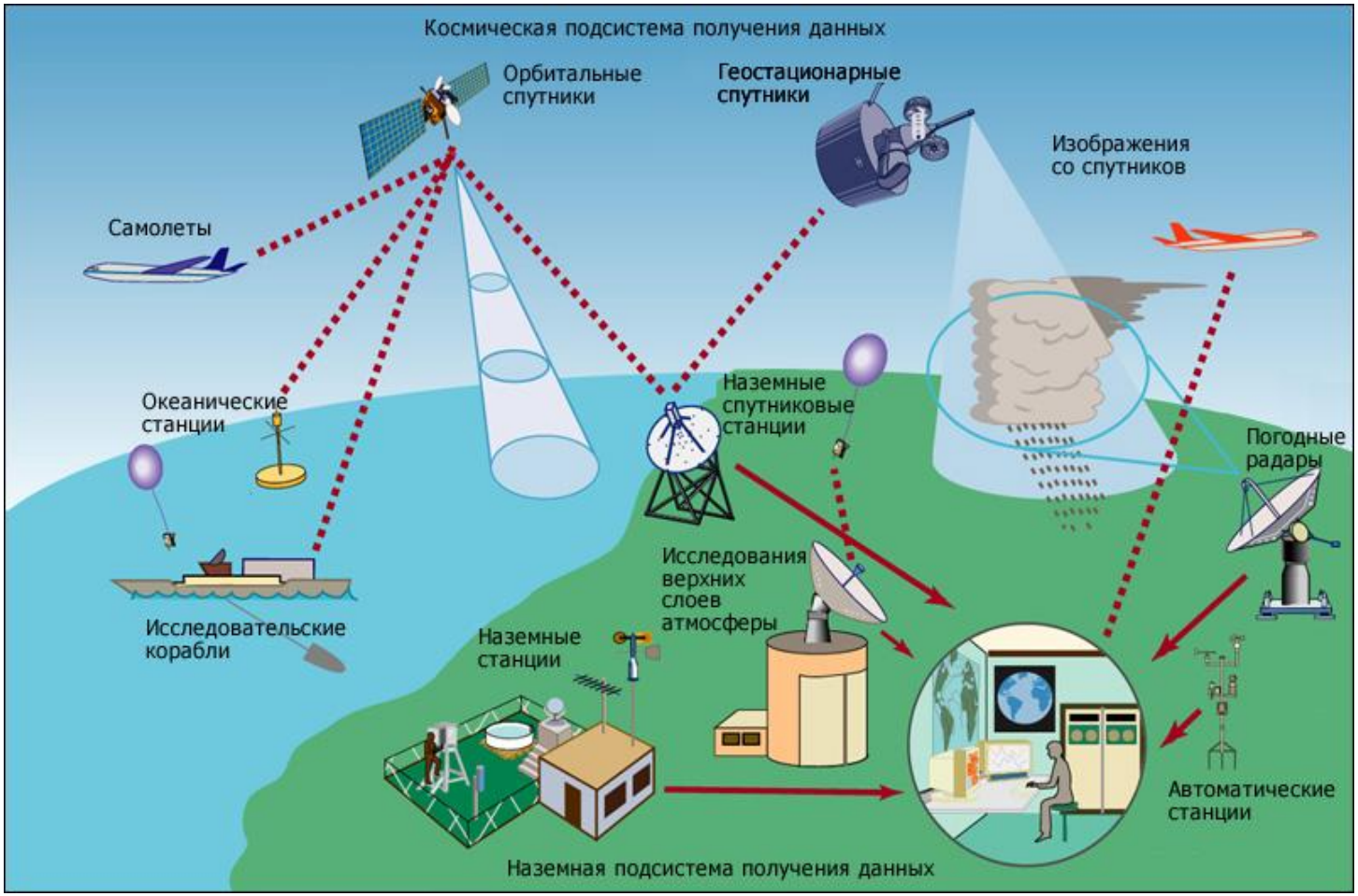
метель гроза гололед

≡ туман

# Пример прогноза Гидрометцентра России

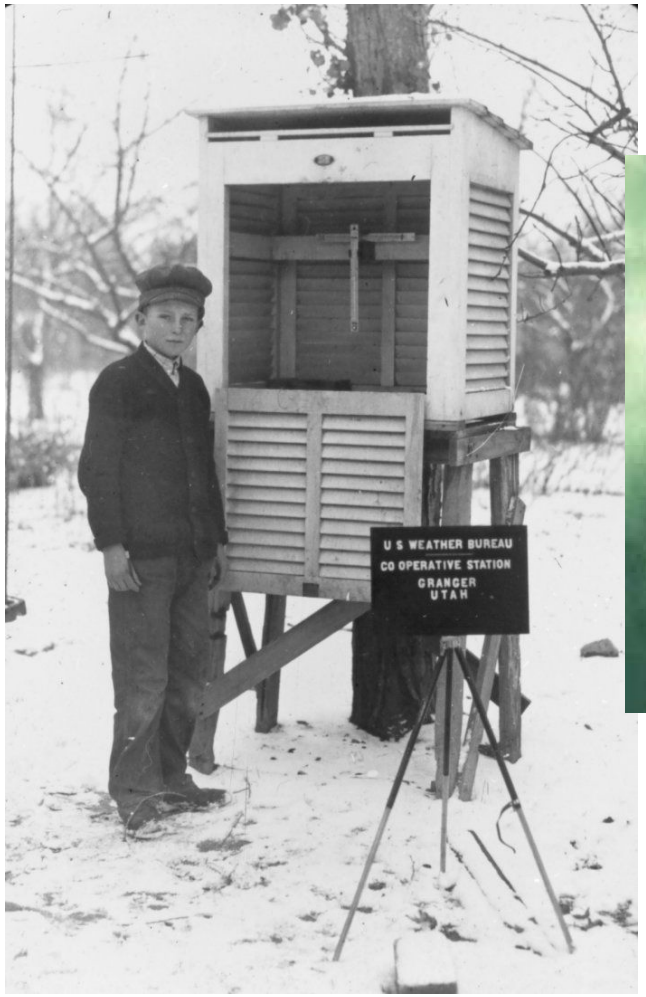
## meteoinfo.ru

# Начальные данные – данные наблюдений



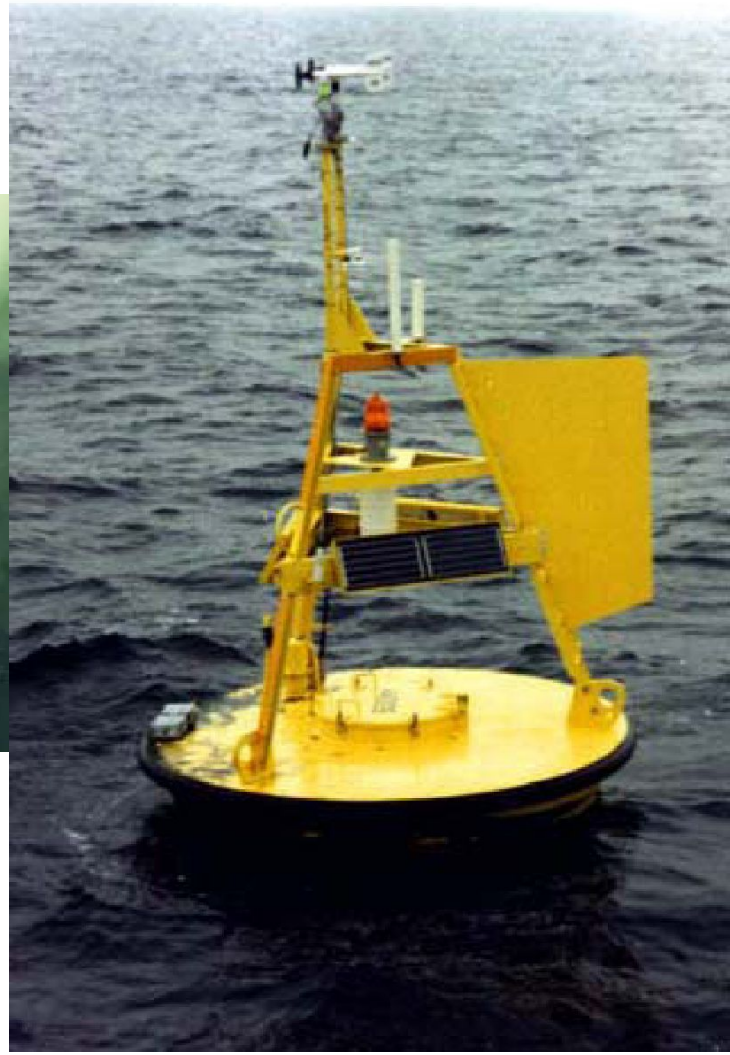
# Наземные наблюдательные системы

Синоптические станции

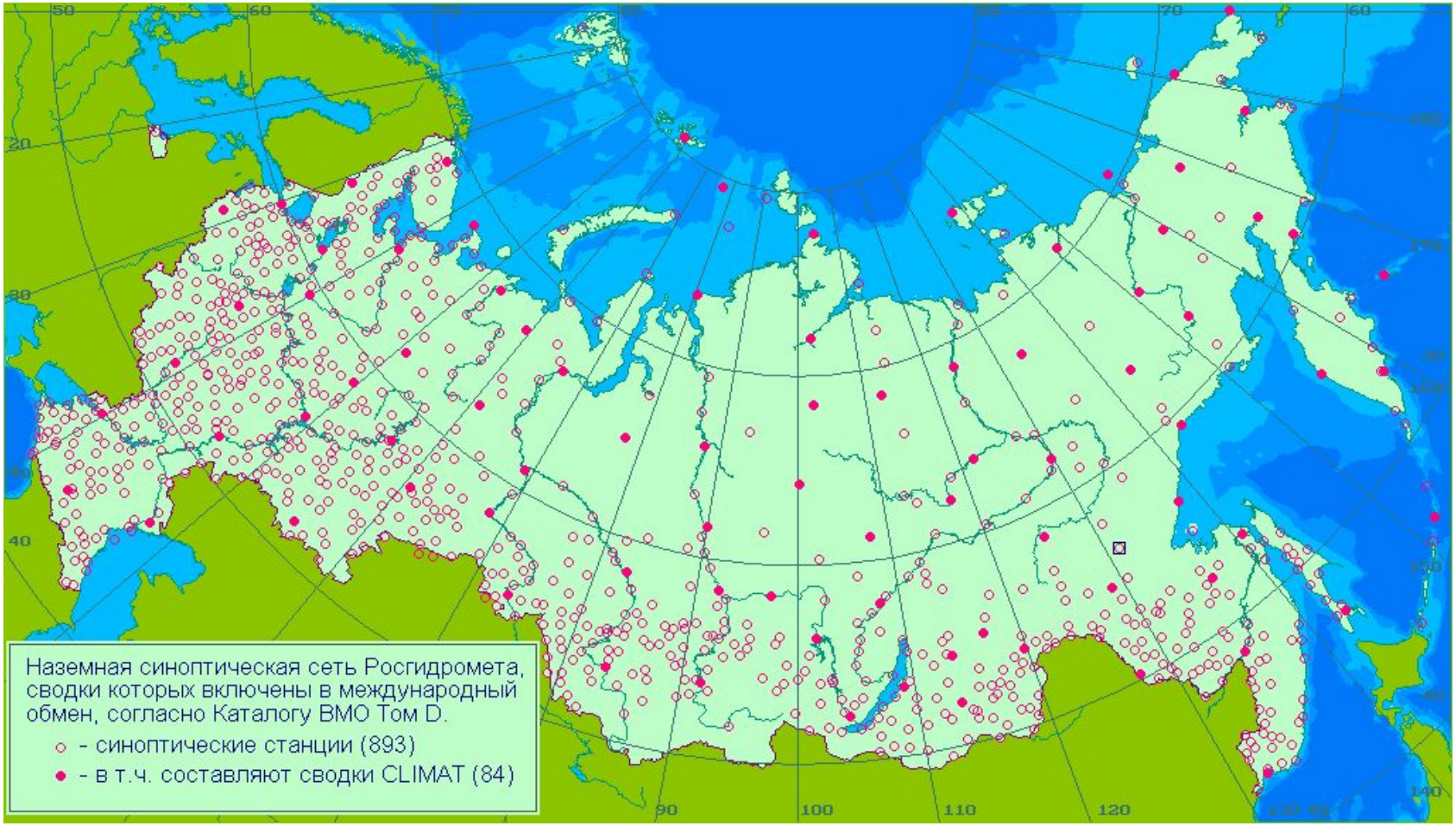



Радары

Буи

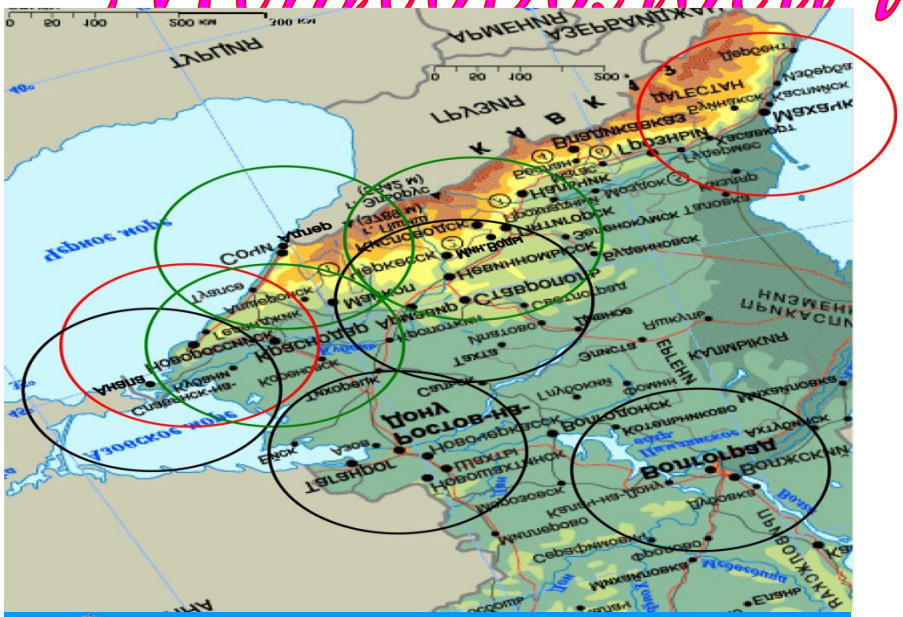


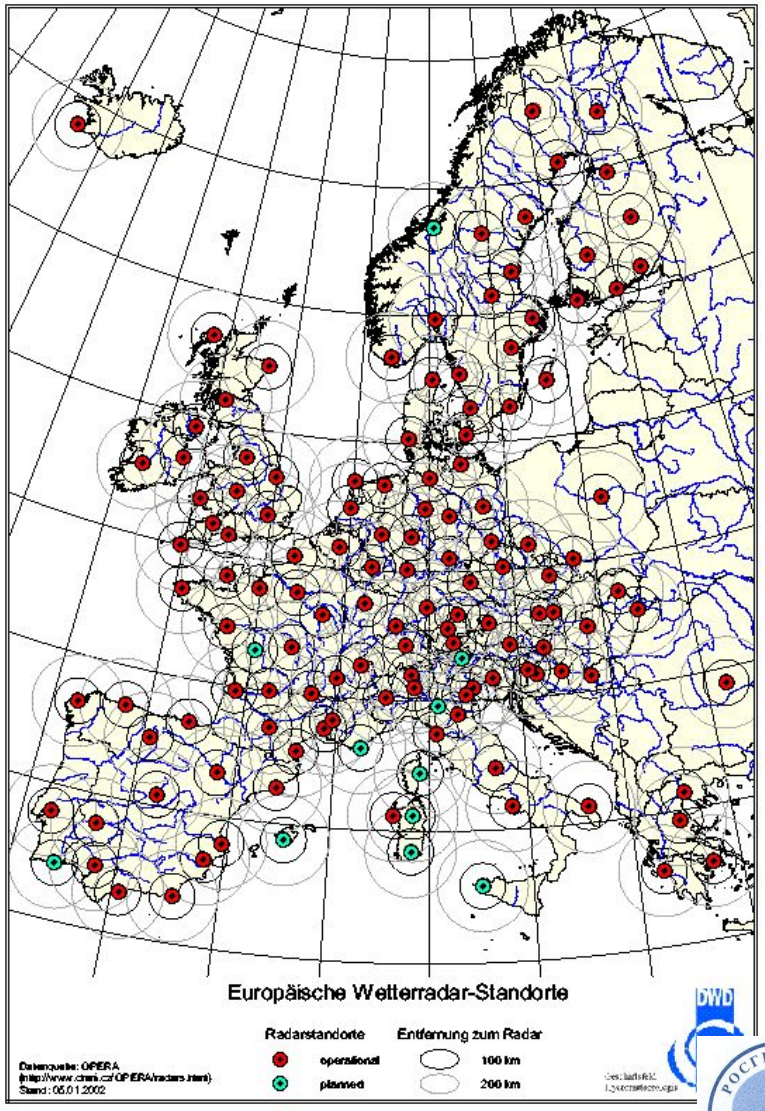
# Неравномерное по пространству распределение данных



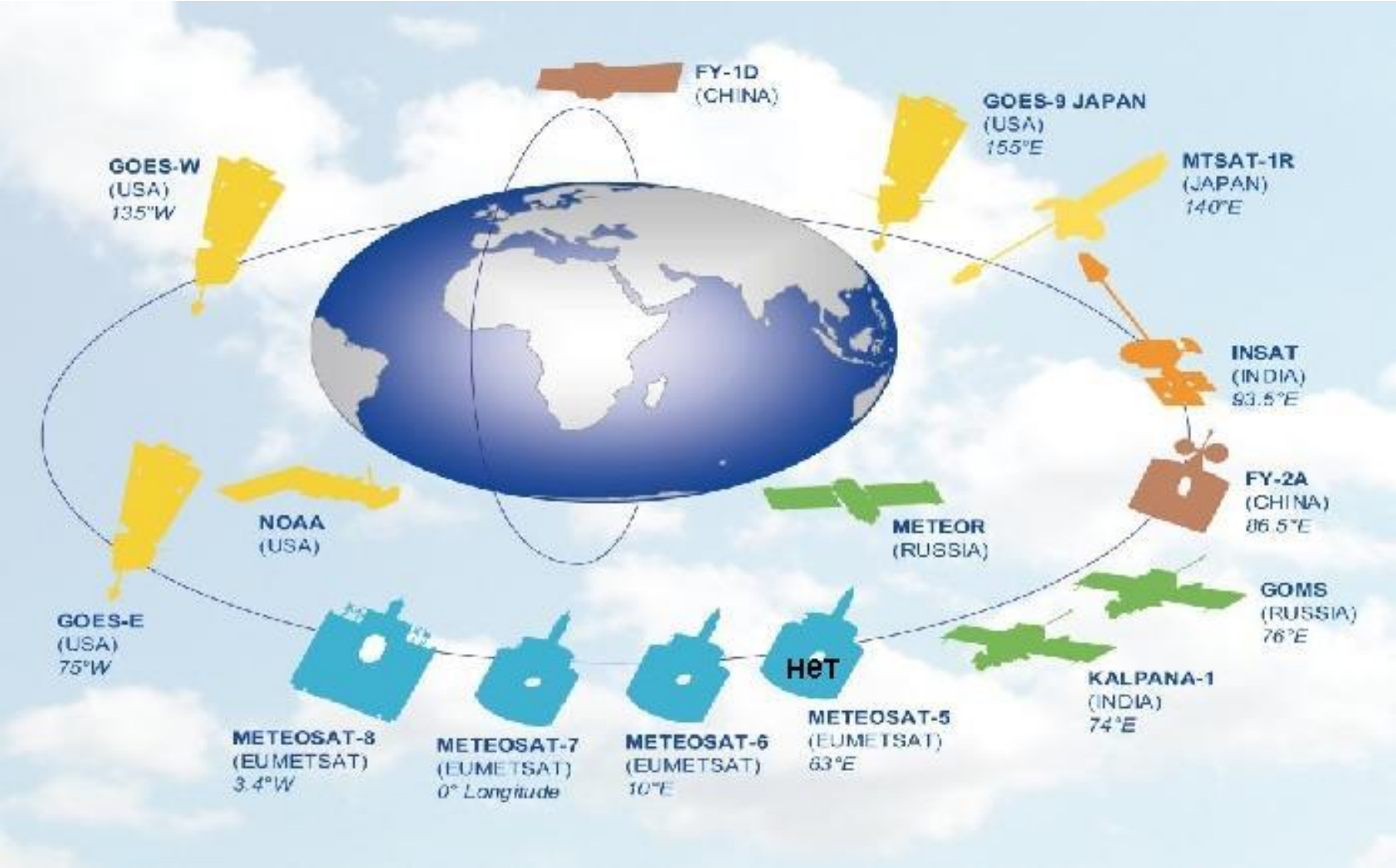

Синоптические станции Росгидромета

# Метеорологические радары





# Спутниковые данные



# Данные должны быть подготовлены для моделей

*Система усвоения данных: замешиваются наблюдения и прогноз*

## Сырые данные

Неравномерны

Зашумлены

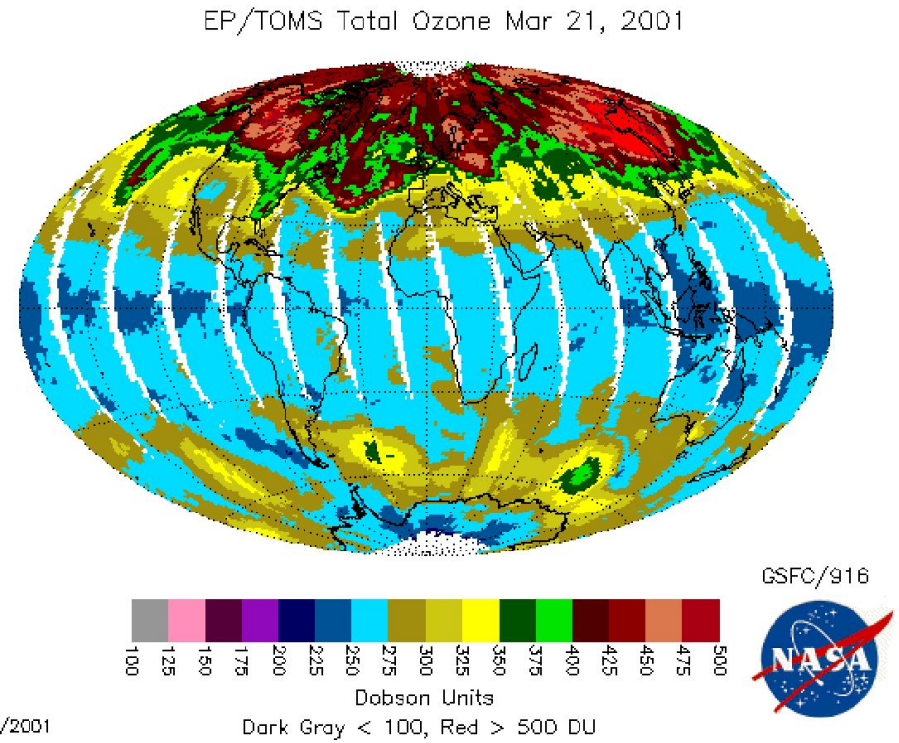
Не пригодны для моделей

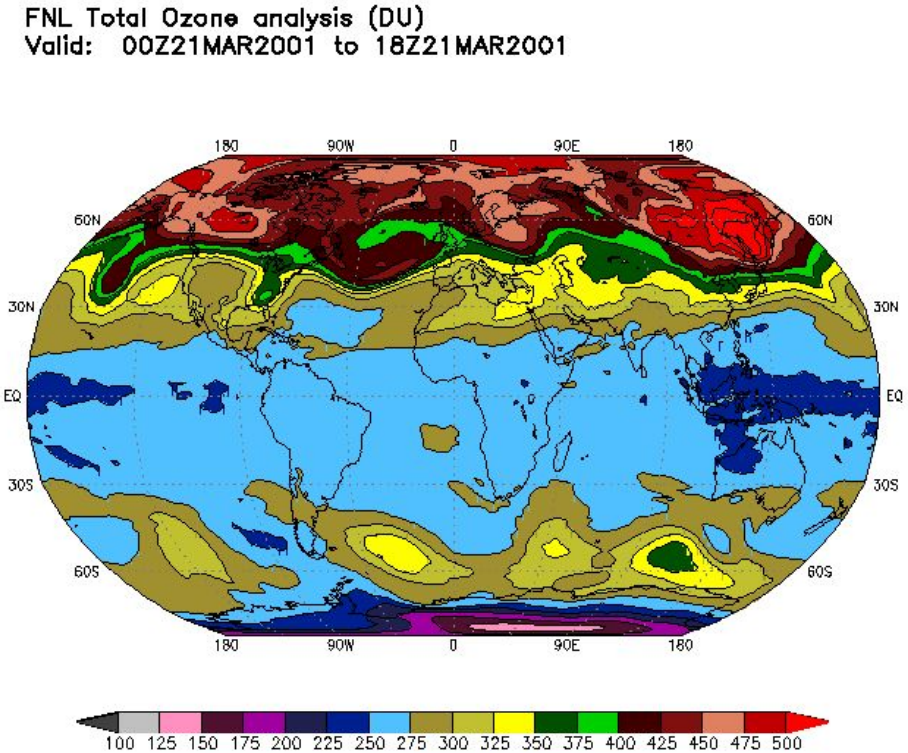
## «Усвоенные» данные

Равномерны

Гладкие

Пригодны для моделей



# Задача численного детерминированного прогноза погоды

- Усвоение данных наблюдений (объективный анализ)
- Препроцессинг модели
- Инициализация данных (*устранение ложных быстрых гравитационных мод*)
- Модель атмосферы
- Постпроцессинг модели
- Оценка качества прогноза
- Передача результатов прогноза по каналам связи

# Оперативные глобальные модели прогноза погоды

| Forecast Centre (Country) | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ECMWF (Europe) | $T_L$799 L91 | $T_L$1279 L91 | $T_L$1279 L140 | $T_L$1279 L140 | tbd | tbd |
| Met Office (UK) | 25 km L70 | 25 km L70 | 20 km L90 | tbd | tbd | tbd |
| Météo France (France) | T799c2.4 L70 | T799c2.4 L70 | T1240c2.4 L90 | tbd | tbd | tbd |
| DWD (Germany) | 30 km L60 | 30 km L60 | 15 km L70 | 15 km L70 | tbd | tbd |
| HMC (Russia) | T169 L31; 0.72°x0.9° L50 | T169 L31; 0.37°x0.45° L50 | T339 L63; 0.19°x0.225°L60 | tbd | tbd | tbd |
| NCEP (USA) | T382 L64 (7.5) T190 L64 (16) | T878 L91 (7.5) T574 L91 (16) | 25 km L90 | 25 km L90 | 25 km L90 | 25 km L90 |
| Navy/FNMOC/NRL (USA) | T319 L36 | T319 L36 | T319 L36 | T479 L60 | T479 L60 | T511 L64 |
| CMC (Canada) | (0.45°x0.3o°) L80 | (0.45°x0.3o°) L80 | (0.45ox0.3o°) L80 | (0.45°x0.3o°) L80 | (0.3°x0.2°) L90 | (0.3°x0.3°) L90 |
| CPTEC/INPE (Brazil) | 20 km L96 | 20 km L96 | 20 km L96 | 10 km L96 | 10 km L128 | tbd |
| JMA (Japan) | $T_L$959 L60 | $T_L$959 L60 | $T_L$959 L60 | tbd | tbd | tbd |
| CMA (China) | $T_L$639 L60 GRAPES 50 km L31 | $T_L$639 L60 GRAPES 50 km L31 | $T_L$639 L60 GRAPES 50 km L31 | GRAPES 25 km L31 | GRAPES 26 km L31 | tbd |
| KMA (Korea) | T426 L40 | 40 km L50 | 25 km L70 | 25 km L70 | 25 km L90 | tbd |
| NCMRWF (India) | T382 L64 | T382 L64 | tbd | tbd | tbd | tbd |
| BoM (Australia) | ACCESS ~80 km L50 | ~40 km L50 | 25 km L70 | 25 km L90 | tbd | tbd |

http://www.wmo.int/wgne

# Численный прогноз погоды

- **Детерминированный прогноз**

*Однократное интегрирование модели атмосферы с использованием данных о начальном состоянии атмосферы, рассматриваемых как наилучшее приближение к истине*

- **Ансамблевый прогноз**

*Многократное интегрирование одной или нескольких моделей атмосферы с использованием слегка различающихся данных о начальном состоянии атмосферы*

*Требует существенно больше компьютерных ресурсов!!!!*

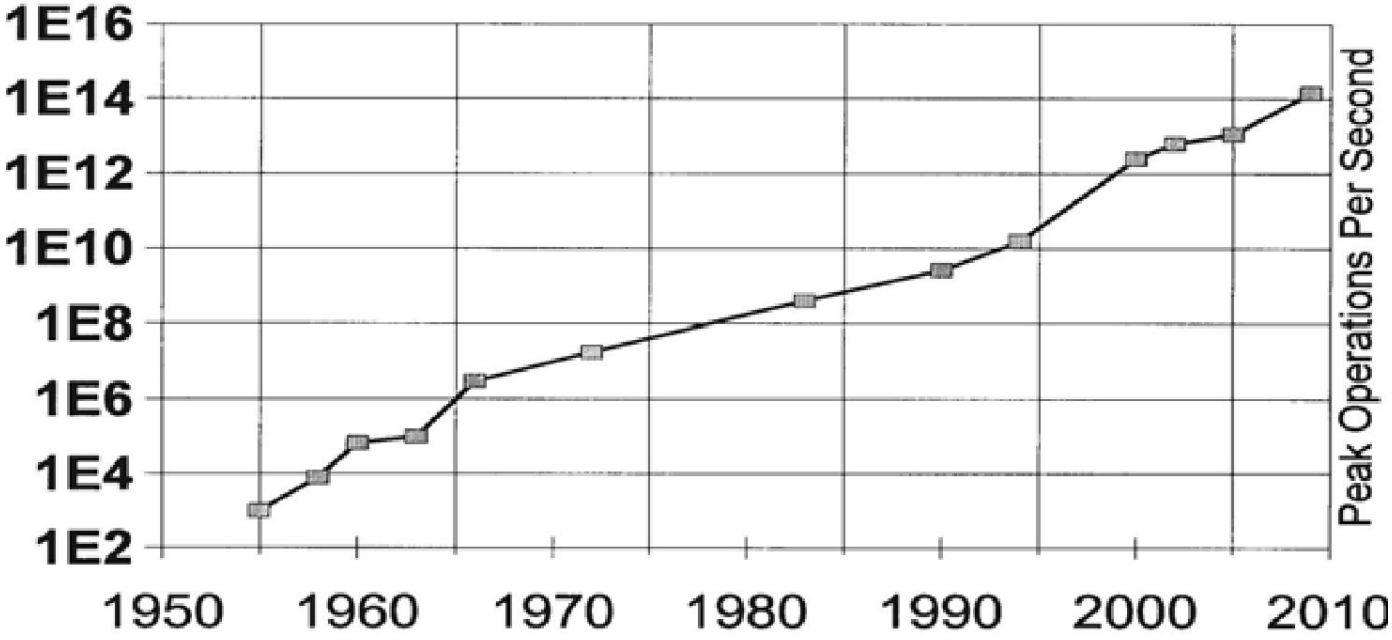
Улучшение качества наблюдений и увеличение их количества

Усовершенствование моделей атмосферы

Рост компьютерных мощностей

***Точный прогноз?***

*НЕТ!!!*



# ПРОГНОЗАМ ПОГОДЫ ПРИСУЩА ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

- Атмосфера – хаотическая система
- Динамика ее нелинейна

  *Мелкомасштабные ошибки могут влиять на крупномасштабные процессы и приводят к возрастанию ошибок прогноза со временем*

- Данные о начальном состоянии атмосферы неточны

  *ошибки измерений*

  *неравномерное распределение наблюдений в пространстве и во времени*

- Модели атмосферы несовершенны

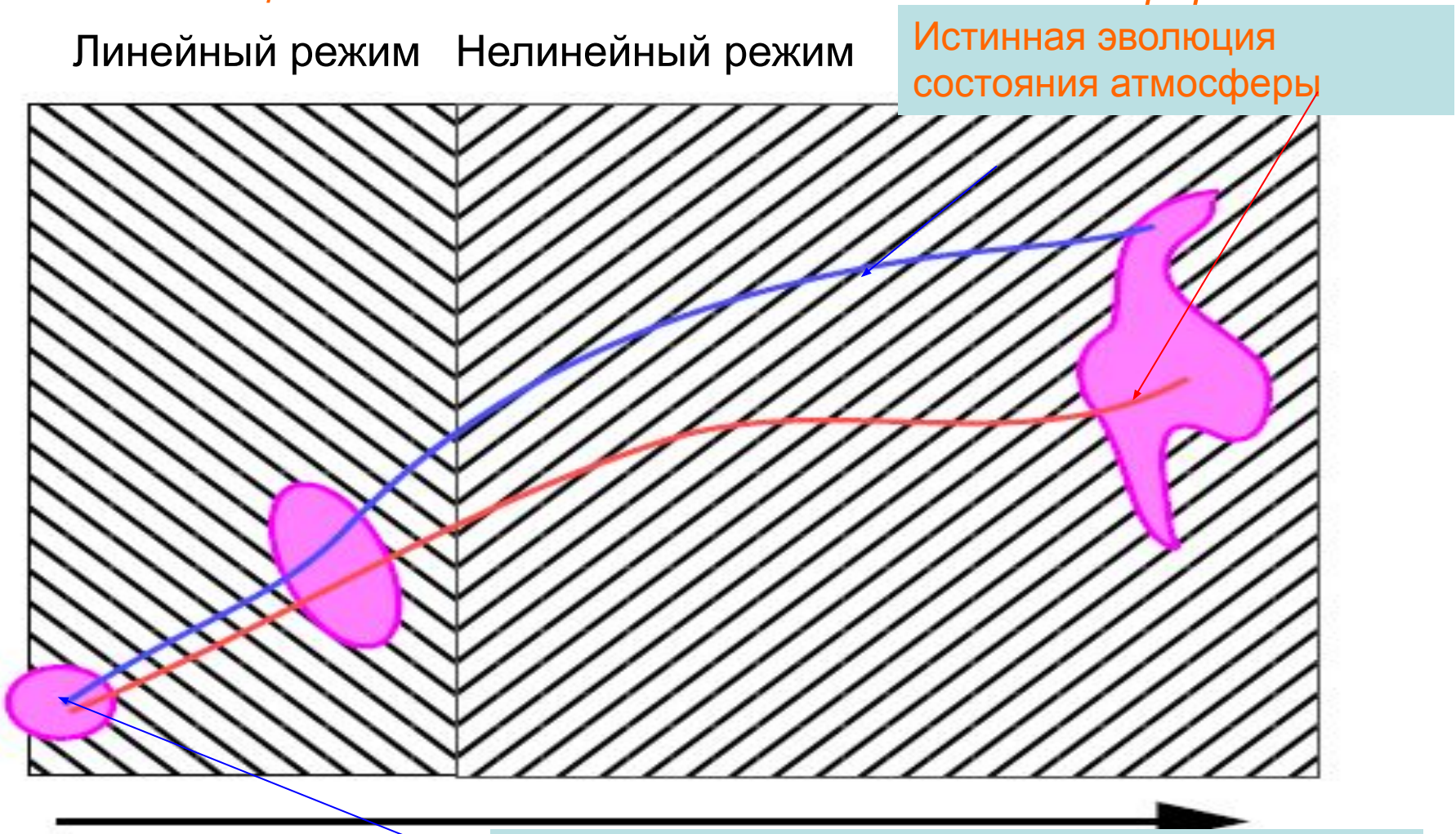
  *Неточности в уравнениях*

  *Параметрический учет физических процессов*

  *Дискретизация*

# ПРОГНОЗАМ ПОГОДЫ ПРИСУЩА ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

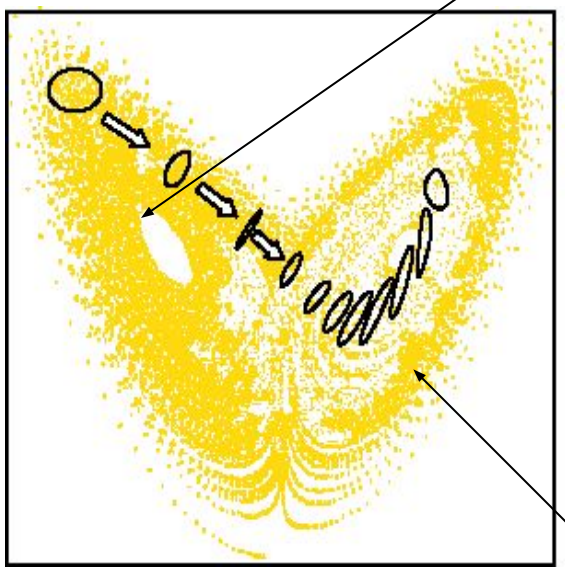
*Эволюция ошибок в начальном состоянии атмосферы*

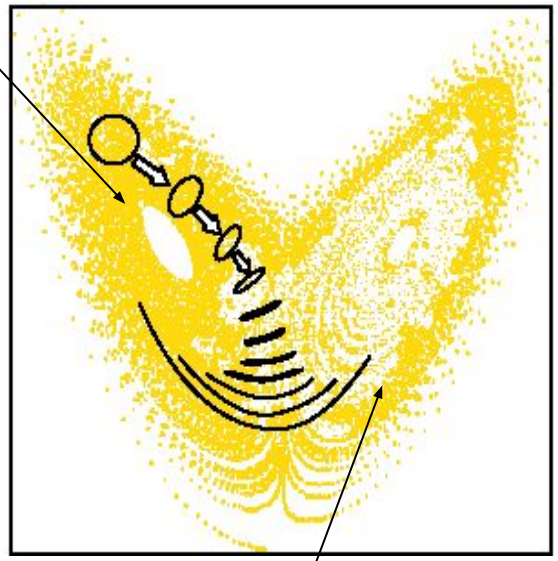


# ПРОГНОЗАМ ПОГОДЫ ПРИСУЩА ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

## *Качество прогноза зависит от ситуации*

Режим 1: сухо и тепло





*Buizza 2002*

Режим 2: холодно и сыро

Хорошо предсказуемая ситуация

Плохо предсказуемая ситуация

Качество прогнозов падает с заблаговременностью прогнозов

Качество прогнозов зависит от ситуации

Нужен вероятностный прогноз!
Т.е. описание эволюции функции плотности вероятности состояний атмосферы во времени.
Уравнение Лиувилля – долго.
АНСАМБЛИ!!!

Пользователям нужна оценка качества прогнозов

Пользователям нужна вероятность экстремальных явлений

# Реализация ансамблевого подхода

*Простейший ансамбль*

–совокупность прогнозов, стартующих со слегка различающихся (возмущенных) начальных данных (ансамбля начальных данных)

Ансамбль начальных данных должен:

Содержать равновероятные члены

Являться репрезентативной выборкой из вероятных состояний атмосферы

Включать истинное состояние атмосферы (т.е разброс достаточно велик)

Возмущения должны быть  в пределах ошибок анализа

Неточность данных о состоянии атмосферы

Бридинг
Ансамблевые трансформации
Сингулярные вектора
Системное моделирование

Неточность данных о состоянии поверхности Земли

Системное моделирование
Варьирование характеристик поверхности

Неточность модели атмосферы

Стохастическая физика
Мультимодельность
Вариации параметризаций

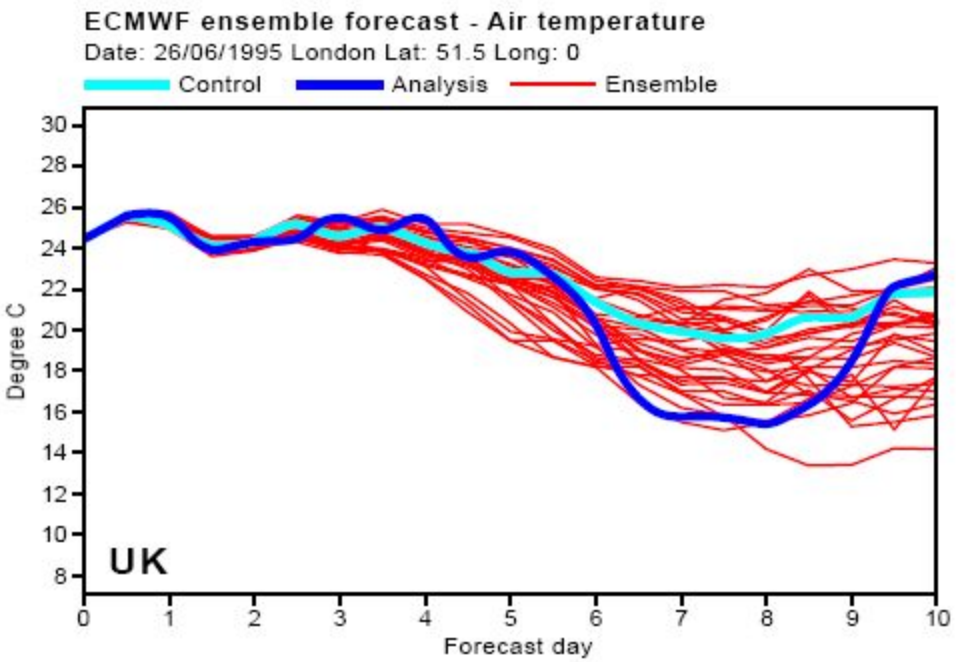
# Основные ансамблевые системы среднесрочного прогноза

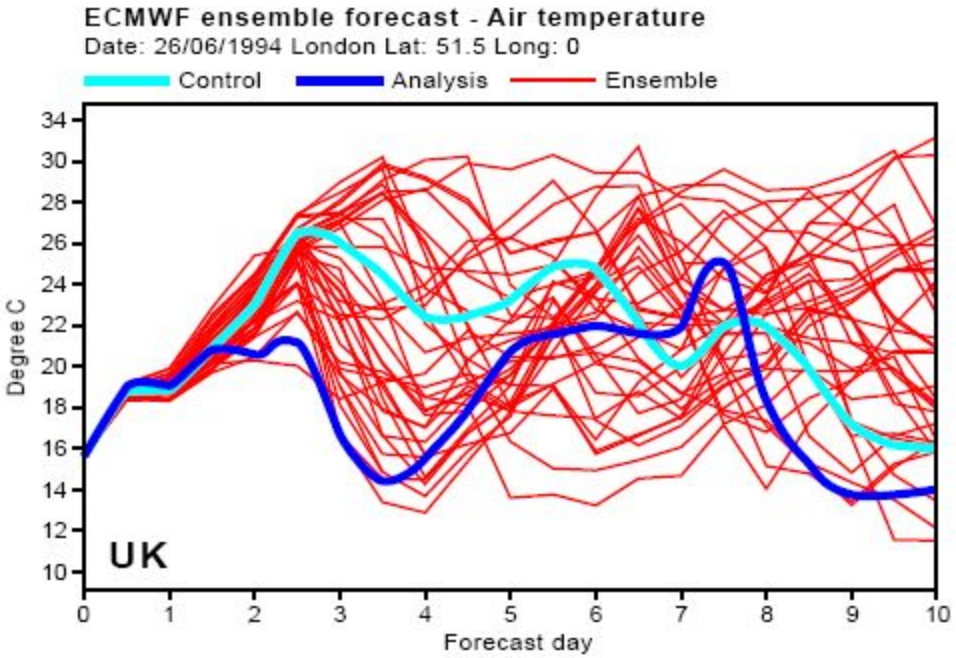
| | Модель | Размер | Возмущение начальных данных | Учет несовершенства модели |
|---|---|---|---|---|
| ECMWF | T399L62 (1-10 сут) T255L62 | 50 членов | Сингулярные вектора | Стохастические возмущения |
| NCEP, США | T126L28 | 20 членов | Ансамблевые трансформации + масштабирование | Стохастические возмущения |
| MSC, Канада | 0.9°*0.9°, 28 уровней | 20 членов | Возмущение данных наблюдений | Разные параметризации |

# Выгоды использования ансамбля

- Разброс ансамбля характеризует качество прогноза в зависимости от ситуации
- Среднее по ансамблю дает лучшую ( по сравнению с детерминированным прогнозом) оценку истинного состояния атмосферы (даже при использовании модели худшего разрешения!)
- Легко получить вероятностный прогноз явлений погоды

Пример ансамблевого прогноза температуры воздуха в Лондоне (метеограмма)



# А что у нас ?

Суперкомпьютеры

Фабрика погоды прошлого:
Ручной анализ

# Развитие моделей численного среднесрочного прогноза ECMWF и Гидрометцентра России и соответствующие характеристики компьютеров

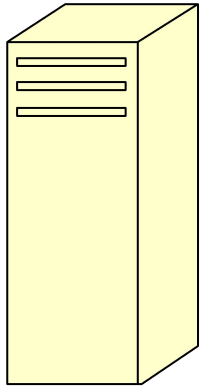
***ECMWF***

1990 CRAY Y-MP, 8 PEs T106L31

1996 Fujitsu VPP700, 46 PEs T213L31

2006 IBM p575, 2400 PEs T799L91

Исследования T2047L62



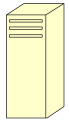
***Гидрометцентр России***

1990 Hitachi 3033, 1 PE T40L15

1996 CRAY Y-MP, 8 PEs T85L31

2006 Xeon, 4 PEs T85L31

Исследования T339L31



# Развитие моделей численного среднесрочного прогноза ECMWF и Гидрометцентра России и соответствующие характеристики компьютеров

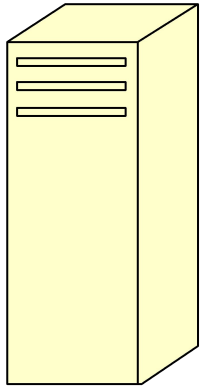
***ECMWF***

1990 CRAY Y-MP, 8 PEs T106L31

1996 Fujitsu VPP700, 46 PEs T213L31

2006 IBM p575, 2400 PEs T799L91

Исследования T2047L62



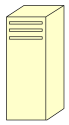
***Гидрометцентр России***

1990 Hitachi 3033, 1 PE T40L15

1996 CRAY Y-MP, 8 PEs T85L31

2006 Xeon, 4 PEs T85L31

Исследования T339L31



2009: ECMWF 2*156 Tflops , 2*8320 PEs

Гидрометцентр России 11+16 Tflops, 1664+1416 PEs

# Квази-оперативные и оперативные прогностические модели Гидрометцентра России

| Территория, Разрешение | Название | Сопряженные технологии | Сопряженные технологии в перспективе |
|---|---|---|---|
| Глобус, От 60 до 150 км | T85L31, ПЛАВ-2008, T169L31 | Ансамблевый среднесрочный прогноз, Долгосрочное прогнозирование | Боковые условия для мезомасштабных моделей |
| Ограниченные территории: «Регион» 30-70 км | Региональная модель Гидрометцентра России ПЛАВ-2 | Физико-статистическая интерпретация (ФЗИ): Расчеты конвективных опасных явлений | |
| Участки в пределах Европы и ЕТР | COSMO-RU7, COSMO-RU14, WRF-ARW, ETA, MM5, мезомасштабная модель Гидрометцентра России | | ФЗИ : Расчеты конвективных опасных явлений, видимости, туманов, Экологические блоки, РЭП |

# Преемственность систем детерминированного и вероятностного численного прогнозирования

**Спектральная модель атмосферы**

***Разработка версий модели***

**Технология детерминированного Прогноза:**

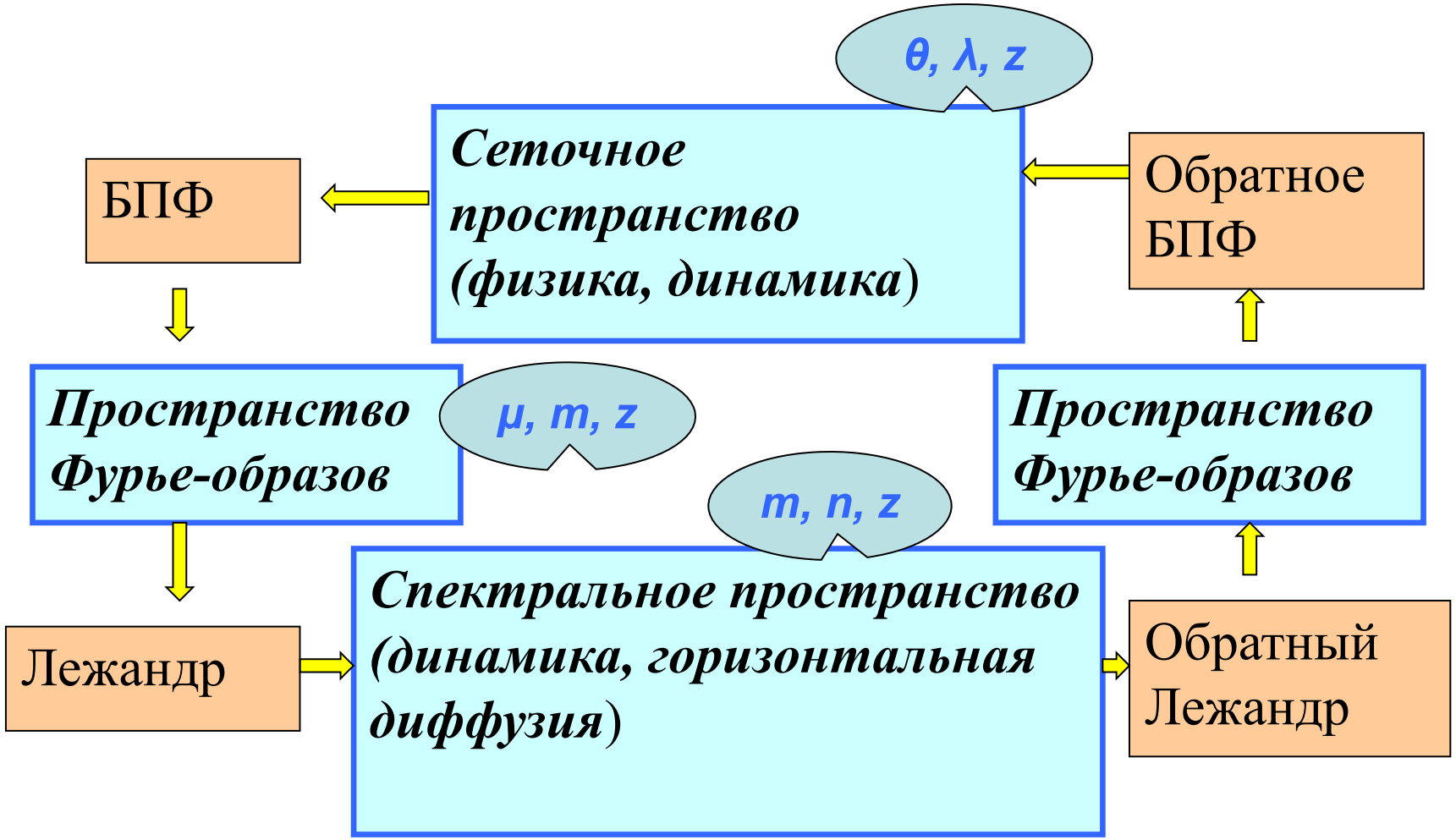
***T85L31 (150 км), T169L31 (70 км), T169L63 (70 км), T339L31 (45 км), T679L31 (25 км)***

***Разработка систем построения ансамблей***

**Технология ансамблевого Прогноза:**

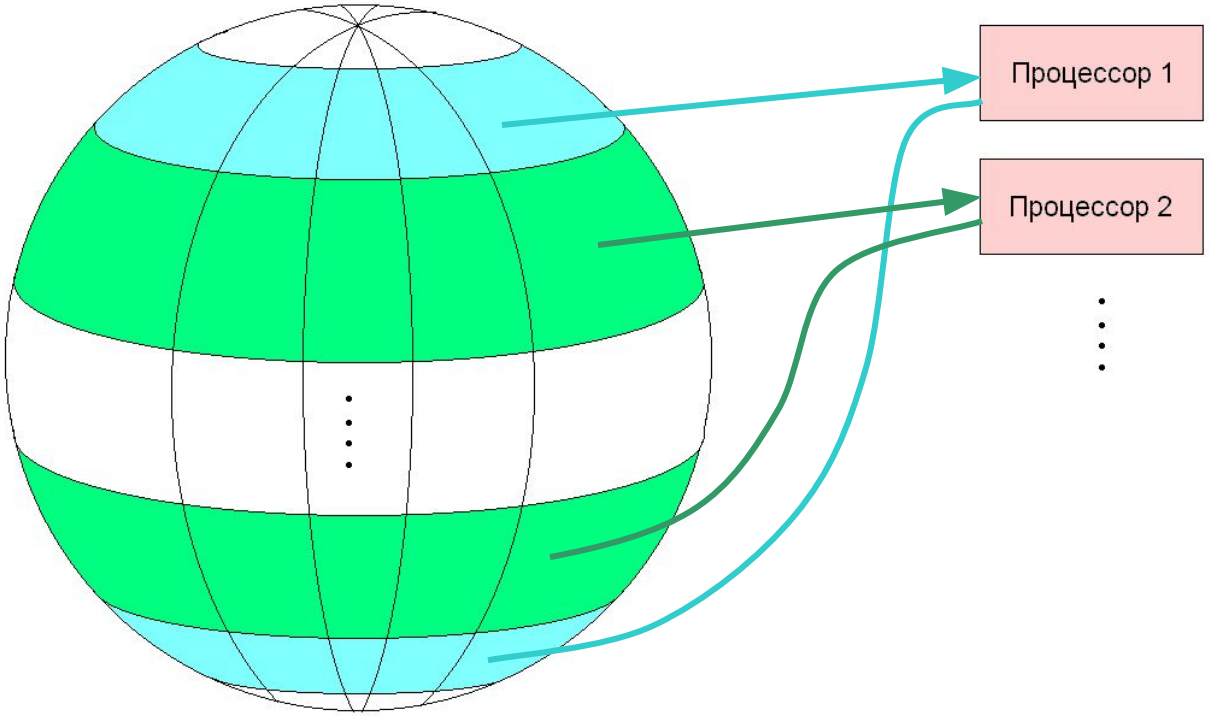
***T85L31, T169L31***

# Метод спектральных преобразований



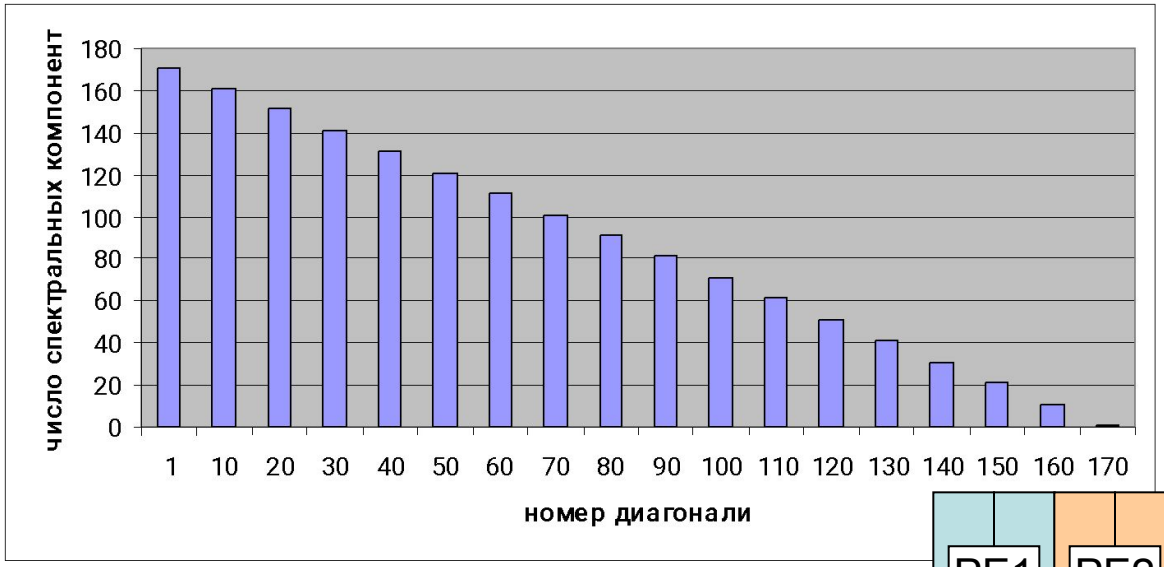
*Спектральная модель:*

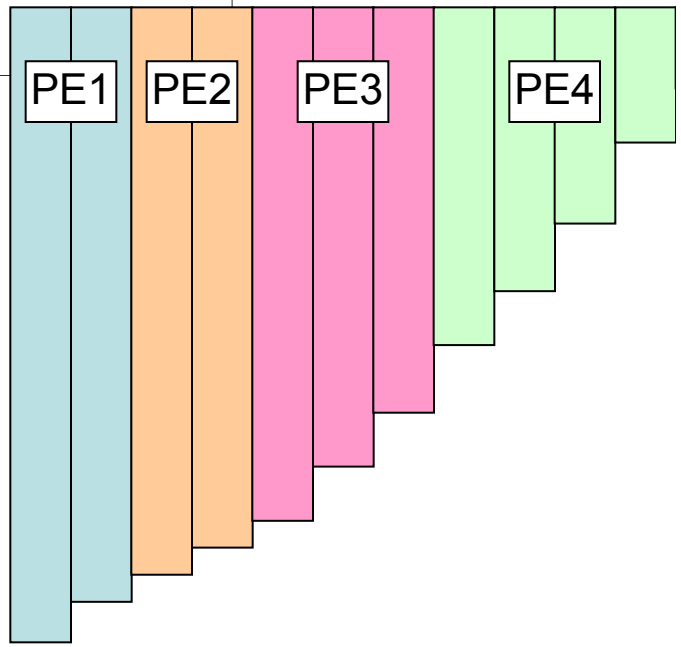
# Пространственная декомпозиция области расчетов в сеточном пространстве



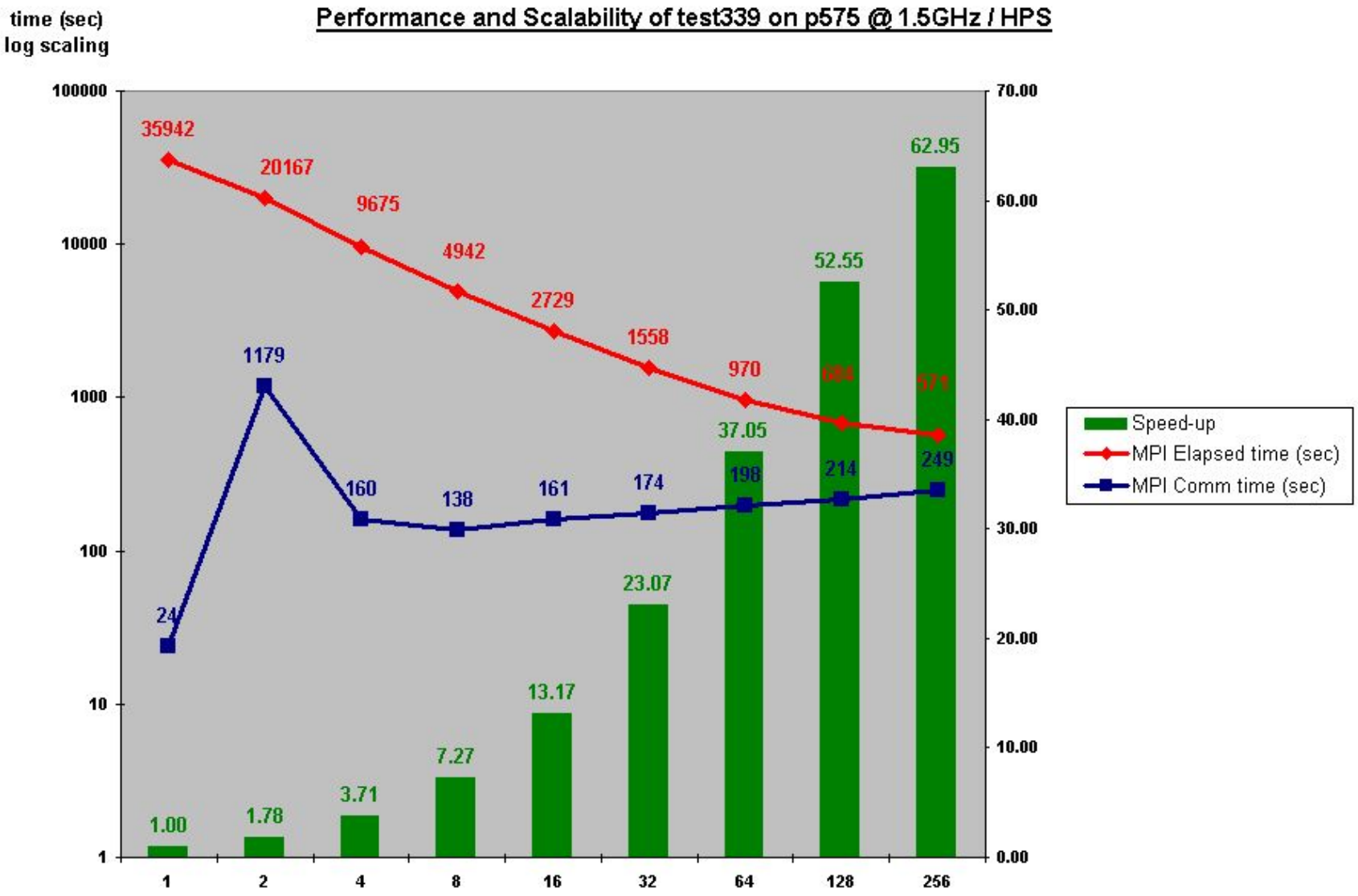
*Спектральная модель:*

# Декомпозиция области расчетов в спектральном пространстве

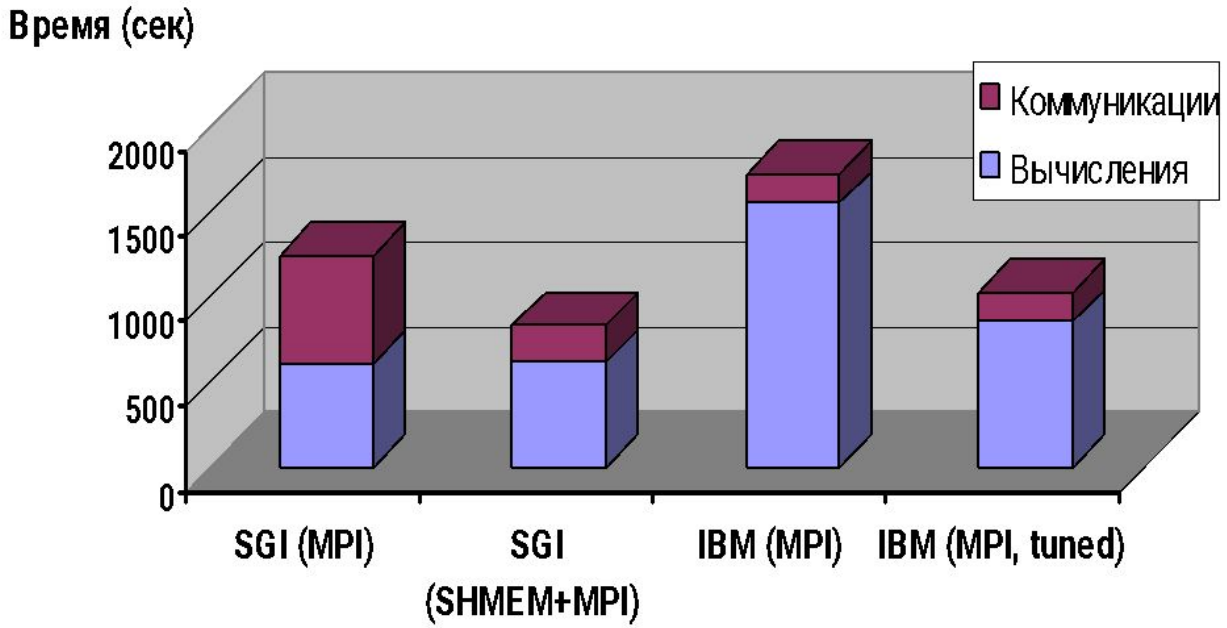


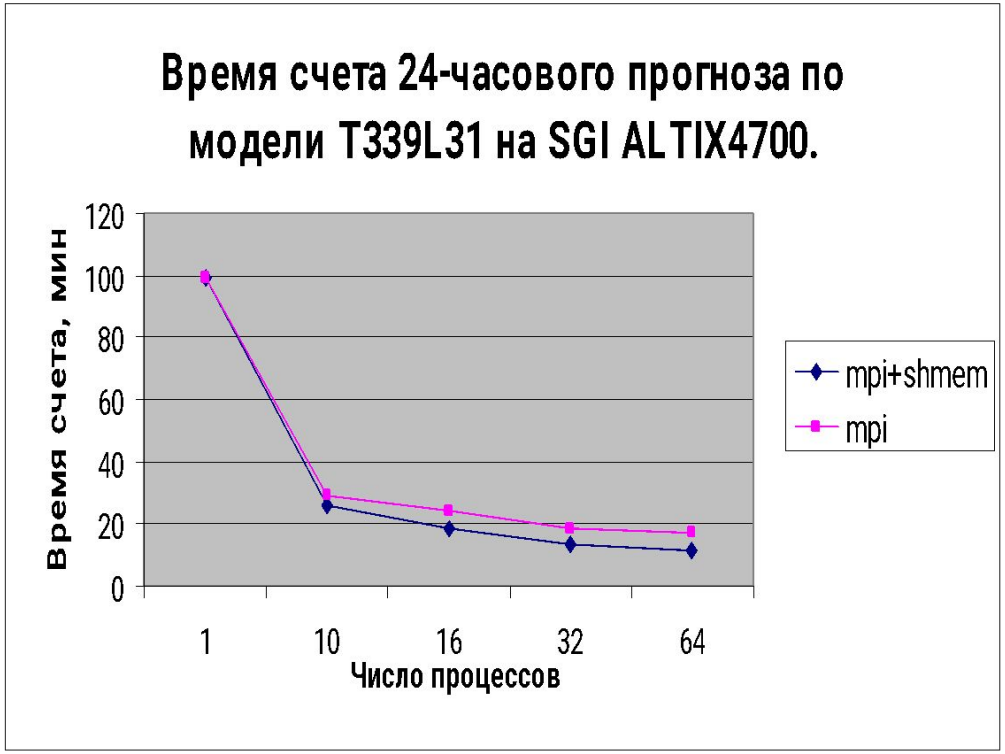
# T339L31. 24-часовой прогноз. 2x-ядерный p575 1.5 Ггц



# Соотношение времени счета и коммуникаций для модели T339 для 32 процессоров



# *Спектральная модель:*



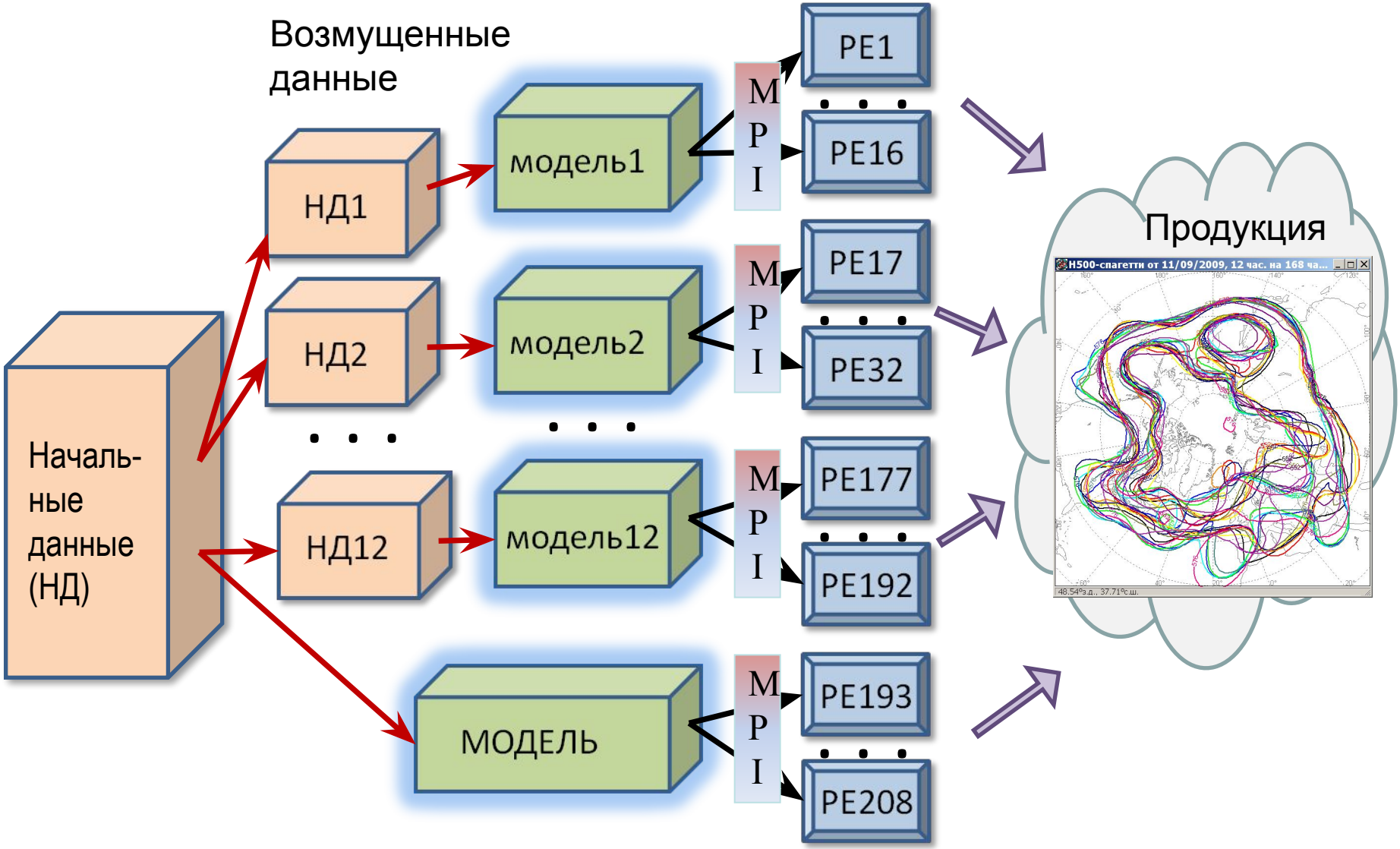

Суточный прогноз должен быть готов за ~20 мин

На 1 PE ~100 мин

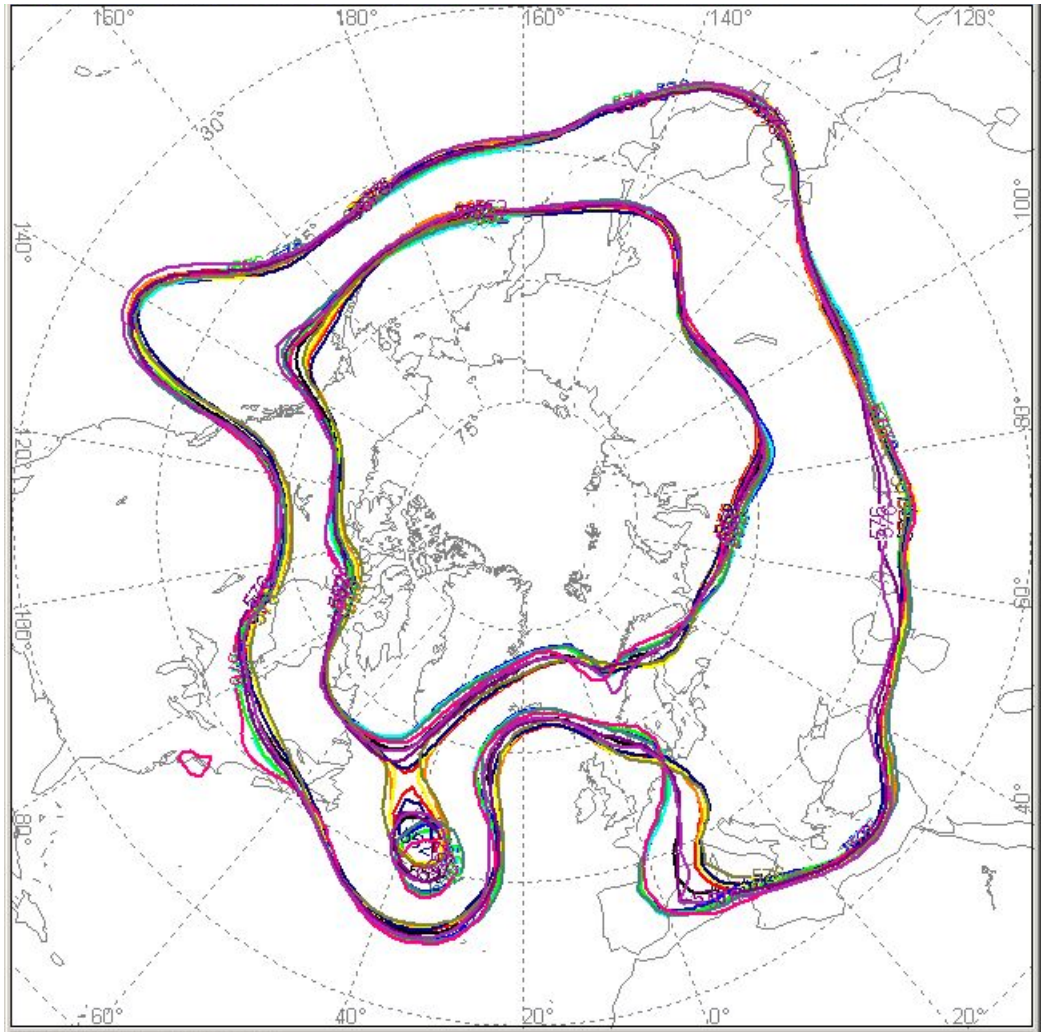
На 16 PEs ~18 мин (без SHMEM ~23 мин)

На 64 PEs ~ 11 мин

# Конфигурация ансамблевой системы прогноза



# «Спагетти»
# H500 (516, 552, 576 гпм)

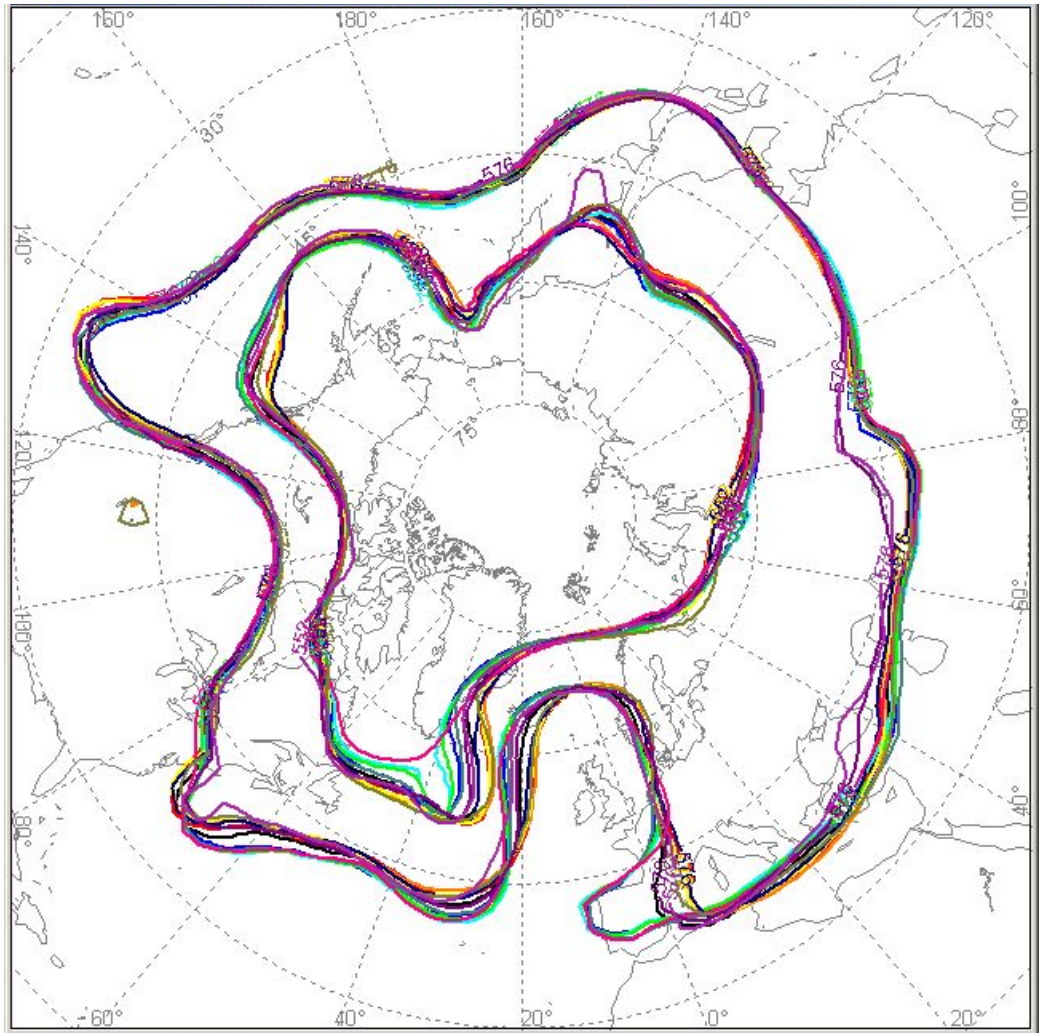



*Прогноз на 1 день вперед*

*от 11 сентября 2009 12 ВСВ*
*на 12 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# «Спагетти»
# H500 (516, 552, 576 гпм)

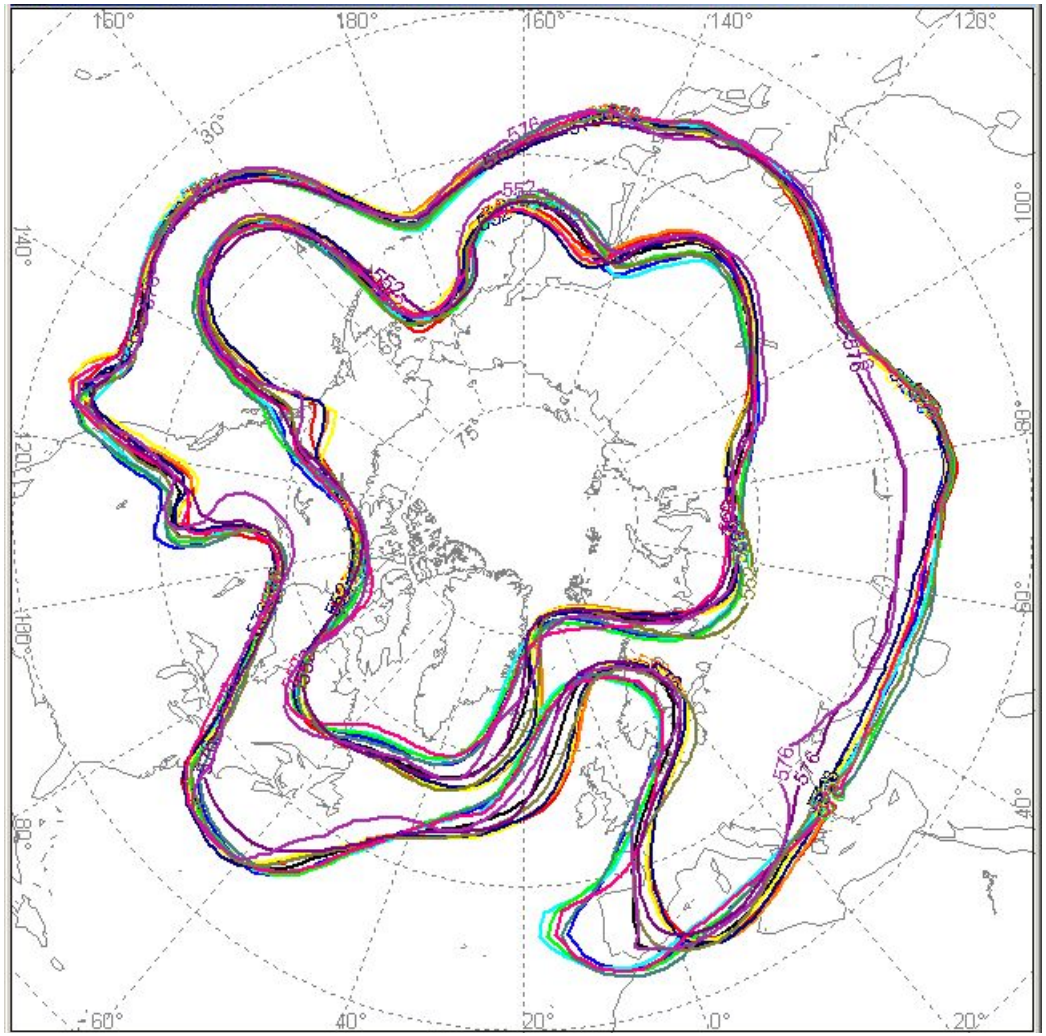



*Прогноз на 2 дня вперед*

*от 11 сентября 2009 12 ВСВ*
*на 13 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# «Спагетти»
# H500 (516, 552, 576 гпм)

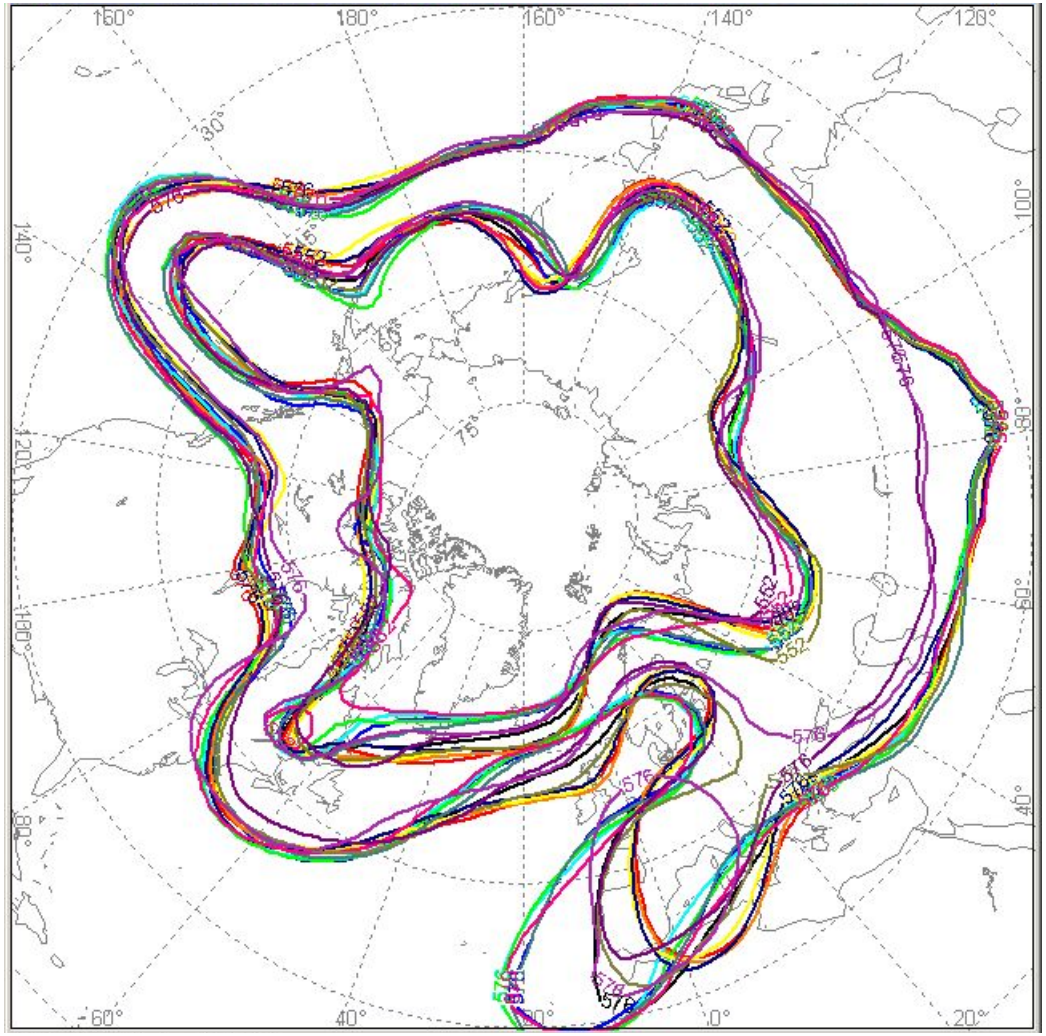



*Прогноз на 3 дня вперед*

*от 11 сентября 2009 12 ВСВ*
*на 14 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# «Спагетти»
# H500 (516, 552, 576 гпм)

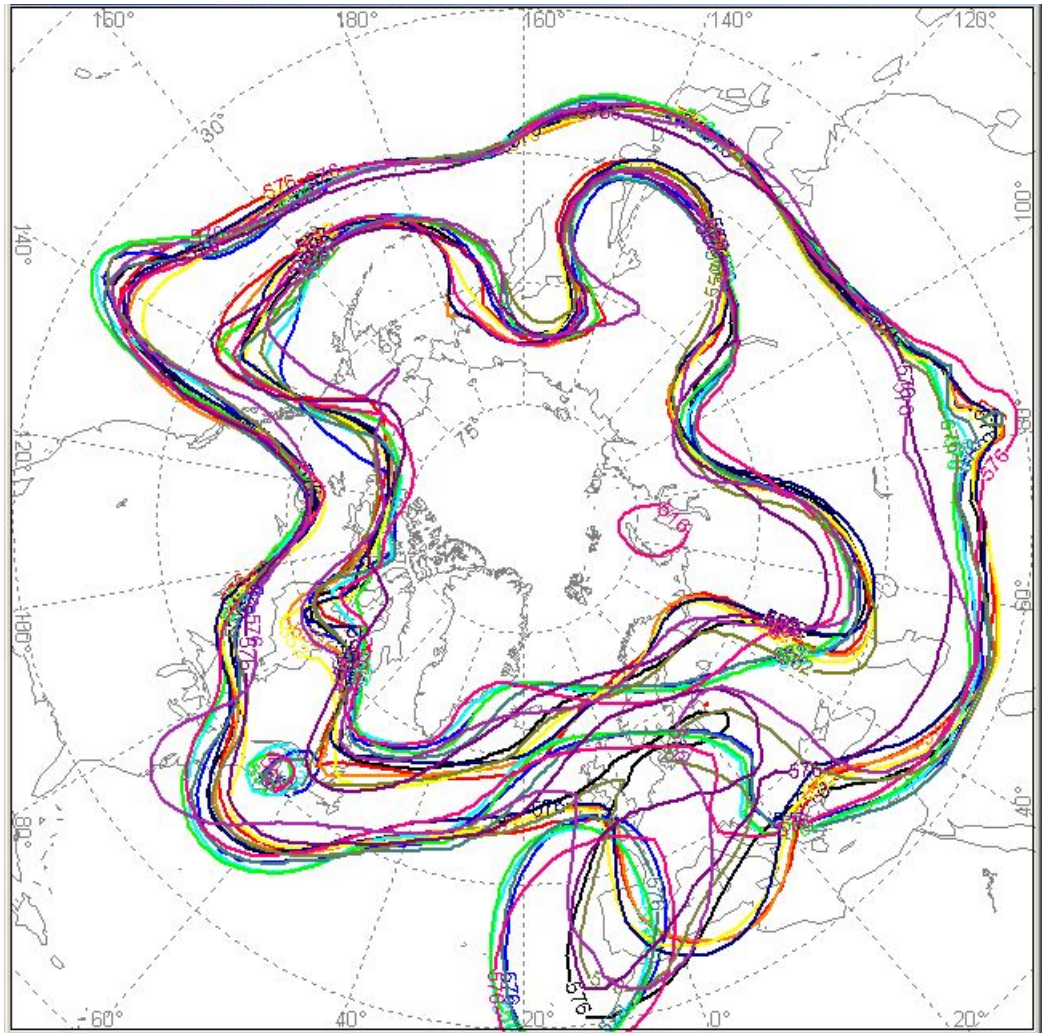



*Прогноз на 4 дня вперед*

*от 11 сентября 2009 12 ВСВ*
*на 15 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# «Спагетти»
# H500 (516, 552, 576 гпм)

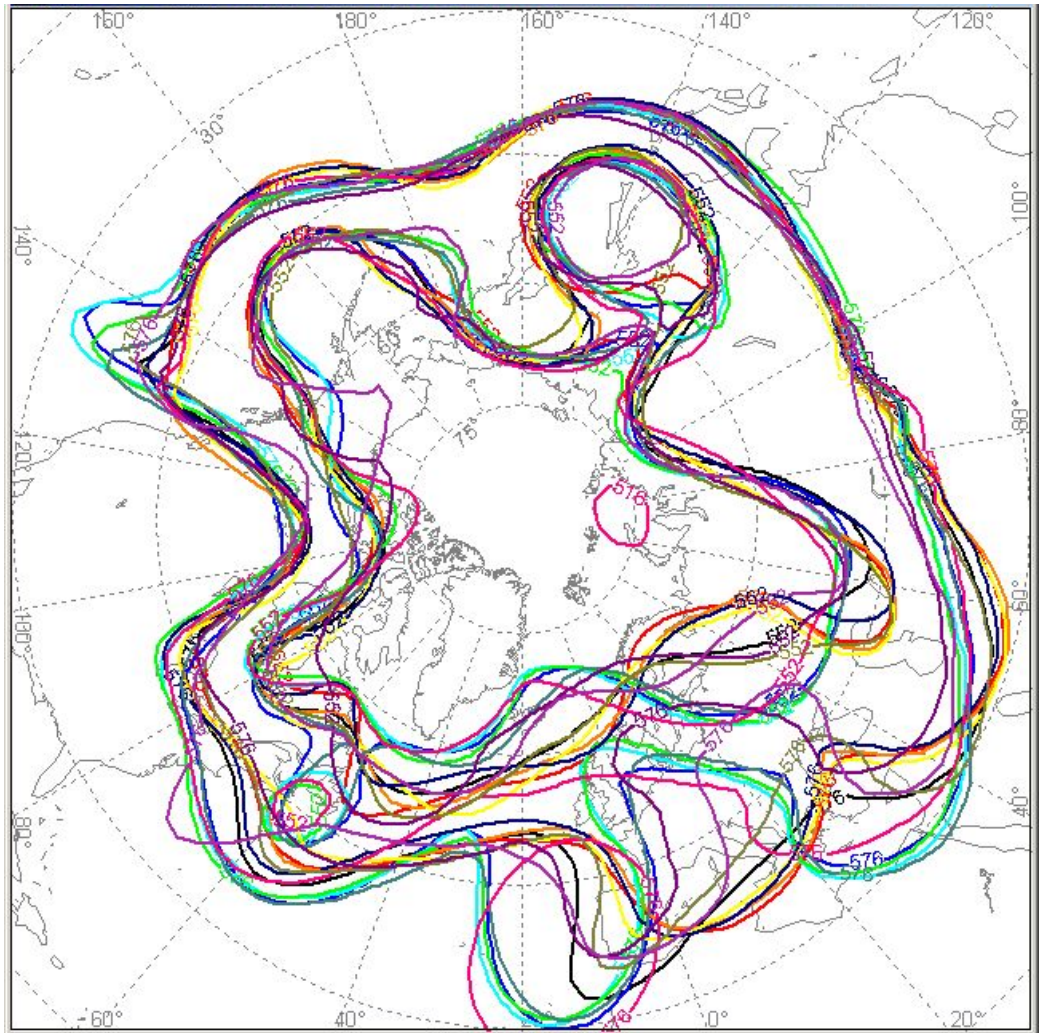



*Прогноз на 5 дней вперед*

*от 11 сентября 2009 12 ВСВ*
*на 16 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# «Спагетти»
# H500 (516, 552, 576 гпм)

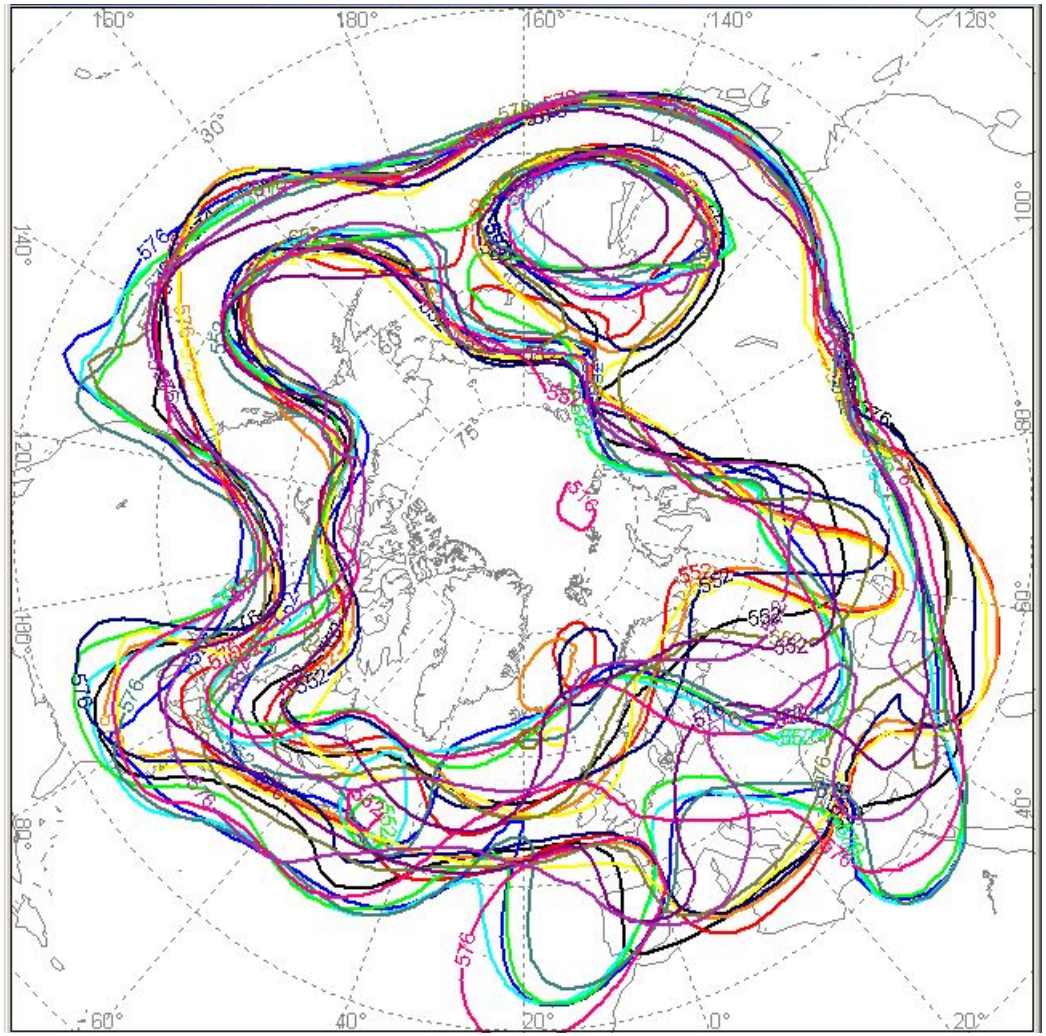



*Прогноз на 6 дней вперед*

*от 11 сентября 2009 12 ВСВ*
*на 17 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# «Спагетти»
# H500 (516, 552, 576 гпм)

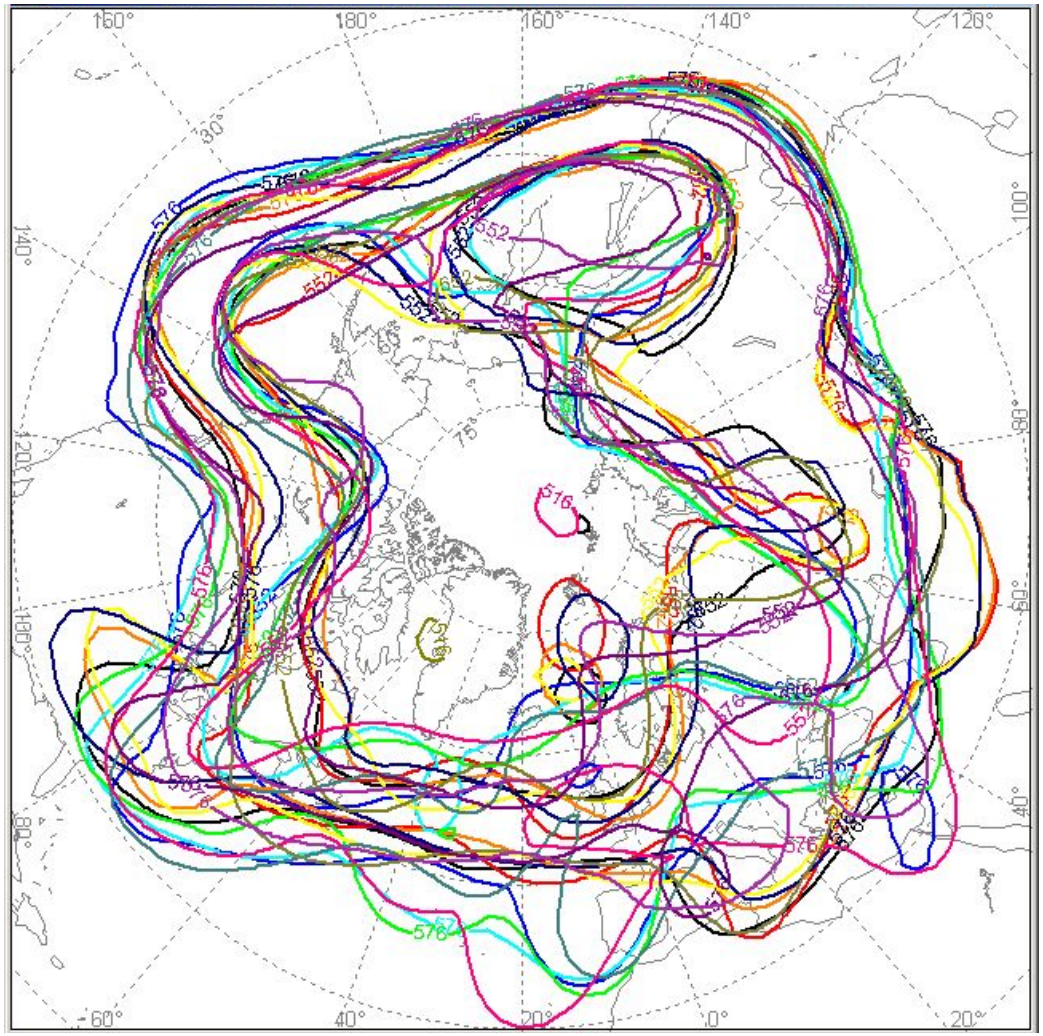



*Прогноз на 7 дней вперед*

*от 11 сентября 2009 12 ВСВ*
*на 18 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# «Спагетти»
# H500 (516, 552, 576 гпм)

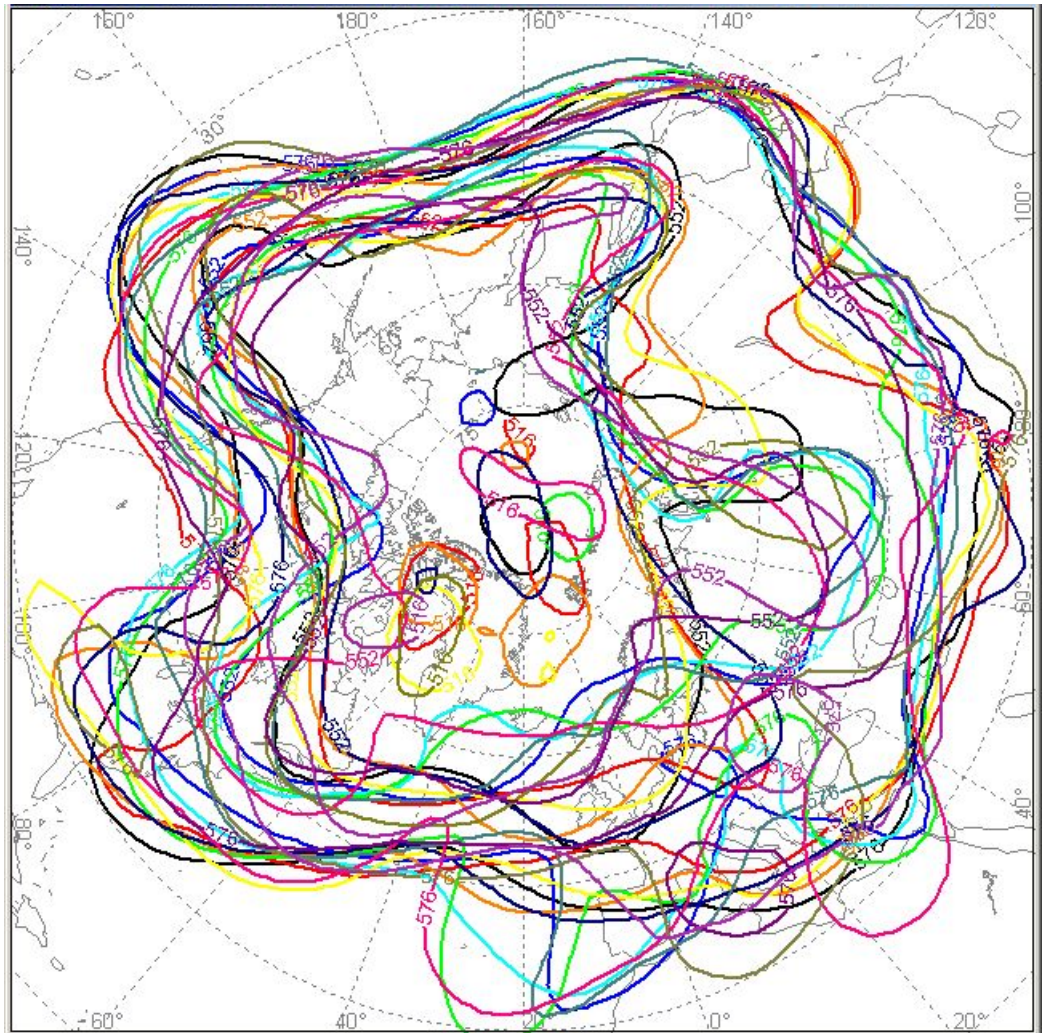



*Прогноз на 8 дней вперед*

*от 11 сентября 2009 12 ВСВ*
*на 19 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# «Спагетти»
# H500 (516, 552, 576 гпм)

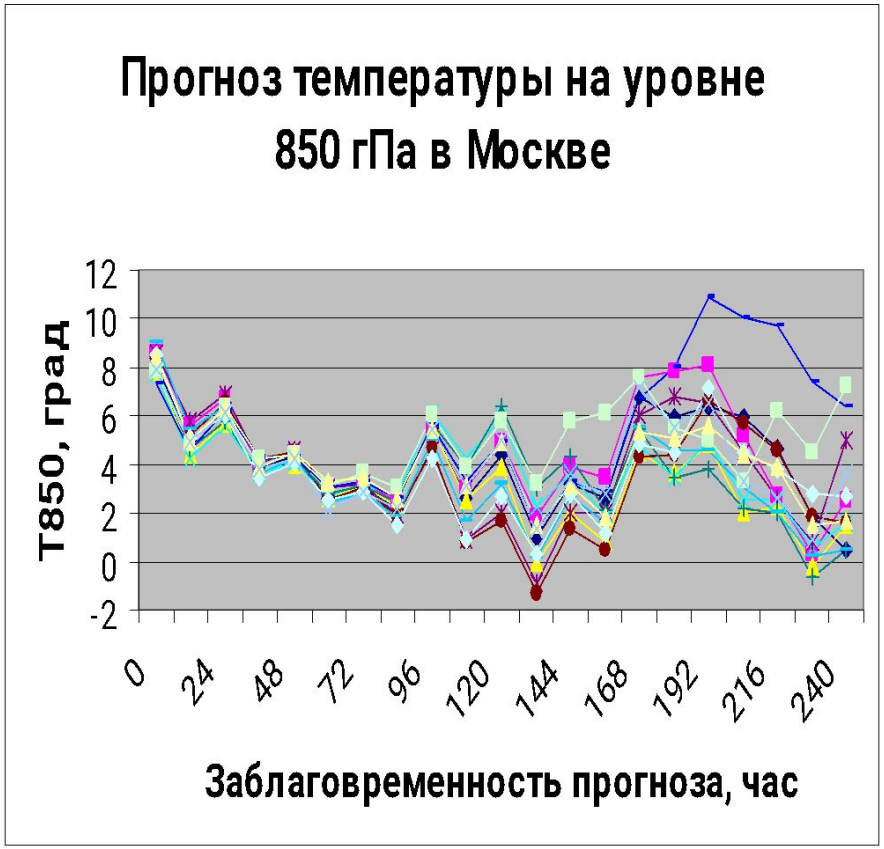


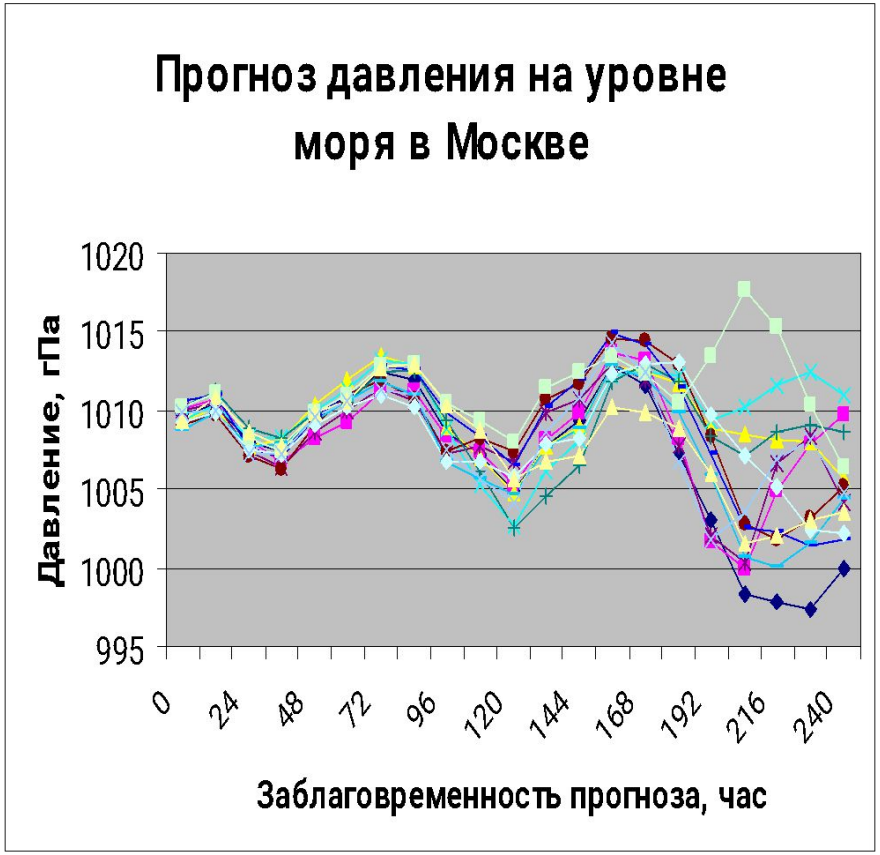

*Прогноз на 10 дней вперед*

*от 11 сентября 2009 12 ВСВ*
*на 21 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# Прогноз эволюции метеорологической переменной в пункте

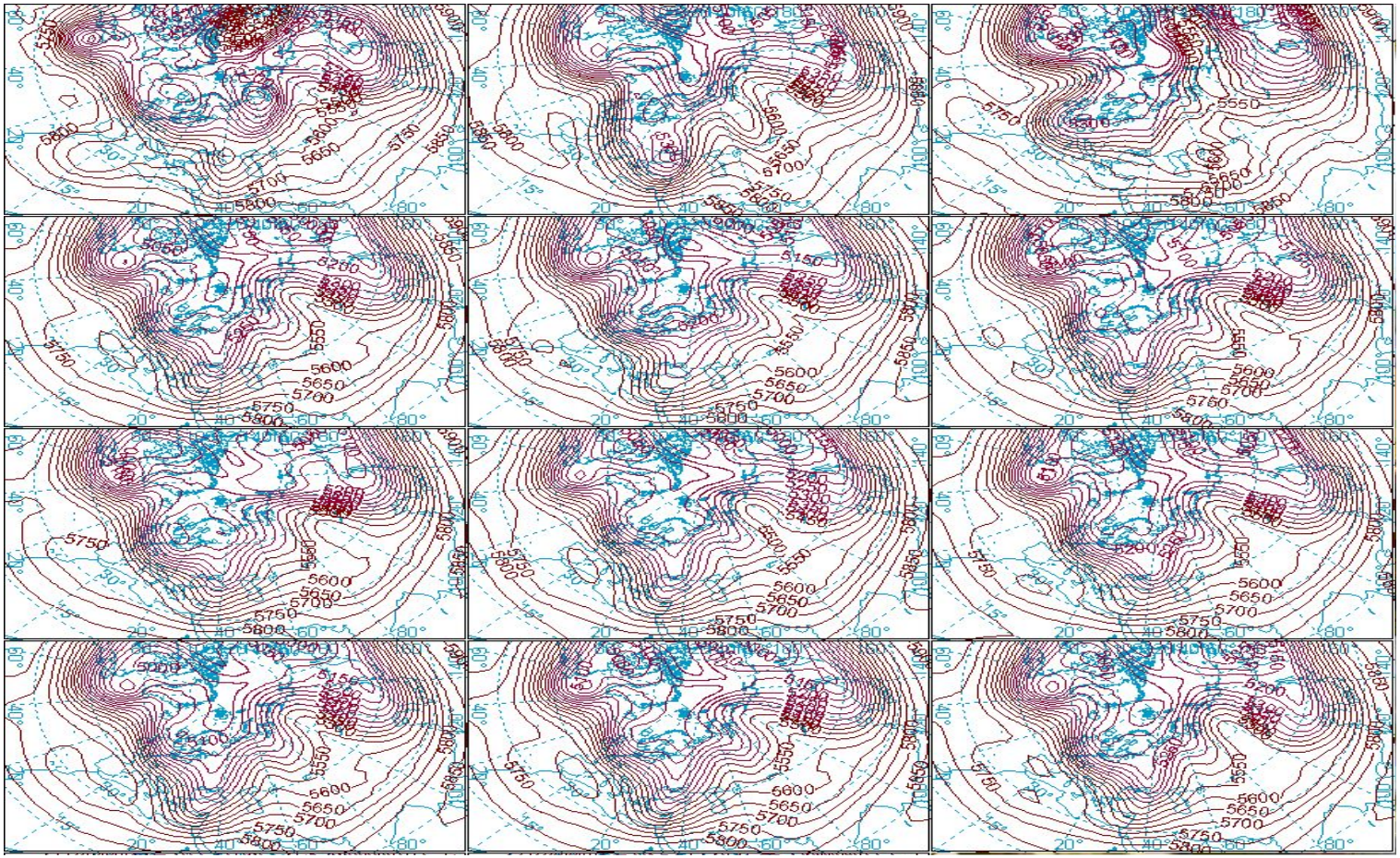



*Прогноз от 15 мая 2009*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# «Почтовые марки».

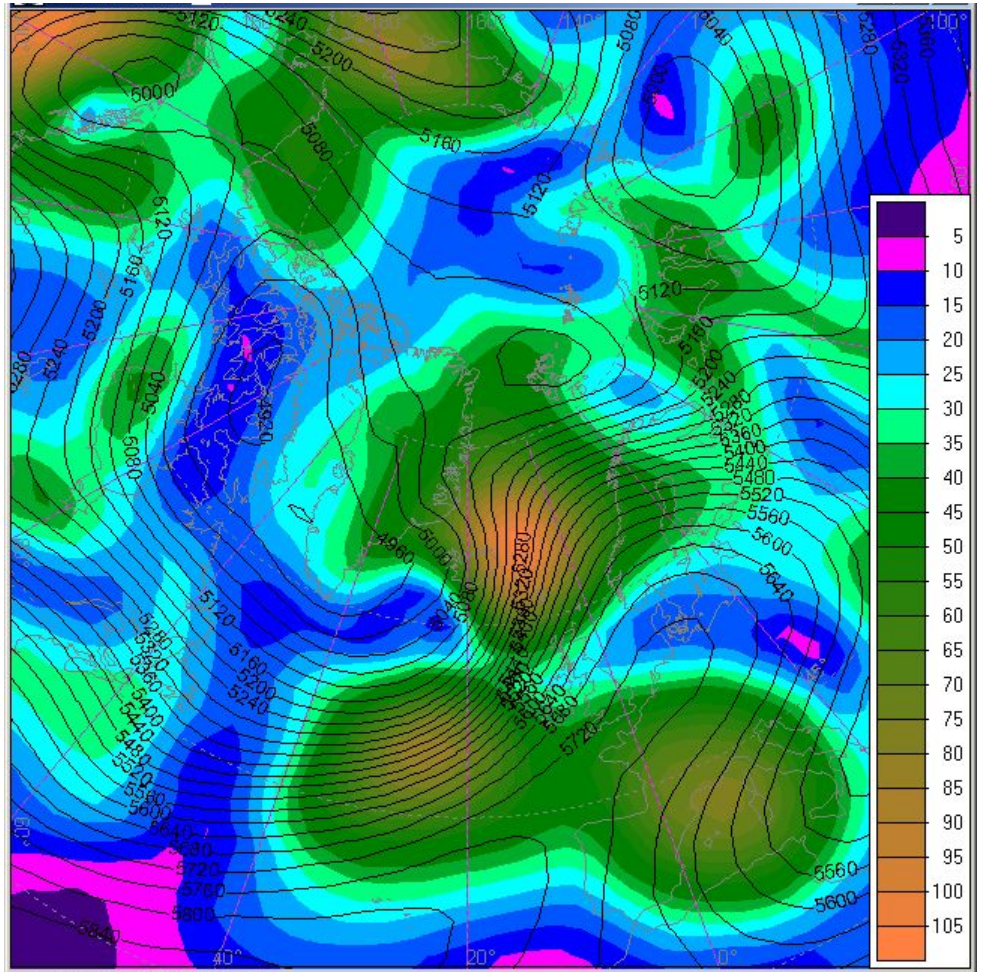


H500

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# Среднее по ансамблю (изолинии) и разброс ансамбля (цвет). Высота геопотенциальной поверхность 500 гПа.

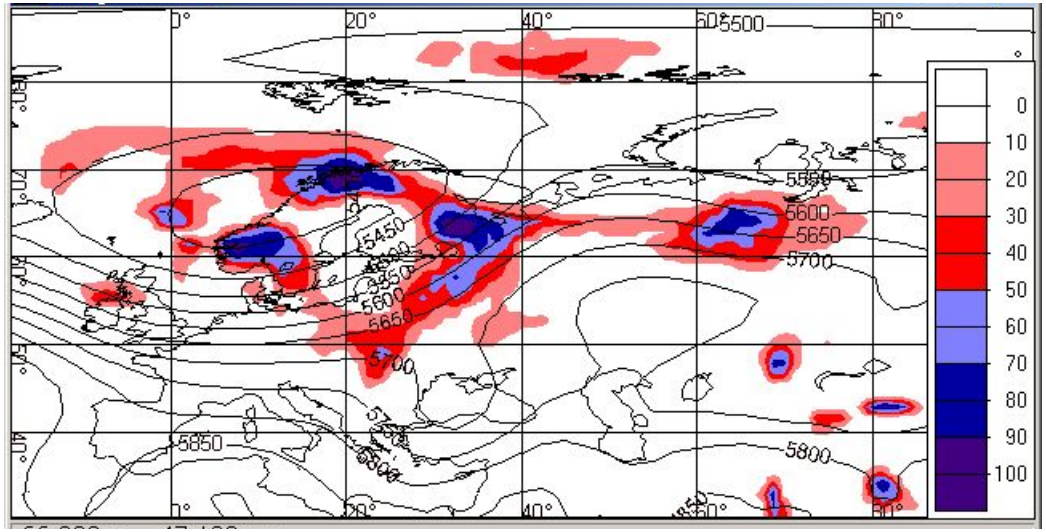
*5-сут прогноз на 17/12/2007 12 ВСВ*



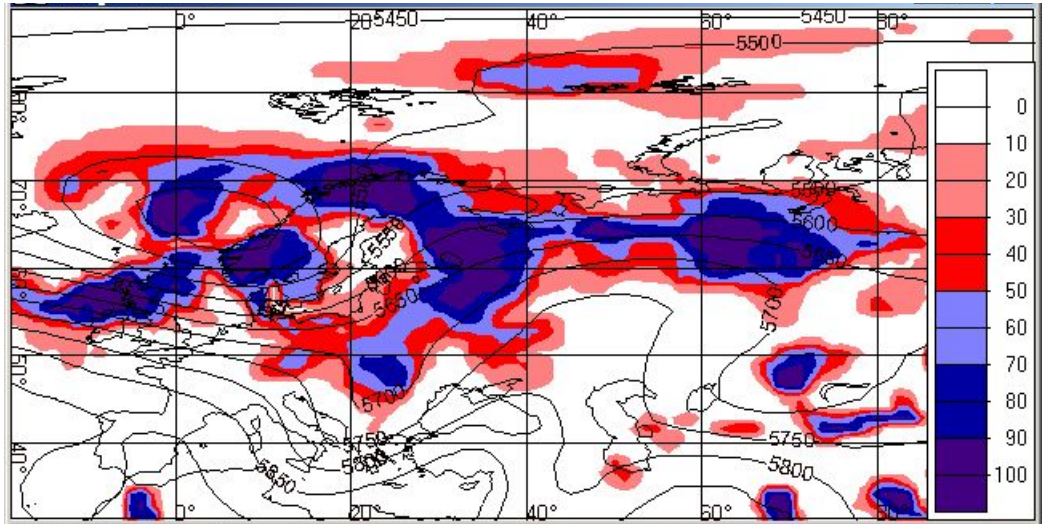

Пример продукции ансамблевой системы

*Прогноз наименее достоверен в областях с максимальным разбросом*

# Вероятности выпадения количества осадков, превышающего заданное пороговое значение




Valid: 17Jul2008/12
Prec > 2 mm/6h




Valid: 16Jul2008/12
Prec > 0.1 mm/6h

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

# Полулагранжева модель прогноза погоды

Вертикальное разрешение – 28 уровней

Постоянное разрешение 0,9° по долготе, 0,72° по широте

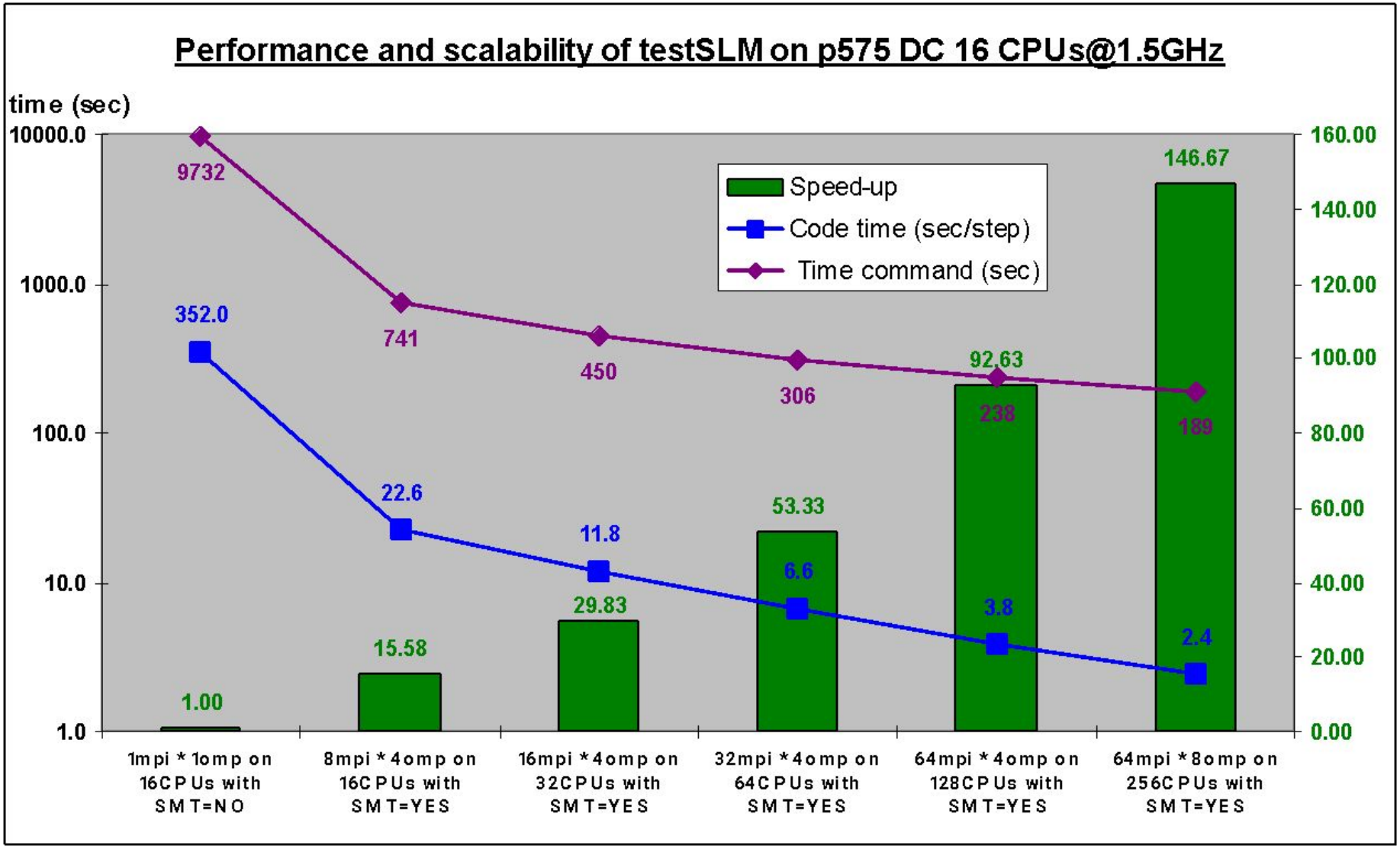
(размерность задачи 400x250x28)

Одномерная декомпозиция по широте

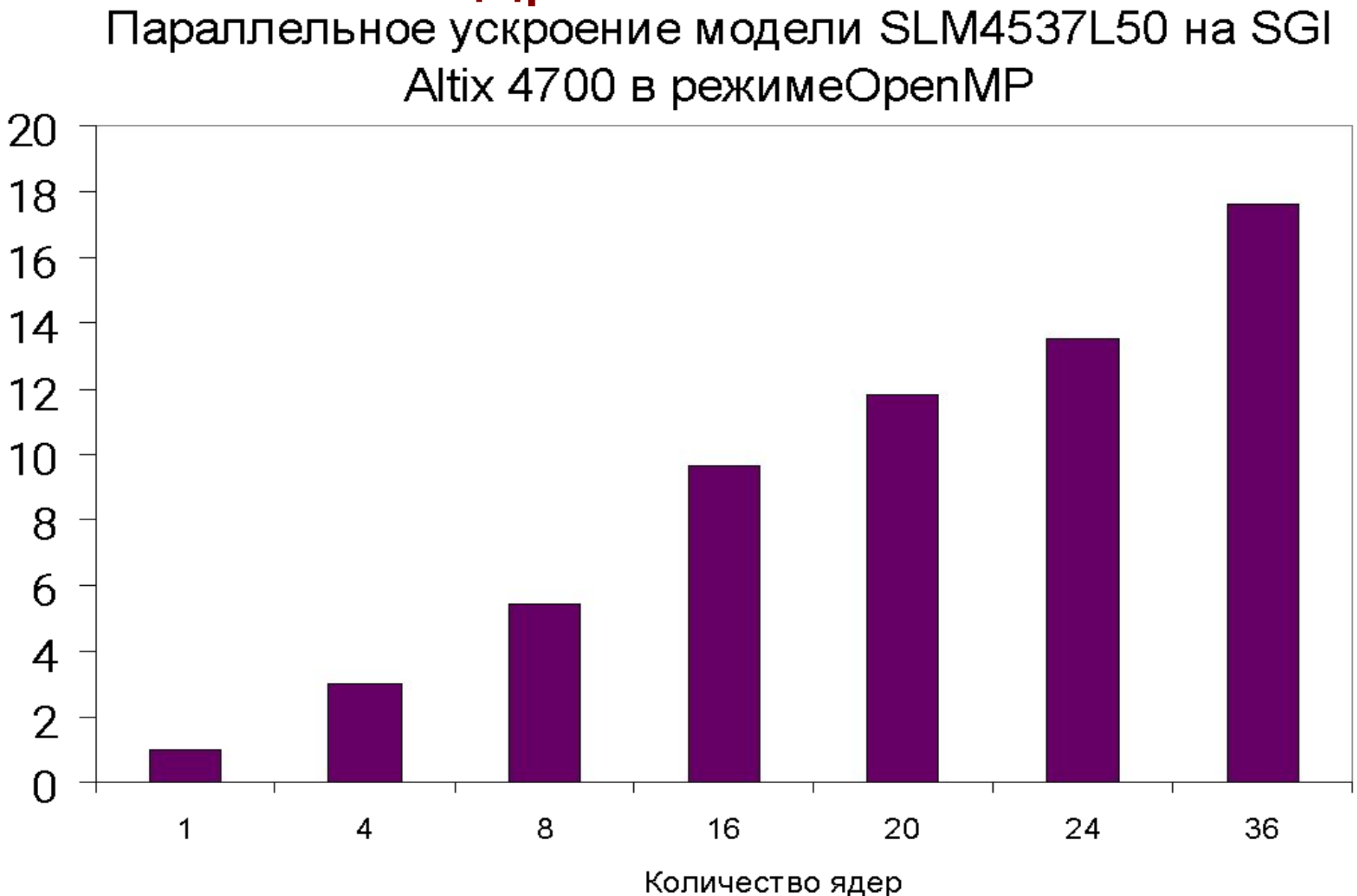
MPI + OpenMP

Теоретическая масштабируемость ограничена $N_{lat}$ ; для будущей версии 0,25°x0,18°x60 это дает 1000 процессоров

# testSLM: Scalability



# Время расчета прогноза на 1 сут. на 36 ядрах = 22 мин.



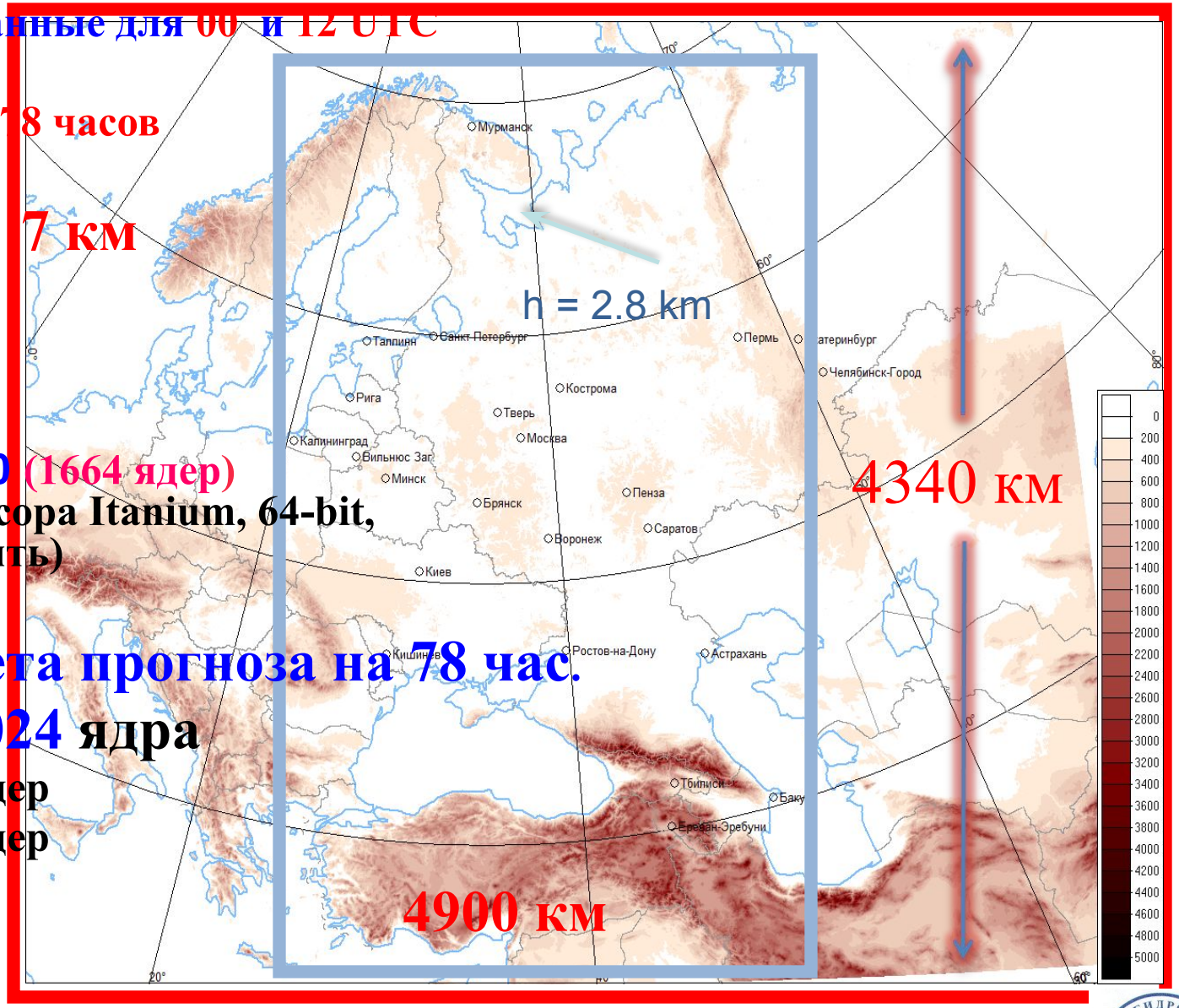
# COSMO-RU07: область интегрирования и характеристики модели

- **Начальные данные для 00 и 12 UTC**
- **Прогноз на 78 часов**
- **Шаг сетки 7 км**
- **Сетка:**
  **700 * 620 * 40**
- **SGI Altix 4700 (1664 ядер)**
  **(832 процессора Itanium, 64-bit, 3,3 Tb память)**
- **Время счета прогноза на 78 час.**

**19 мин.: 1024 ядра**

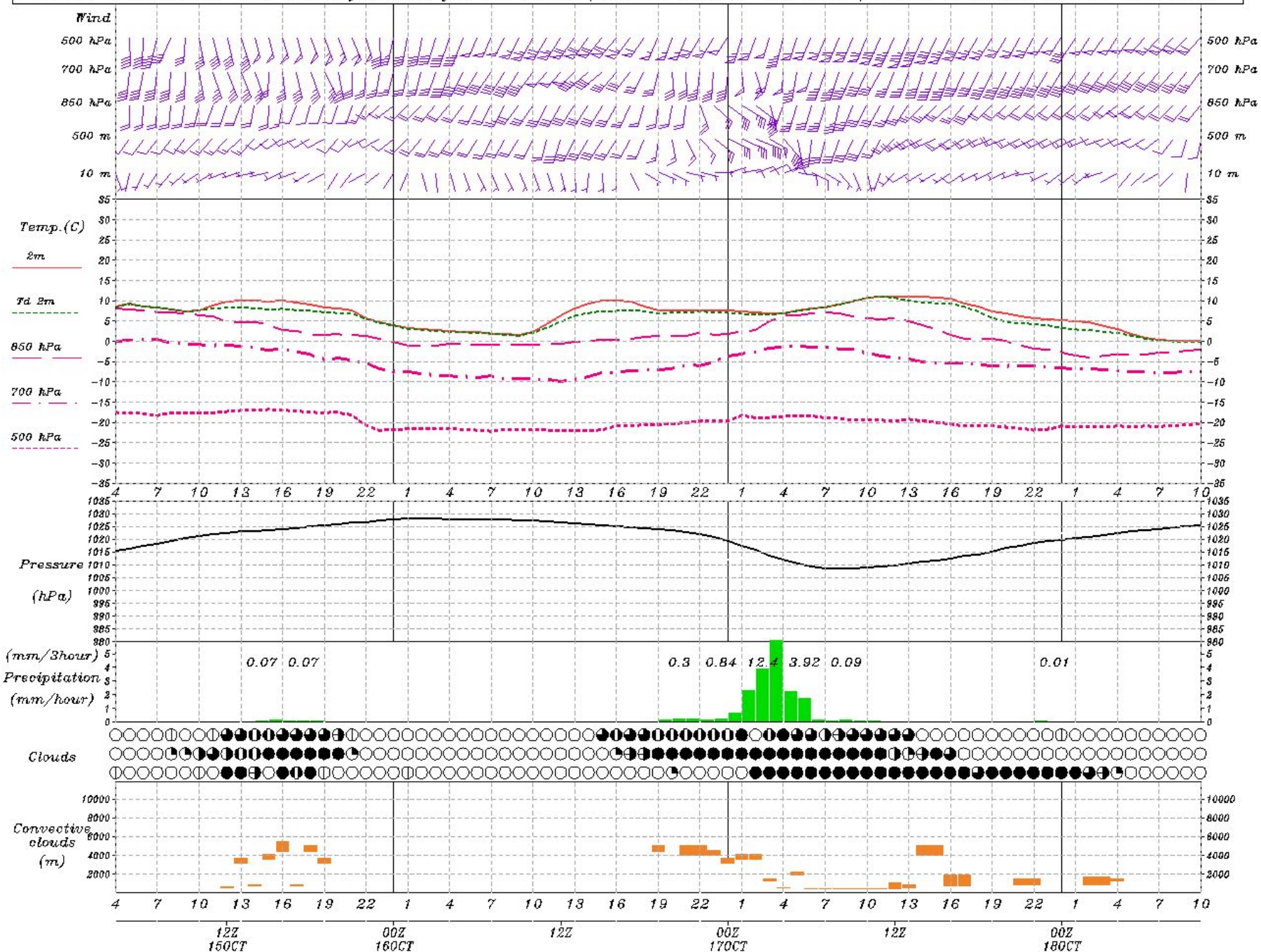
**33 мин.: 512 ядер**

**59 мин.: 256 ядер**

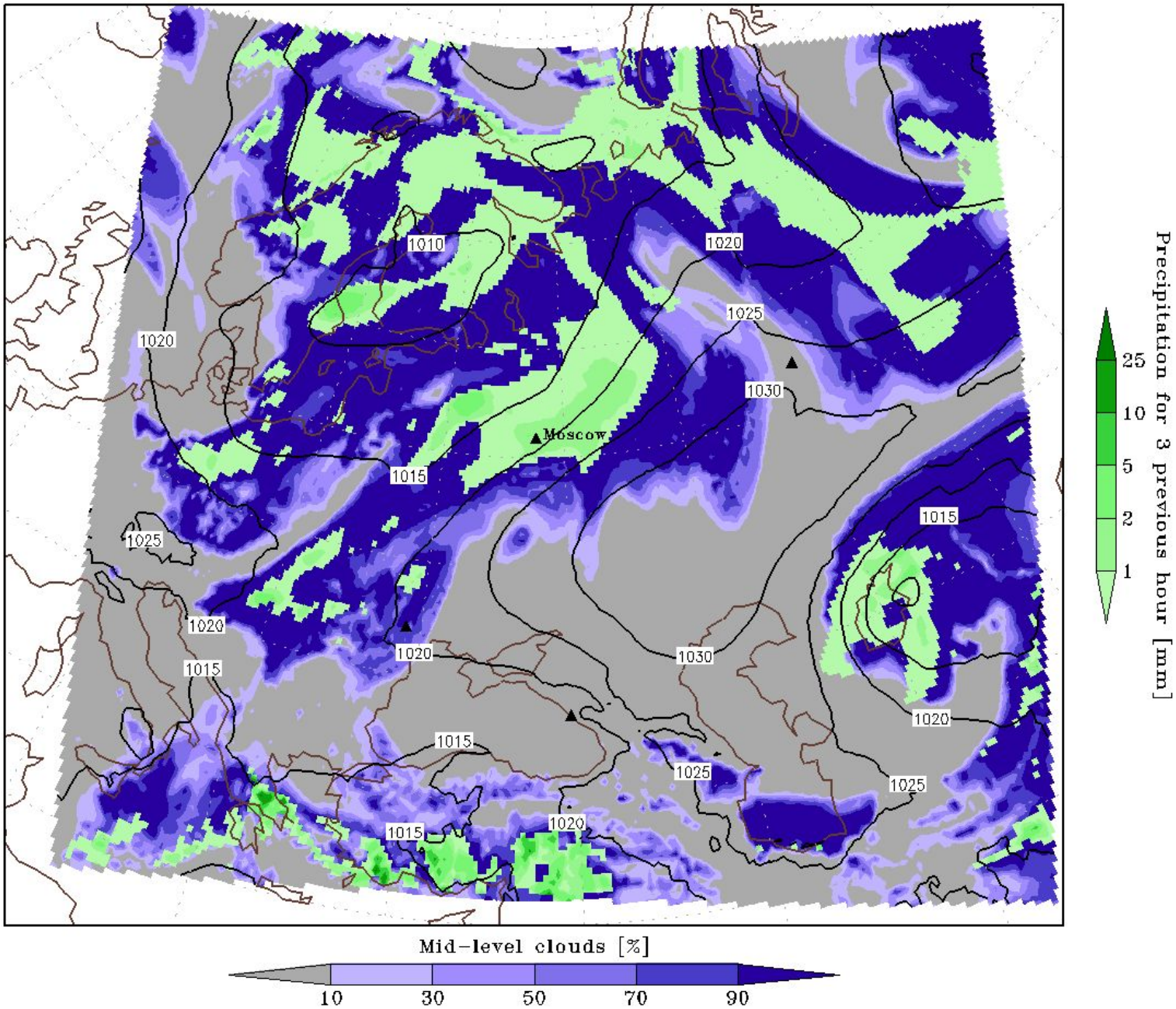


Moscow — Meteogramma from Russian HMC | LON: 37.672 | LAT: 55.846 | Height: 154.198m

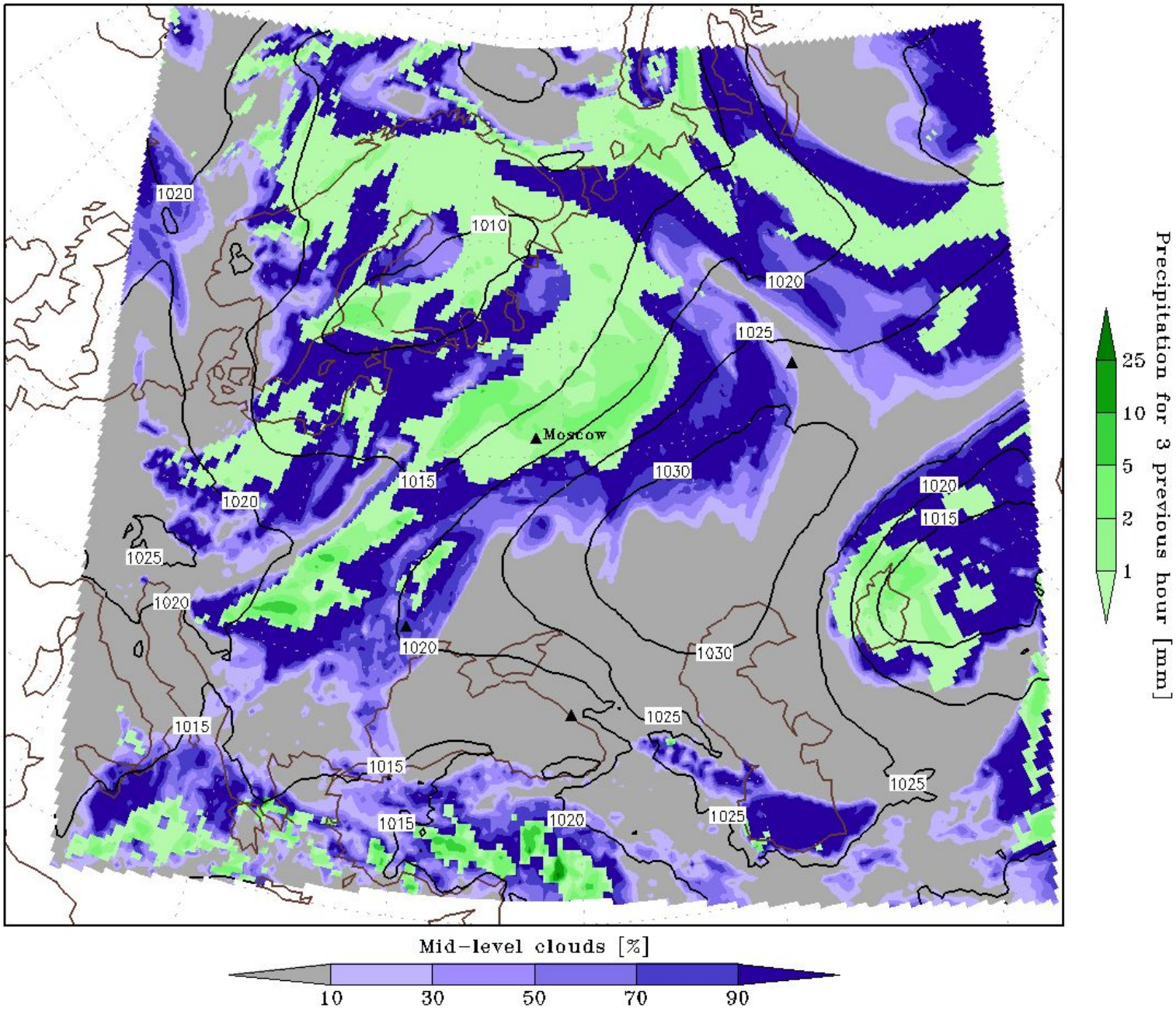
Start: 15.10.2009 4:00 MSK, forecast for 78 hours | Model: COSMO-RU 7km | Model run: 15.10.2009 7:55 MSK



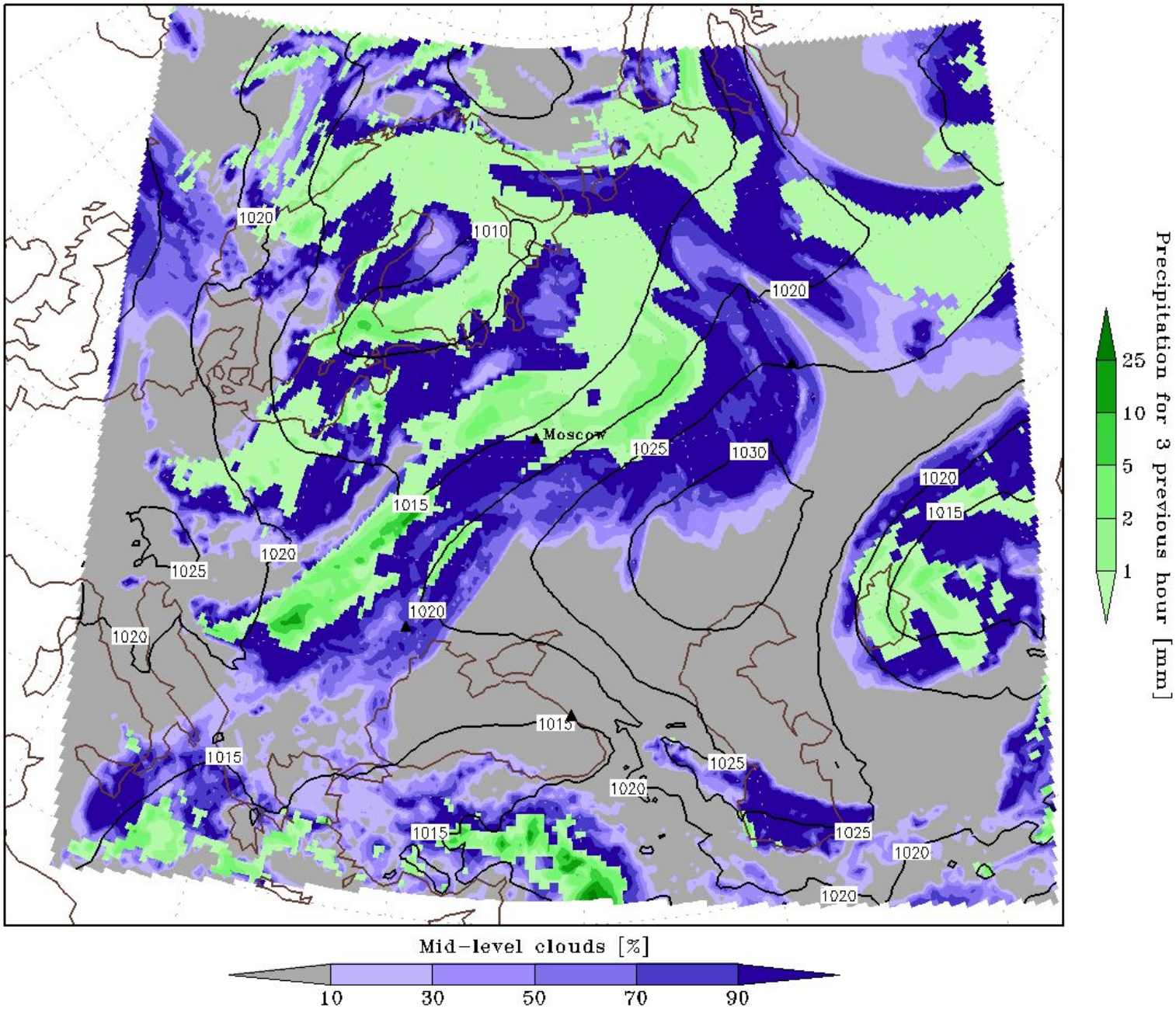
# Forecast on 03 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



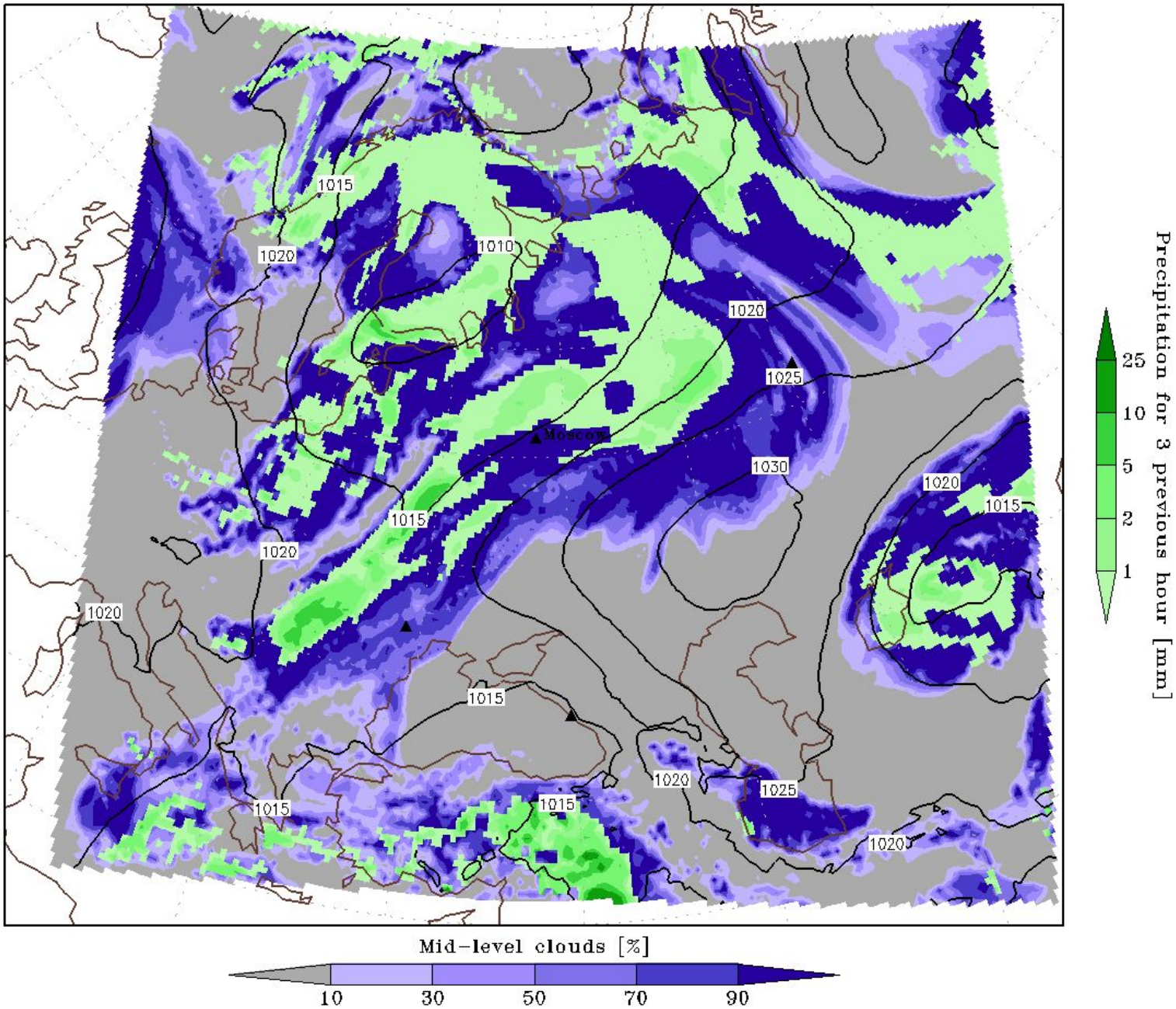
# Forecast on 06 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



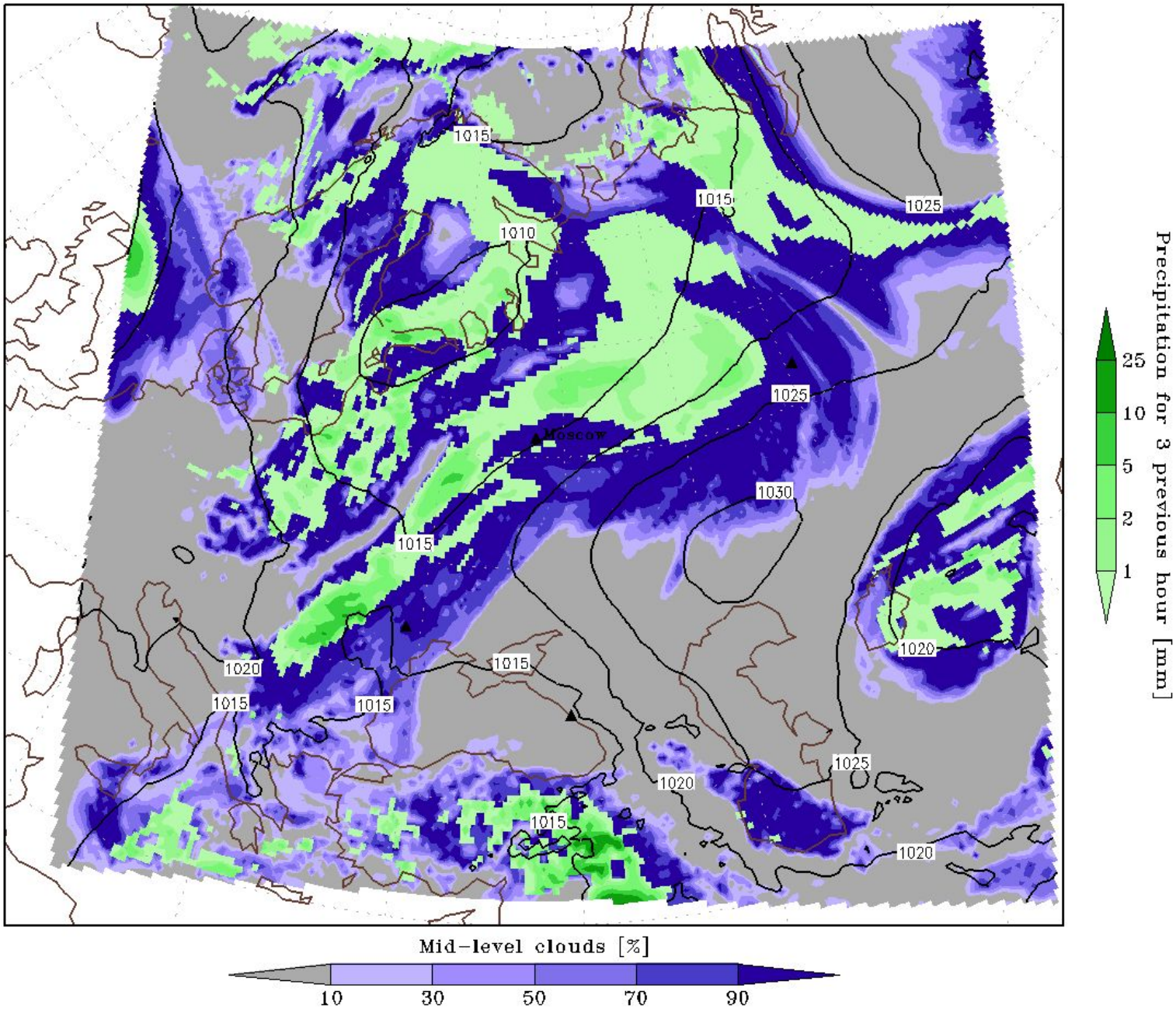
# Forecast on 09 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



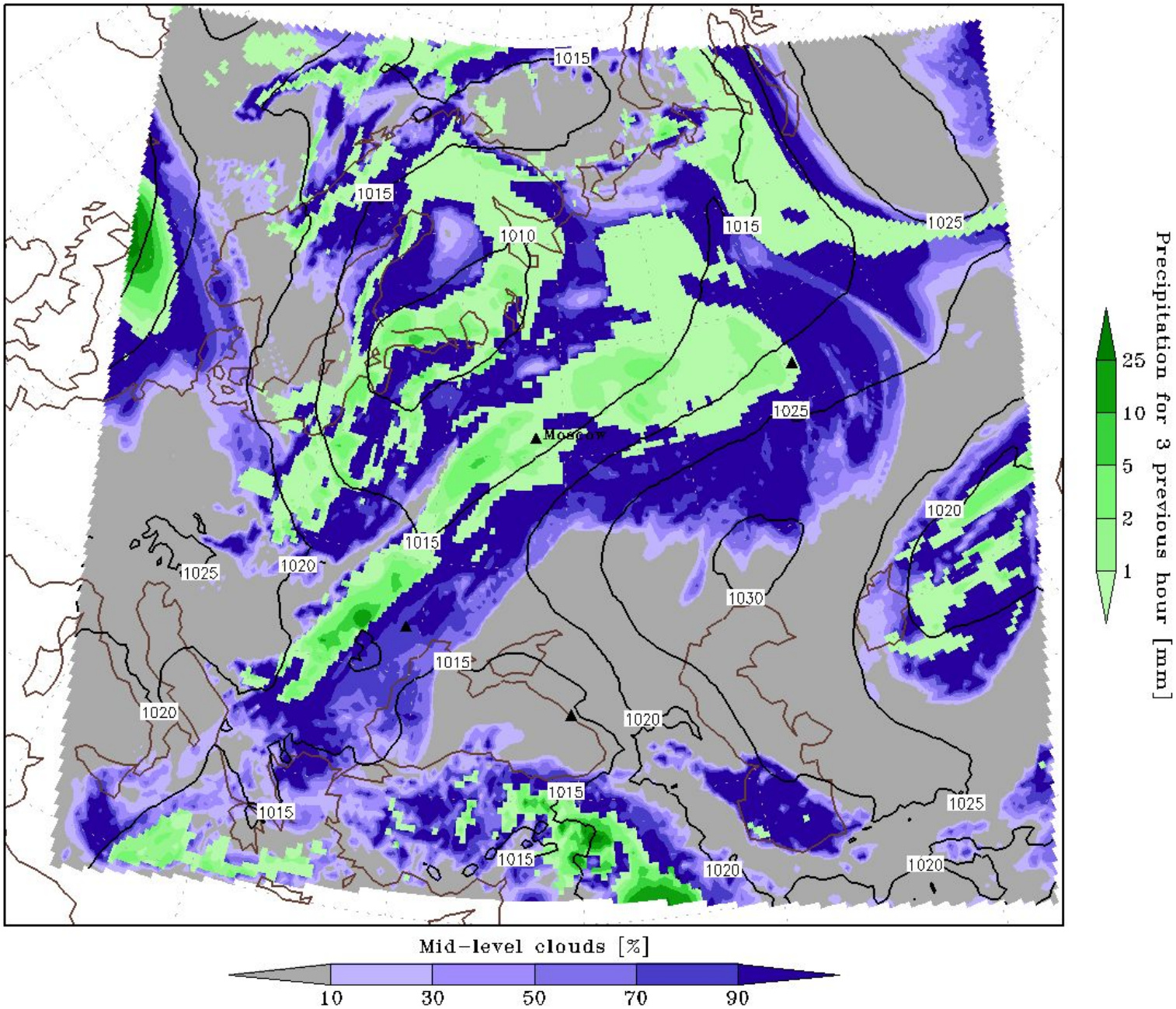
# Forecast on 12 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



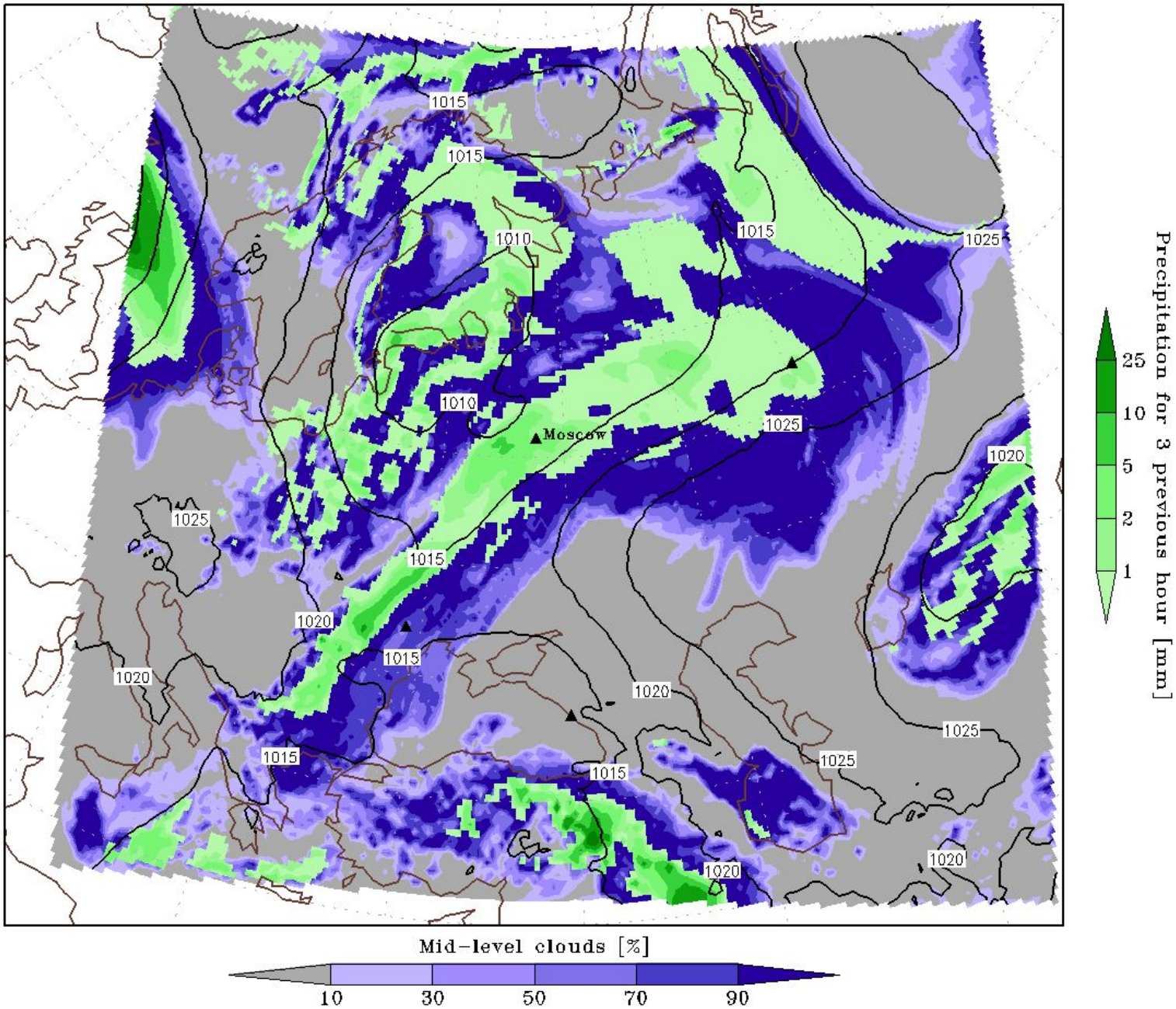
# Forecast on 15 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



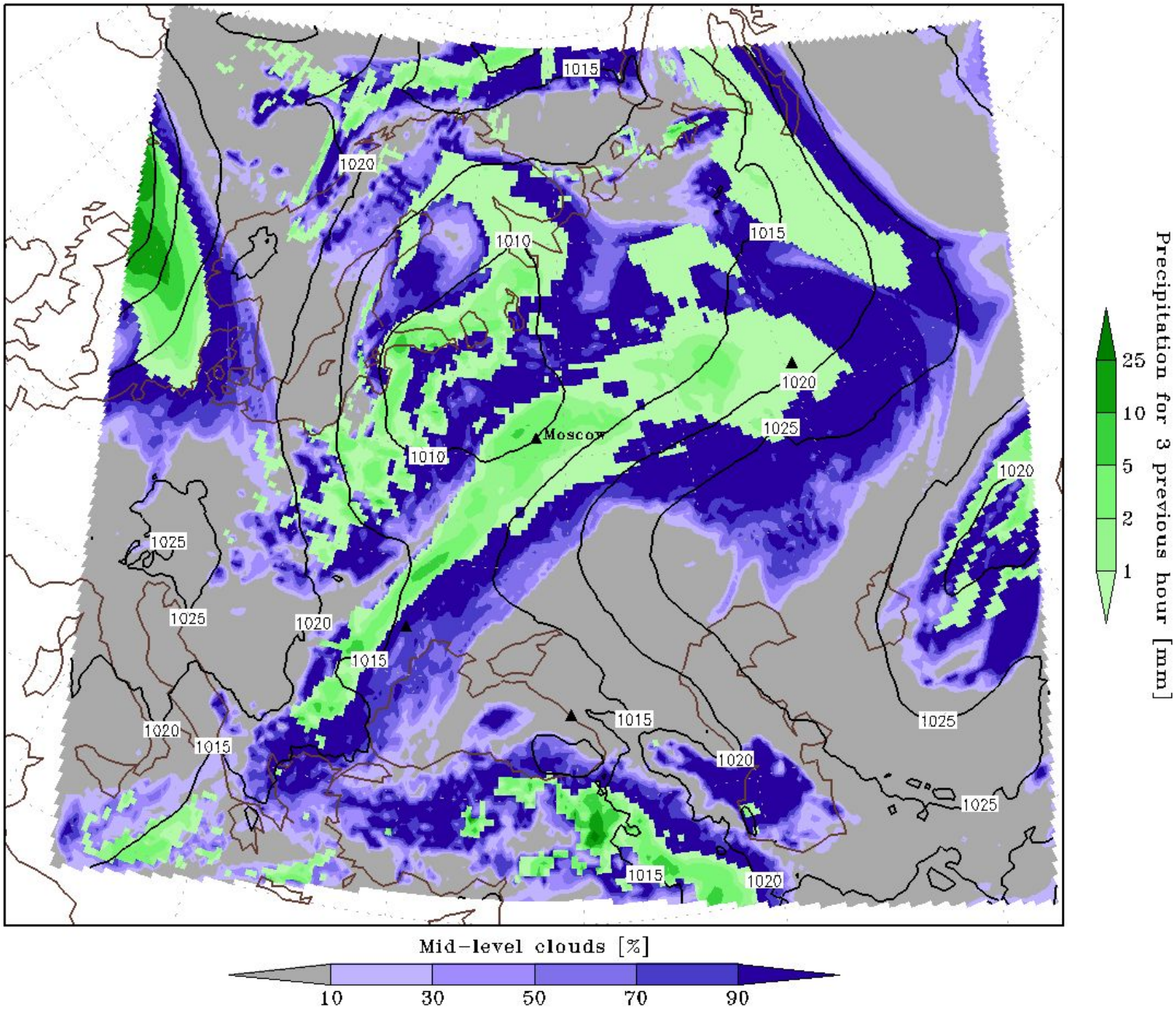
# Forecast on 18 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



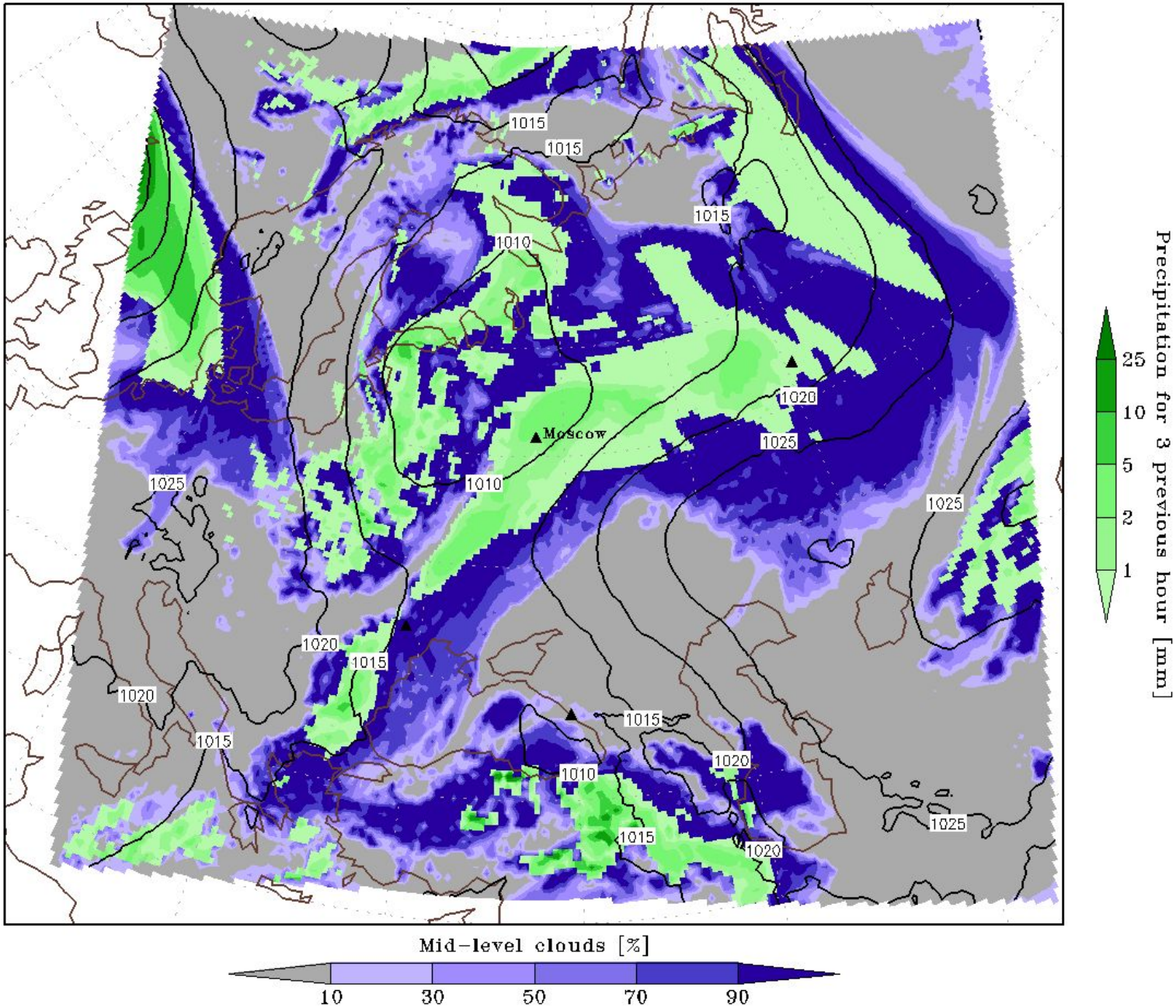
# Forecast on 21 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



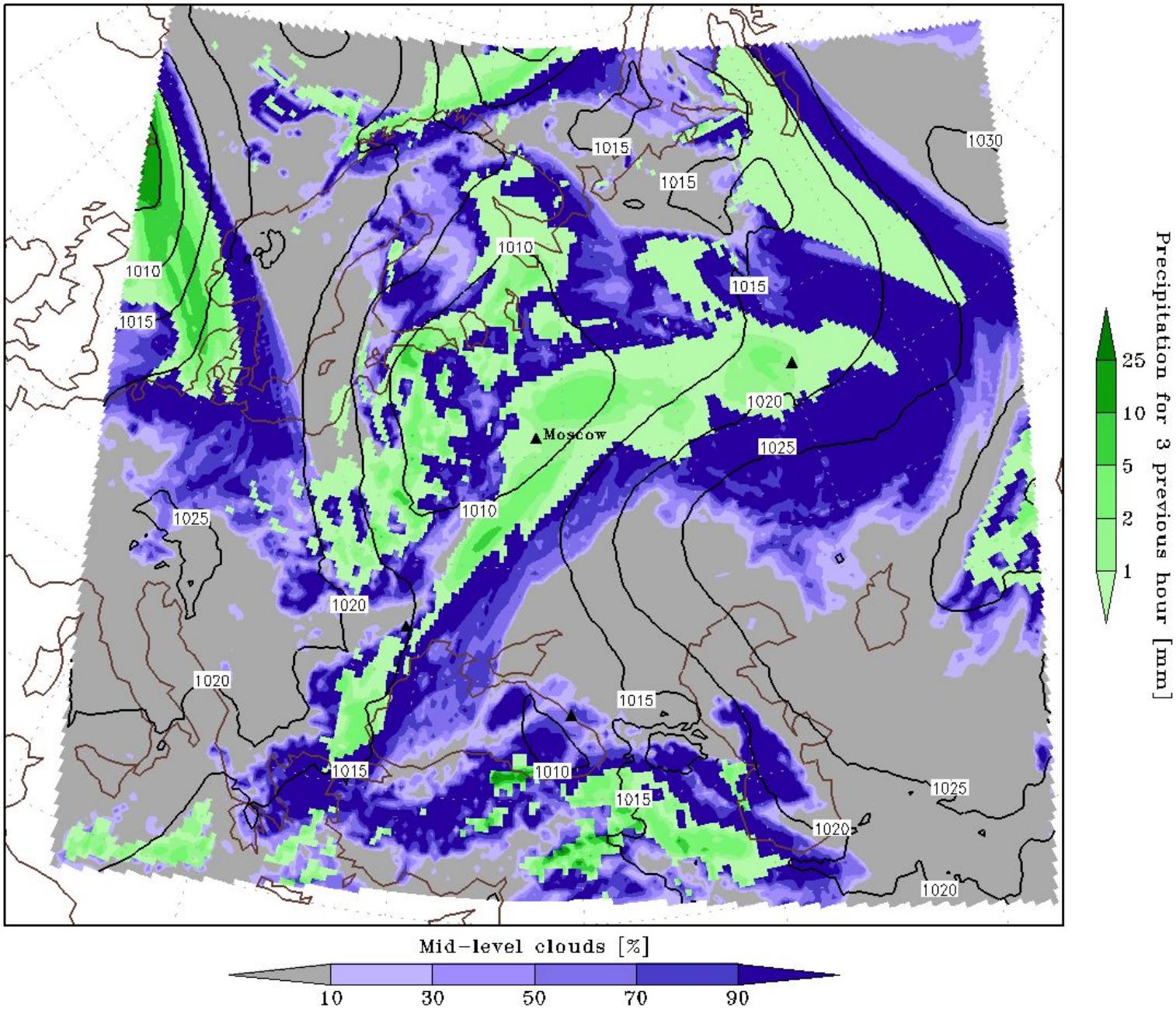
# Forecast on 24 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



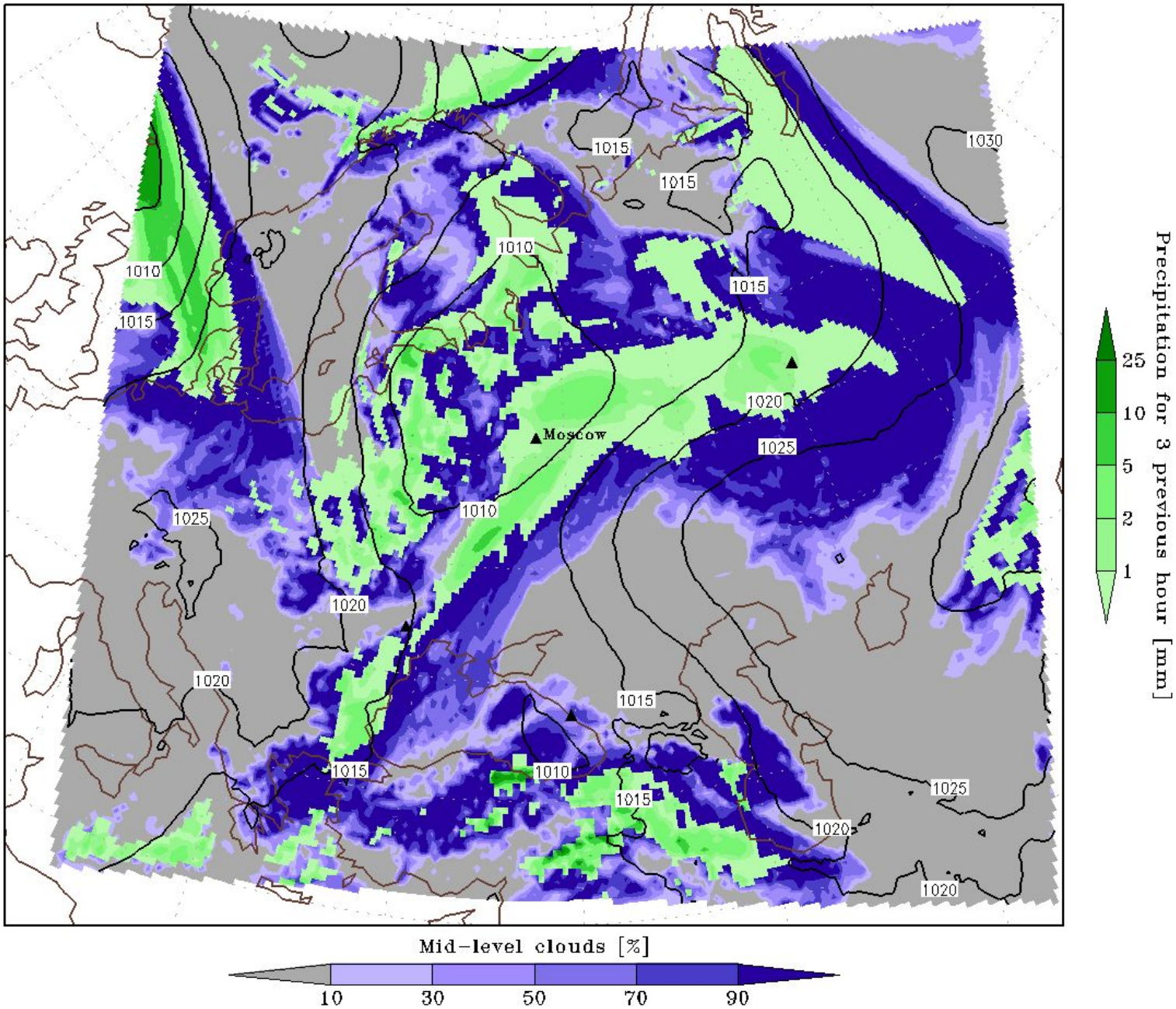
# Forecast on 27 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



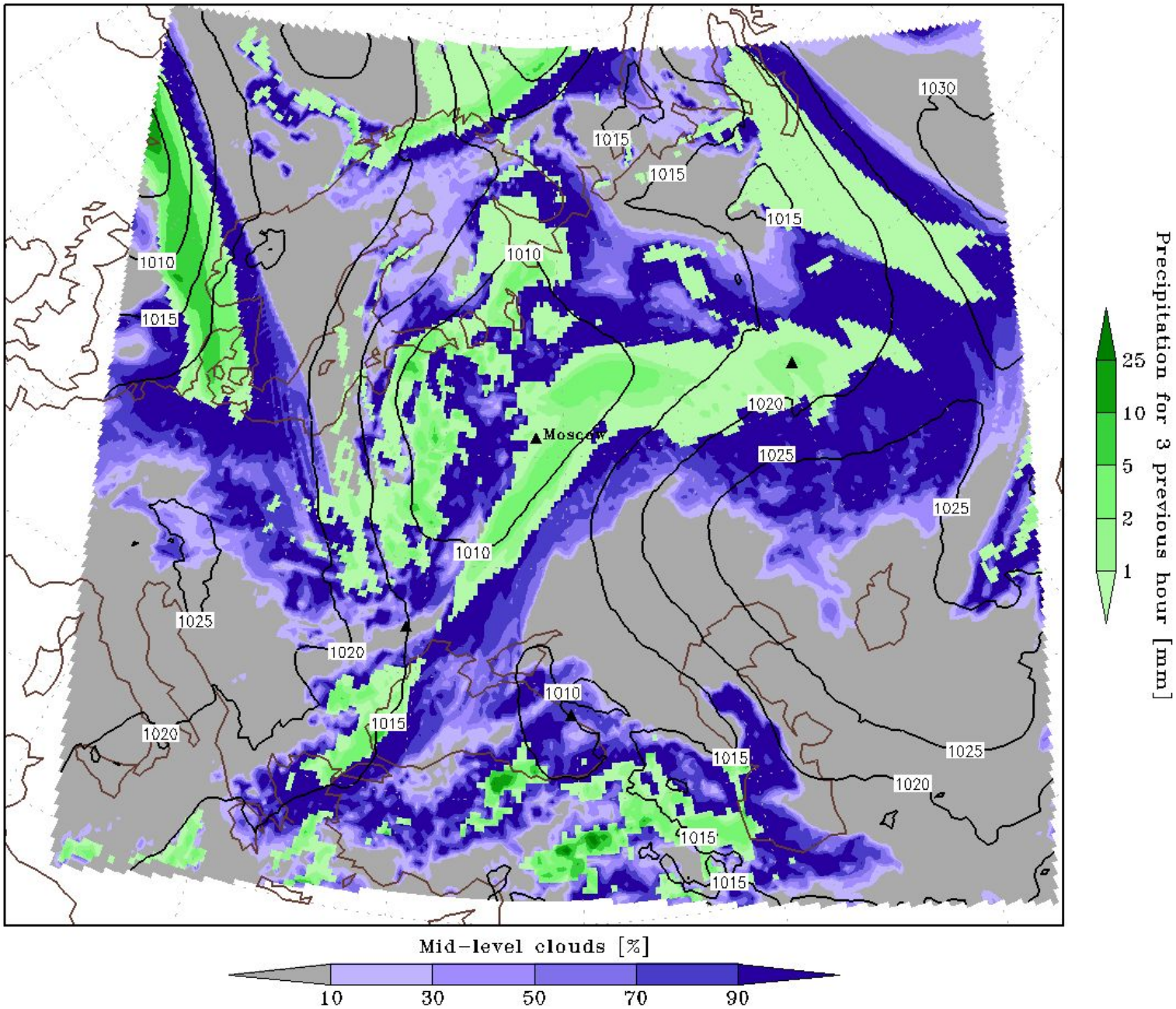
# Forecast on 30 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



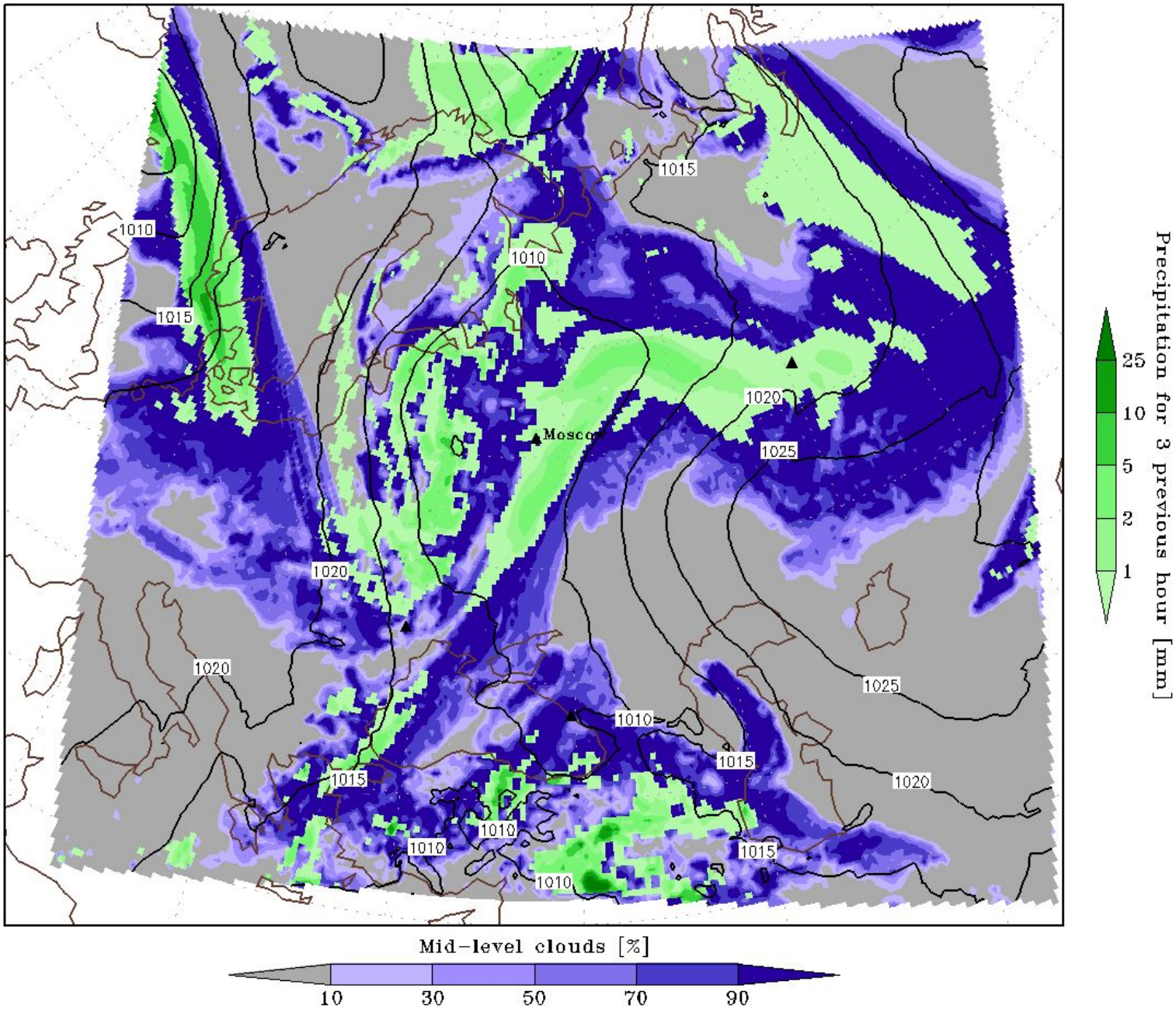
# Forecast on 30 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



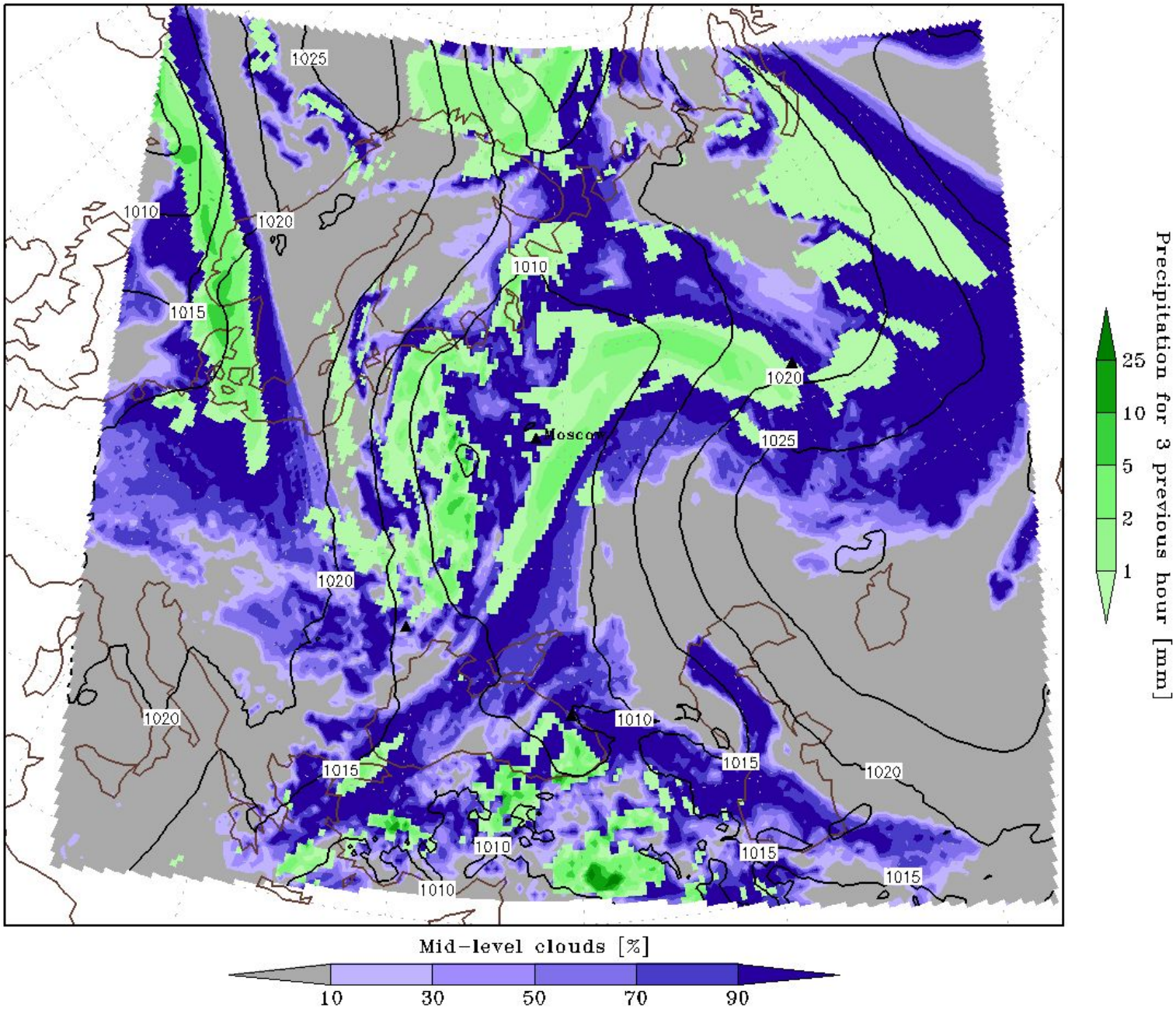
# Forecast on 33 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



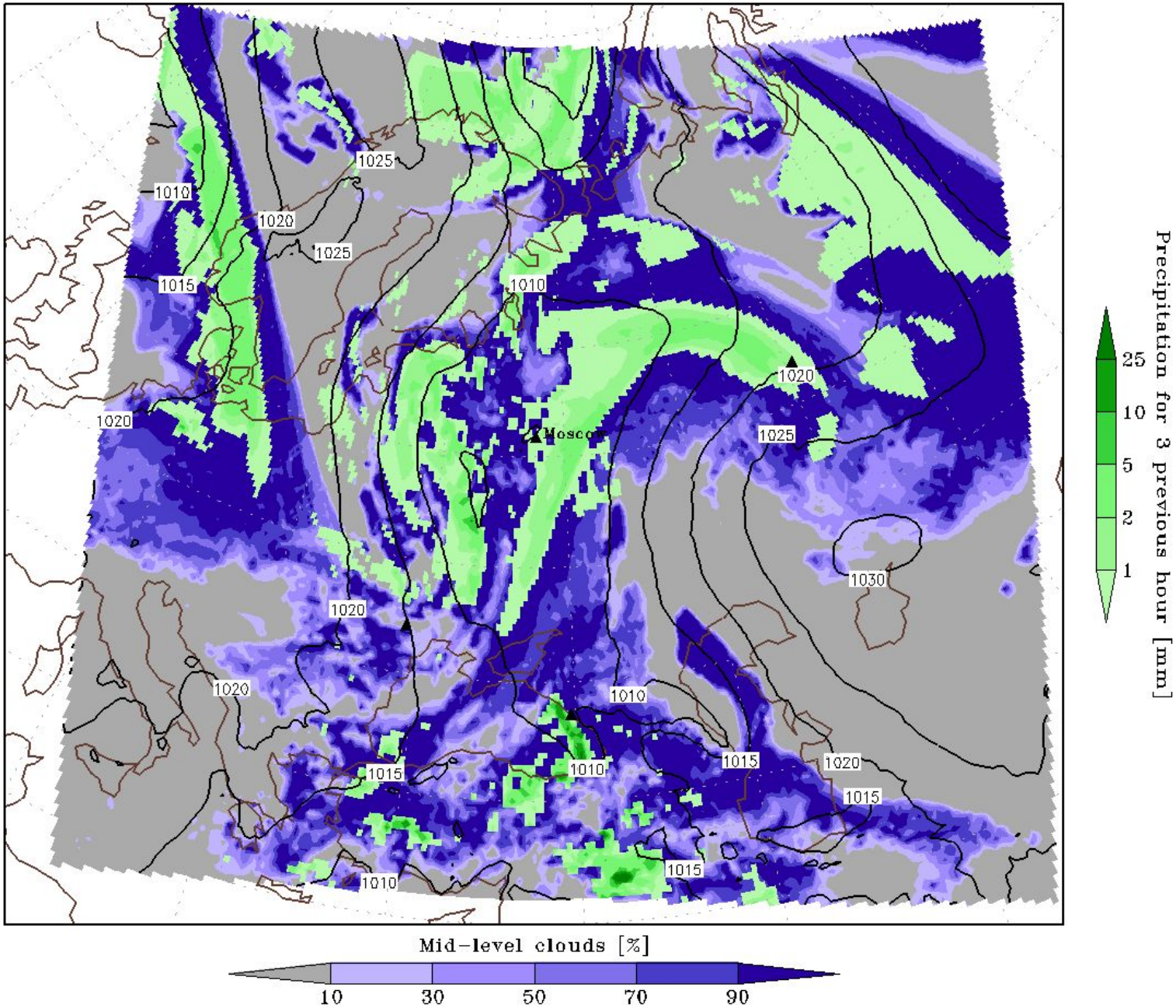
# Forecast on 36 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



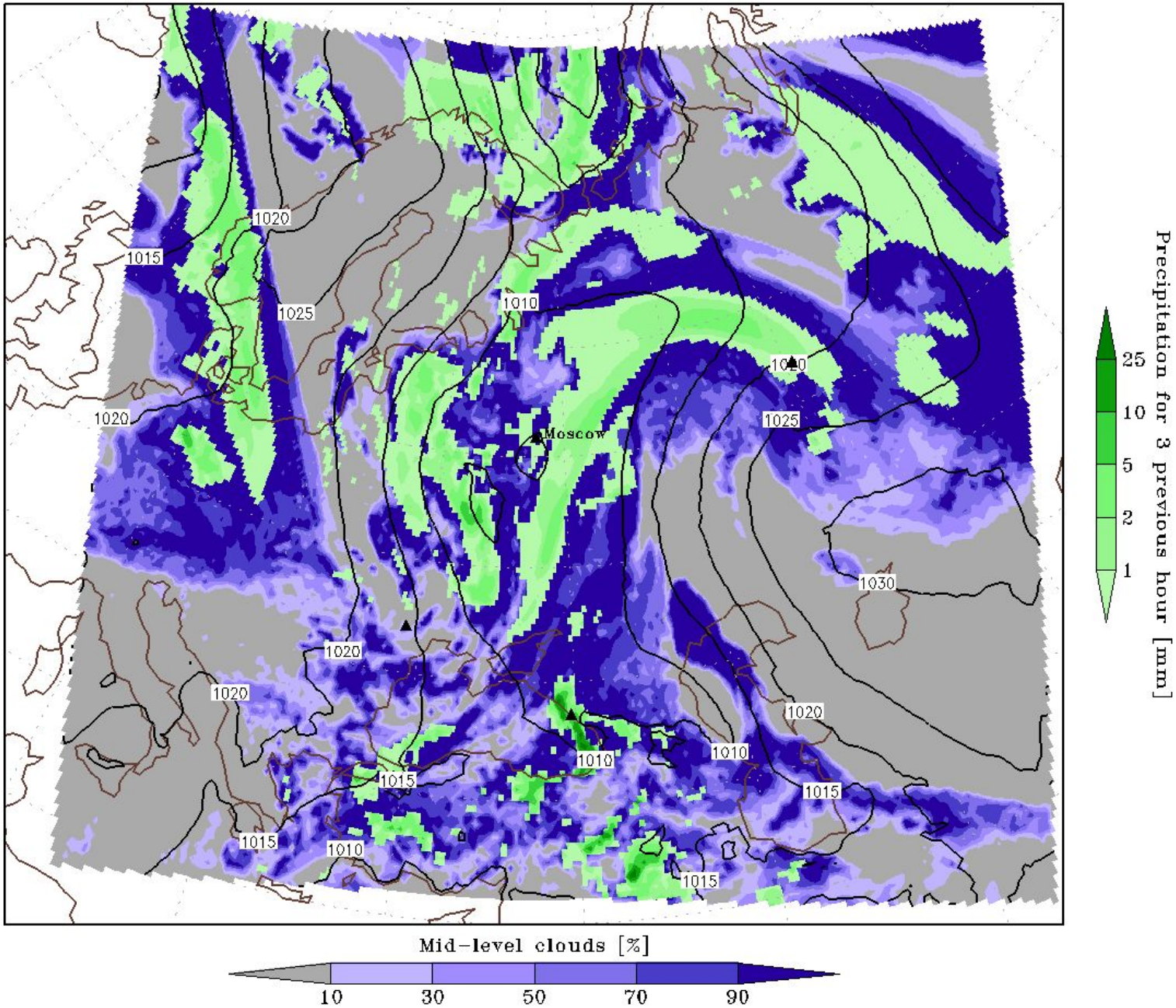
# Forecast on 39 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



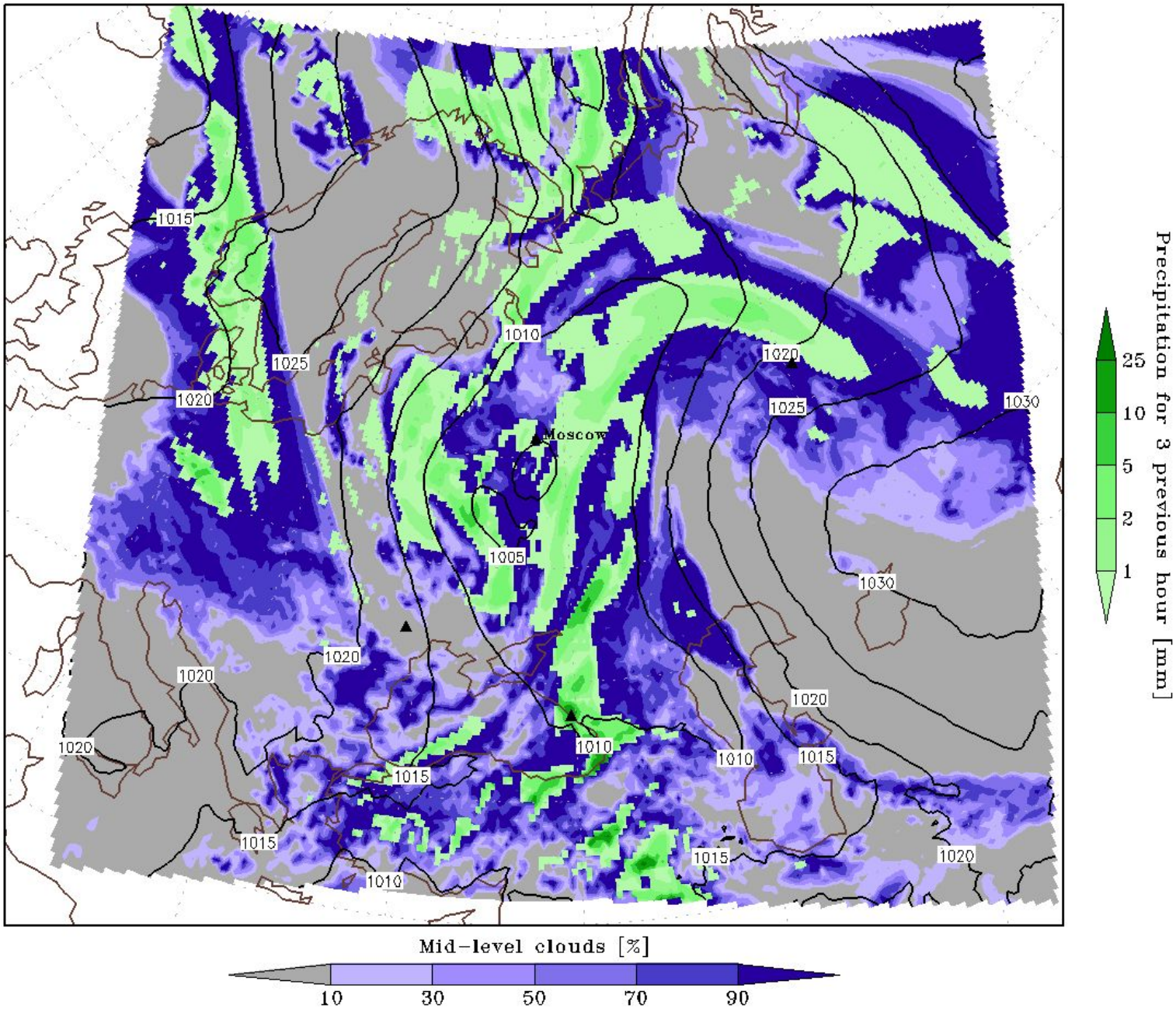
# Forecast on 42 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



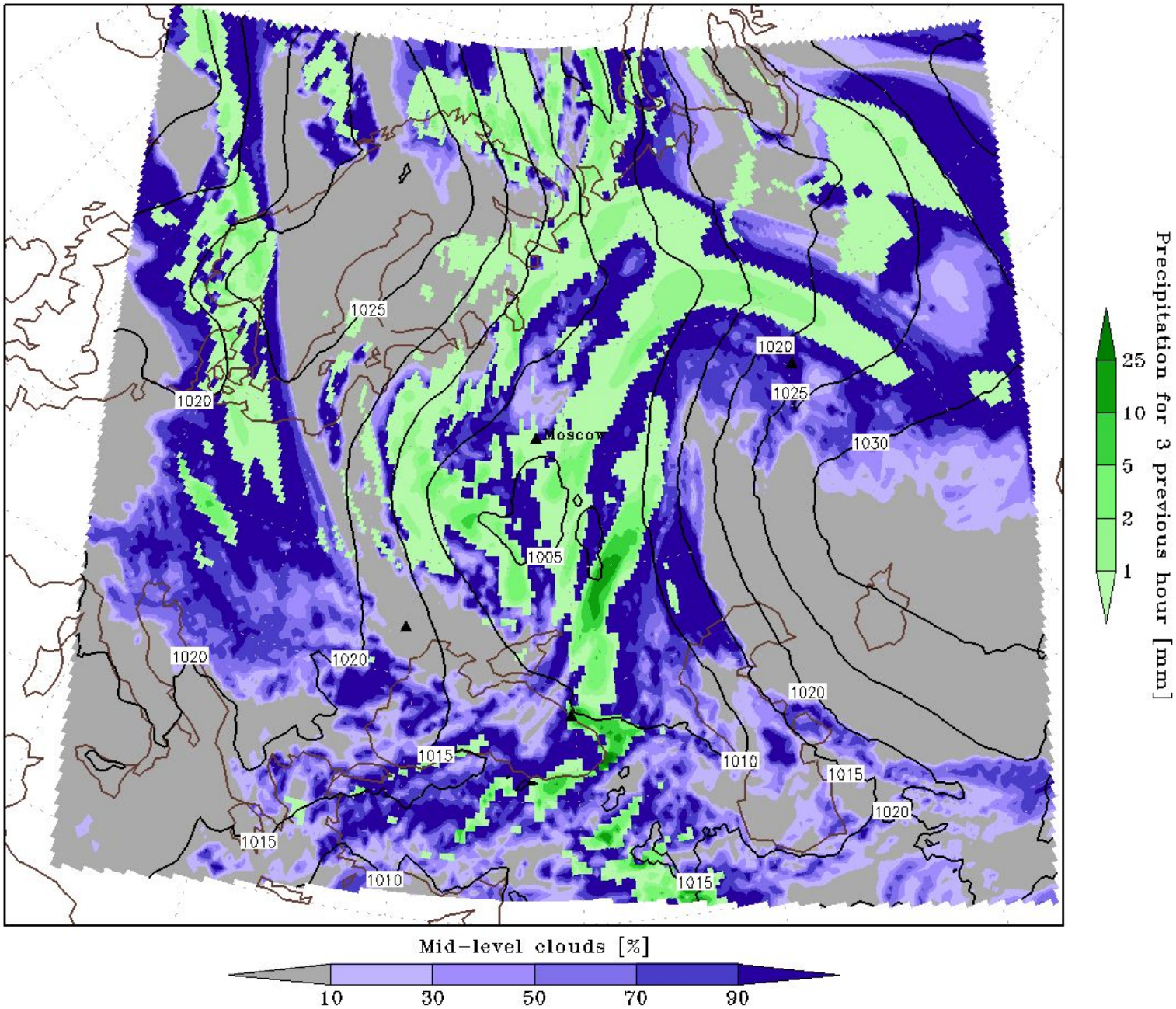
# Forecast on 45 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



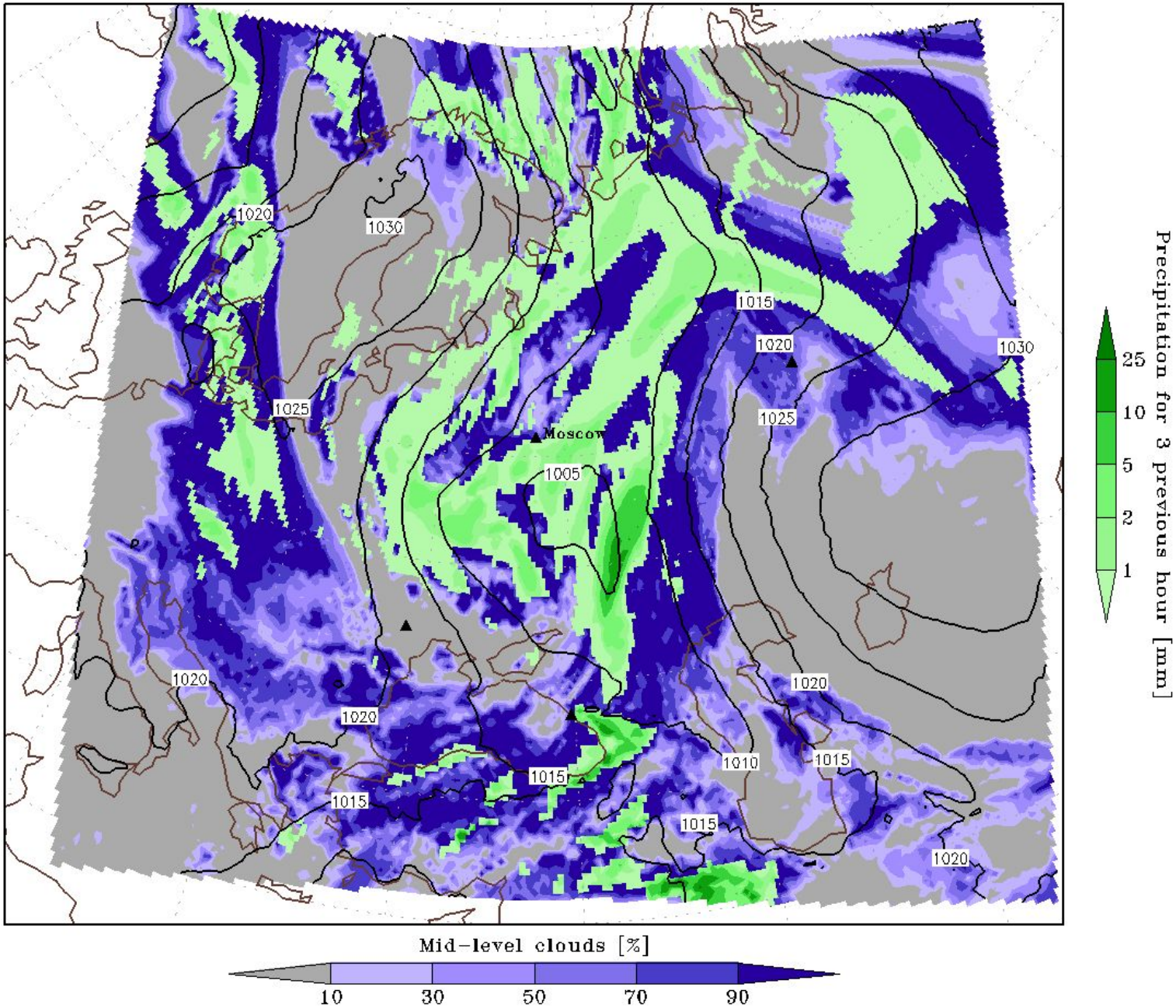
# Forecast on 48 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



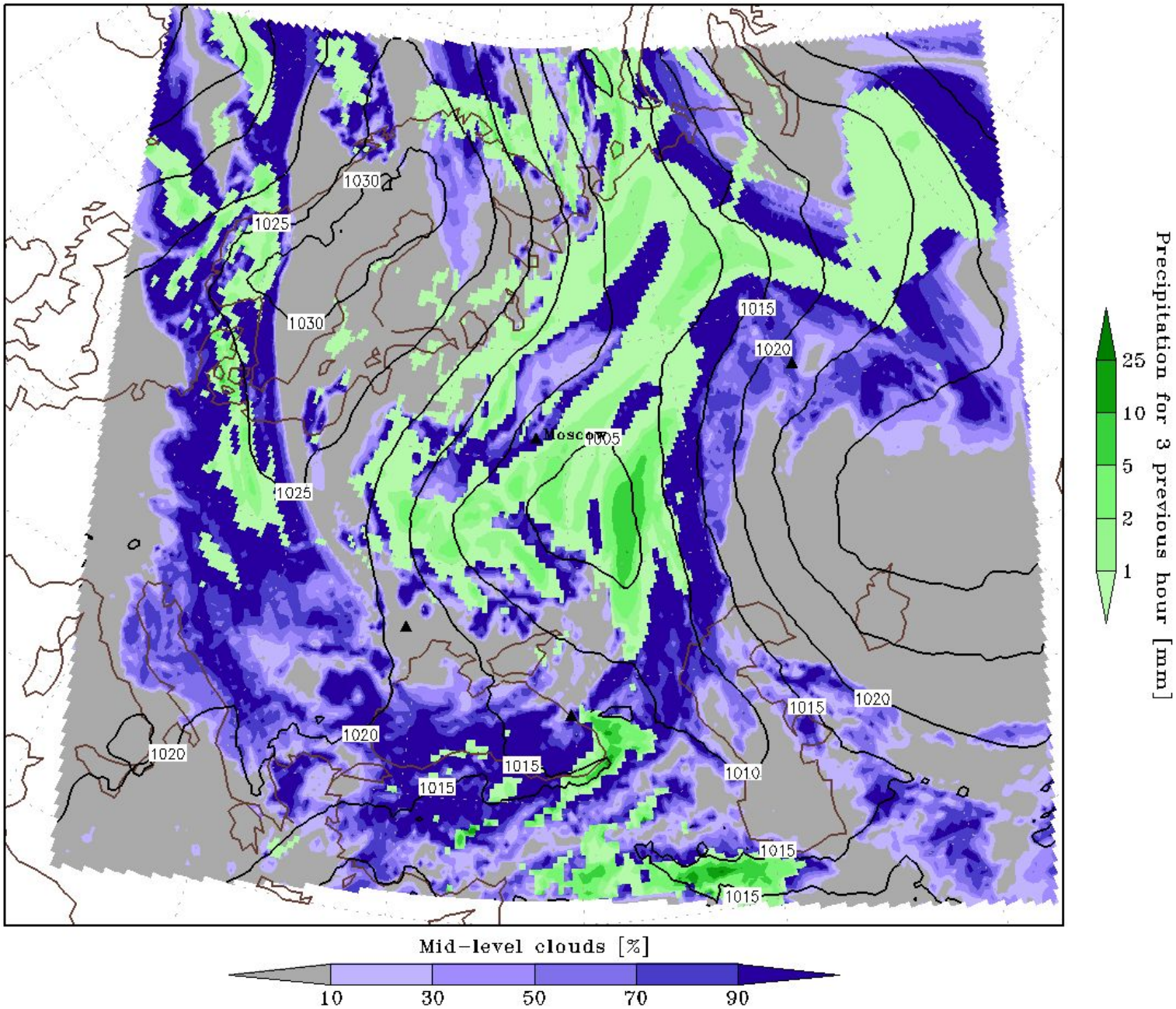
# Forecast on 51 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



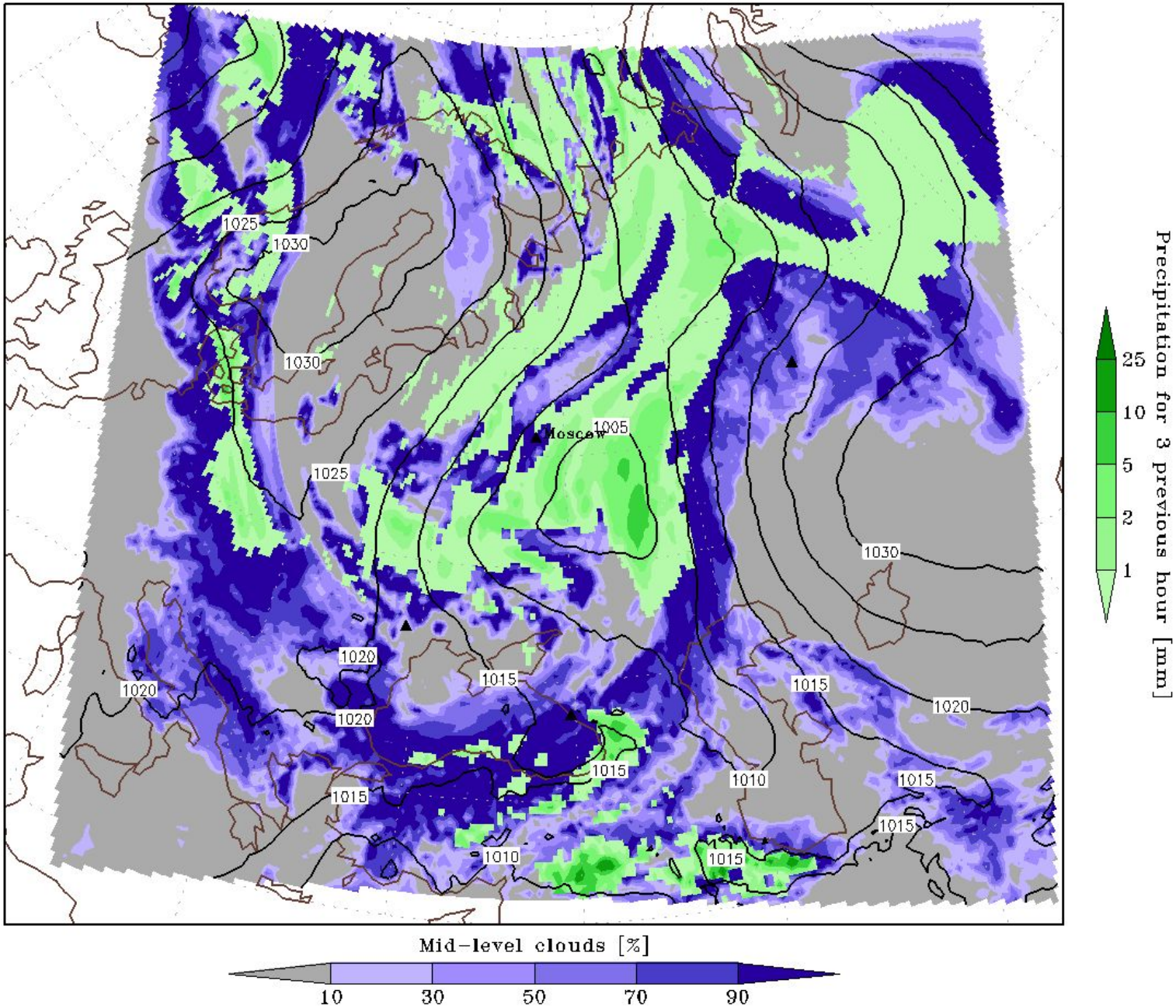
# Forecast on 54 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



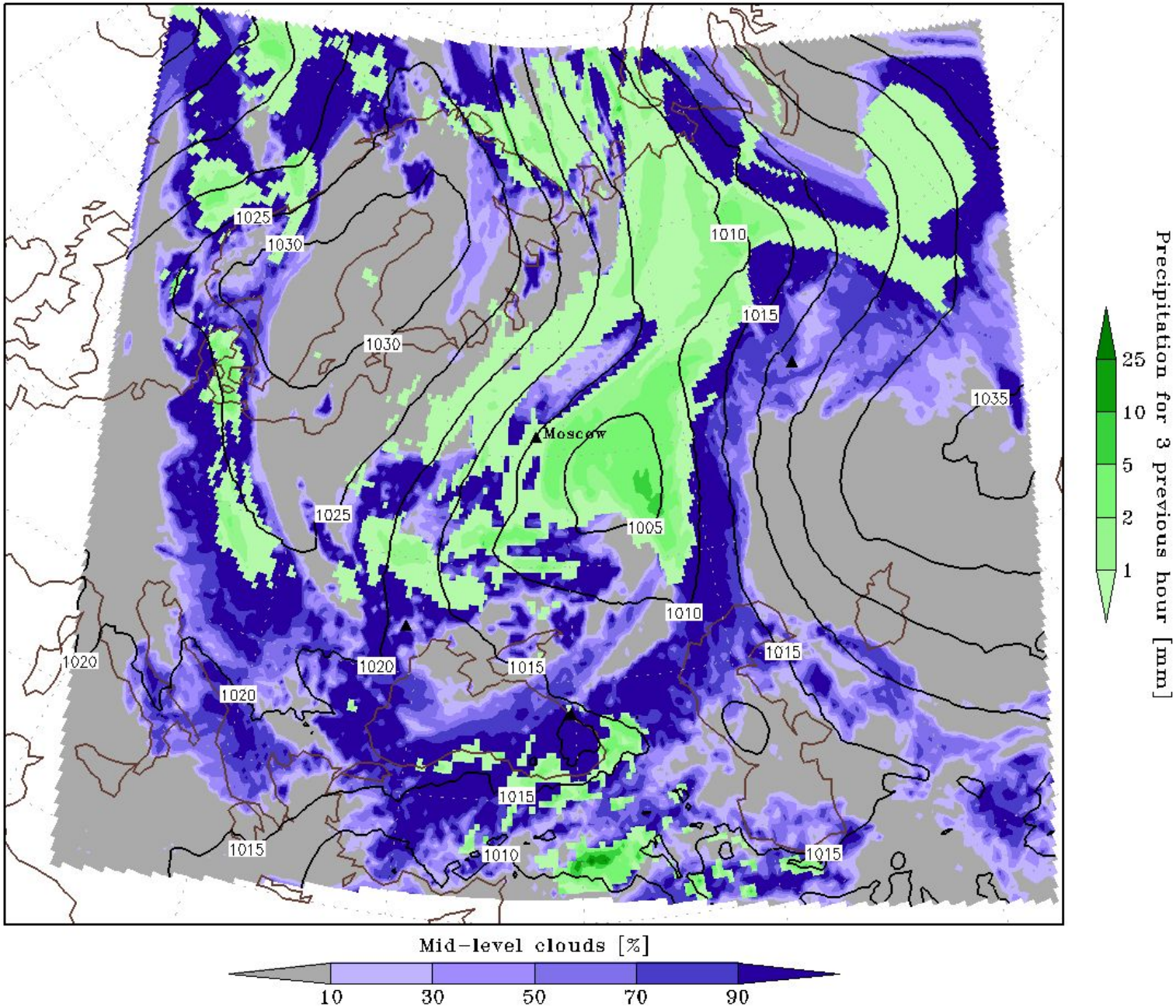
# Forecast on 57 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



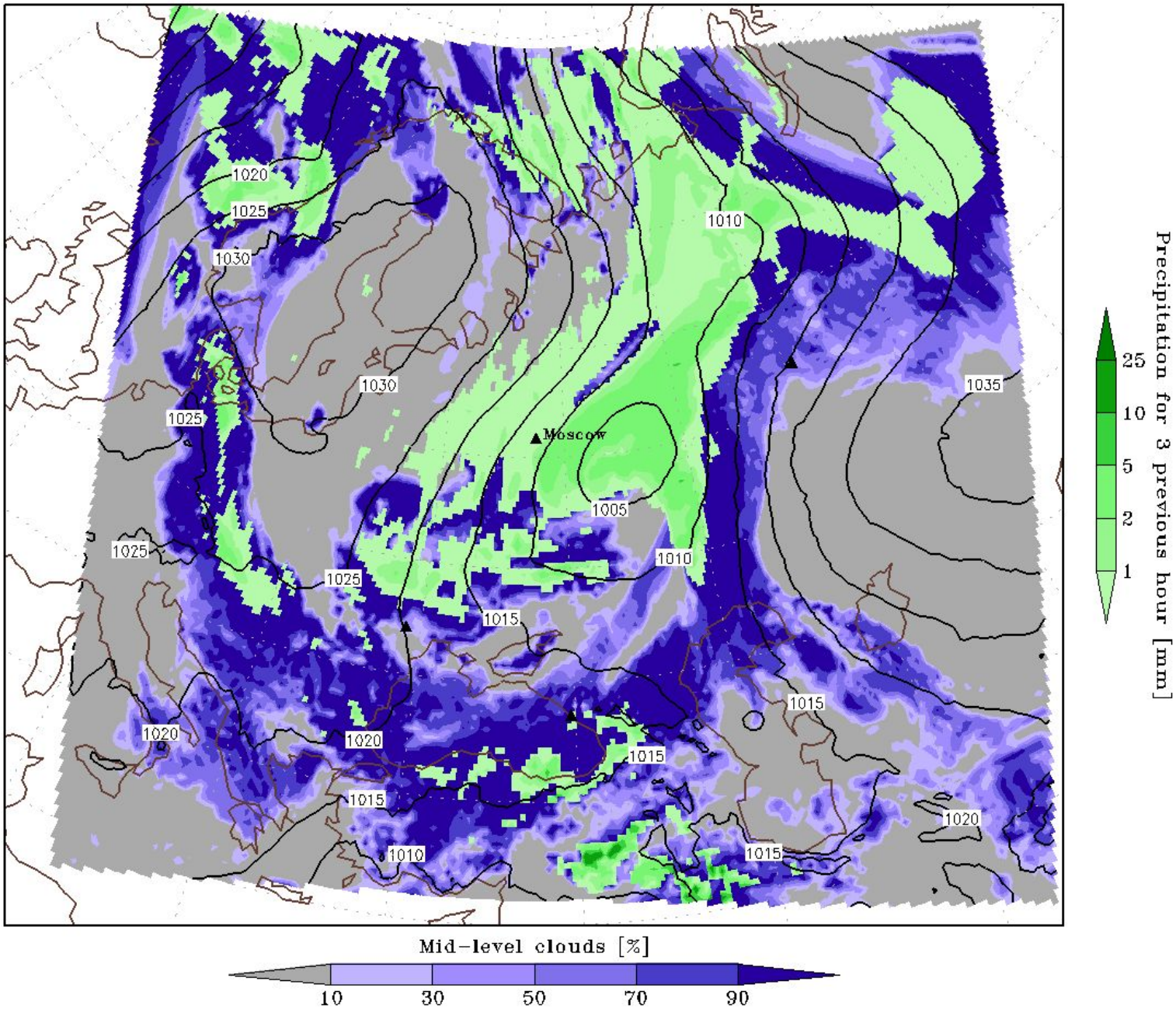
# Forecast on 60 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



# Forecast on 63 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km



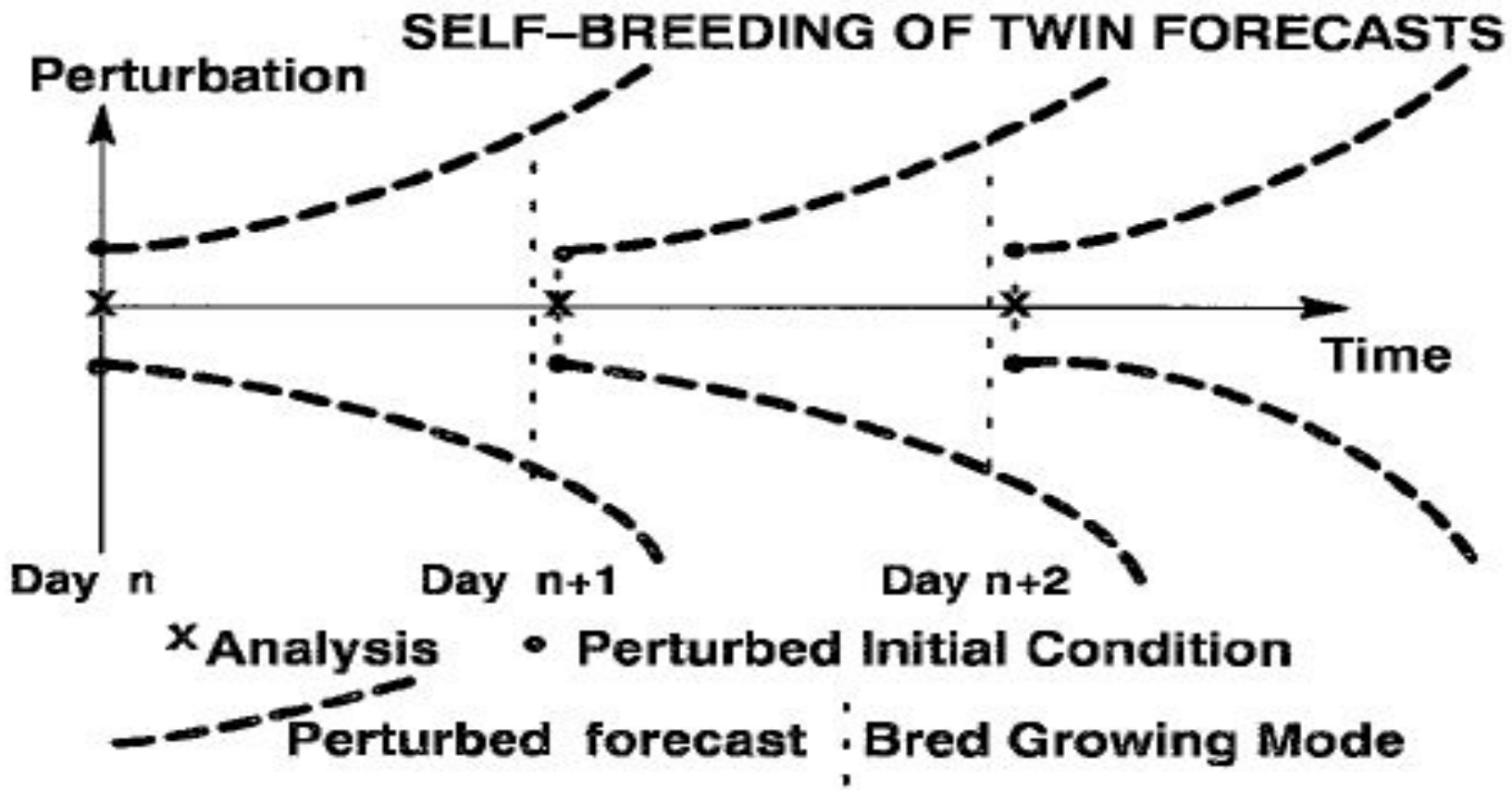
# Forecast on 66 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
# COSMO-RU 7km

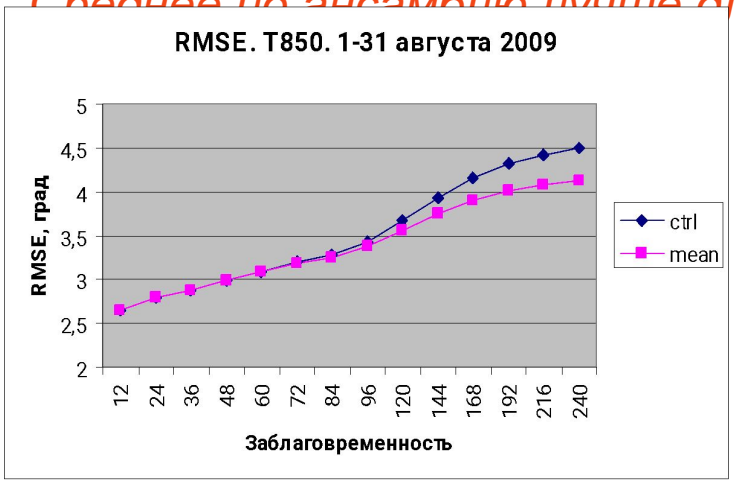
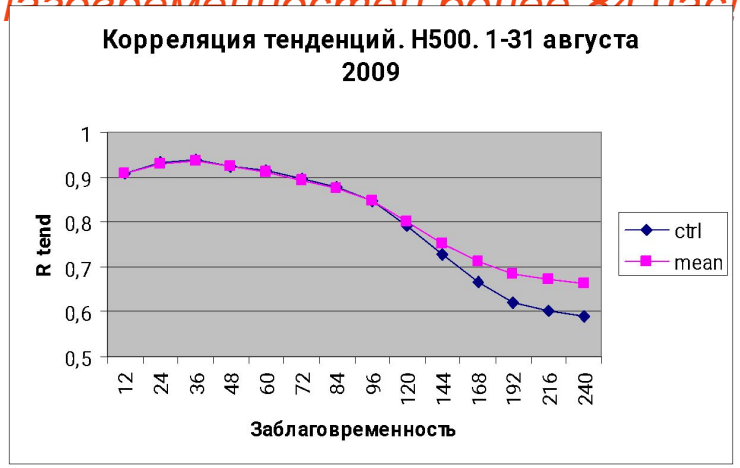
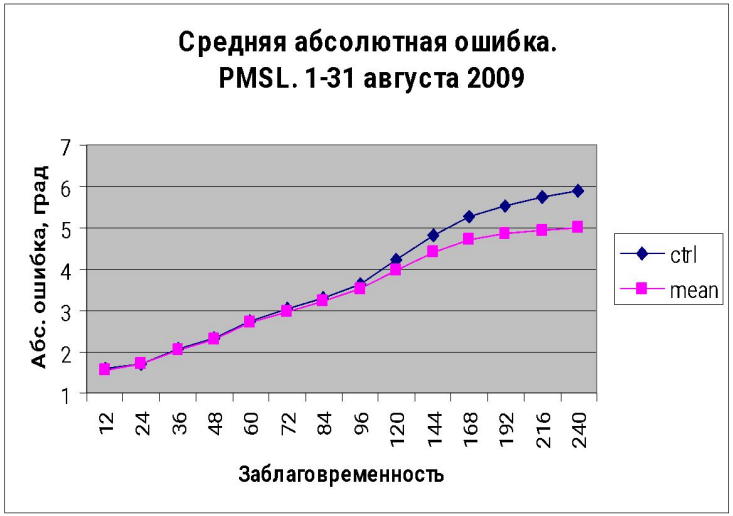
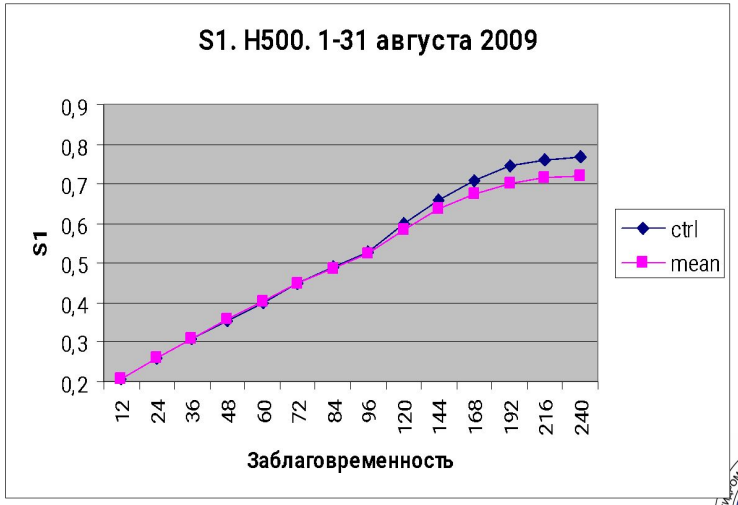


# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
HYDROMETEOROLOGICAL CENTRE OF RUSSIA

# Бридинг-метод



# Оценки качества среднего по ансамблю прогноза

*Среднее по ансамблю лучше для заблаговременностей более 84 час!*