

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



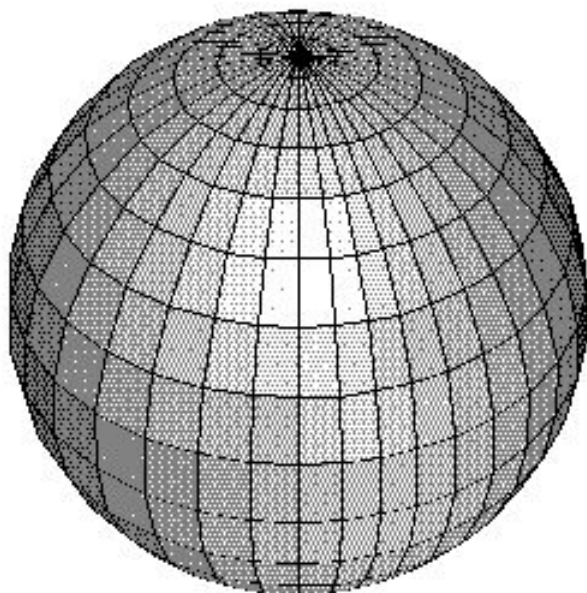
Модель атмосферы

- Уравнения гидротермодинамики
- Методы их решения
- Параметризации процессов подсеточного масштаба
(правая часть уравнений)



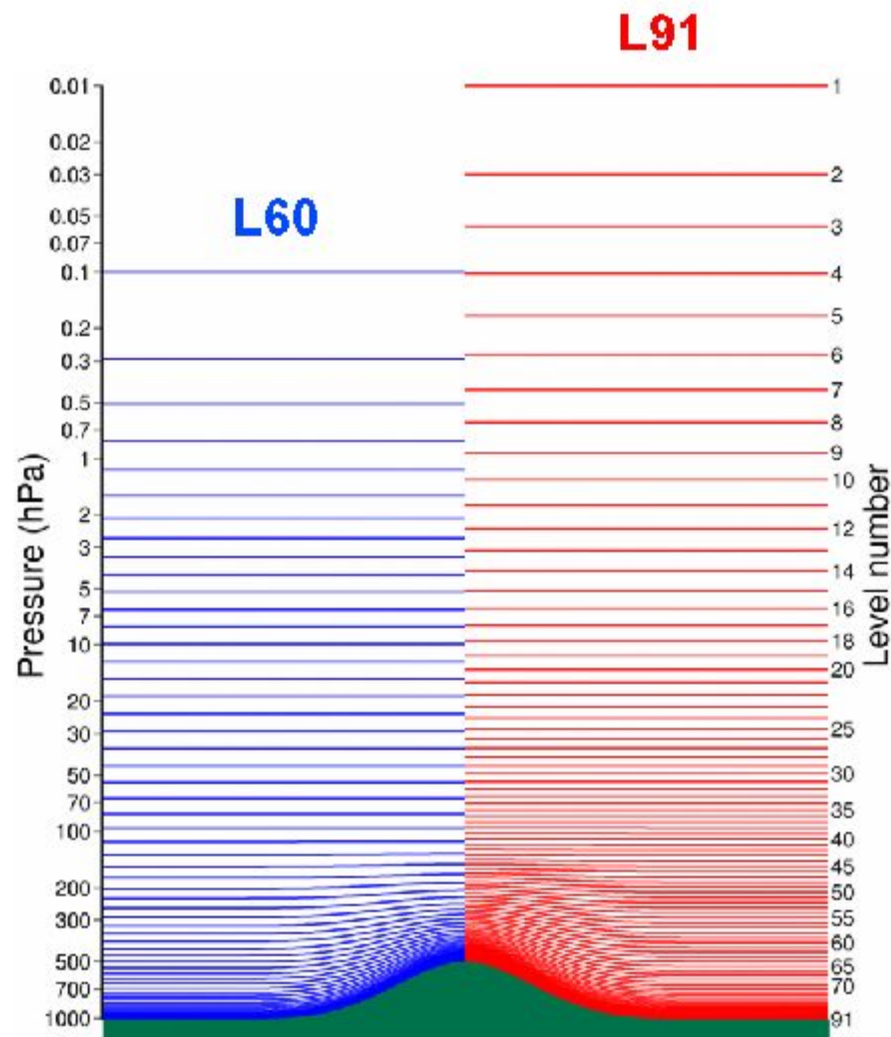
Дискретизация

По горизонтали

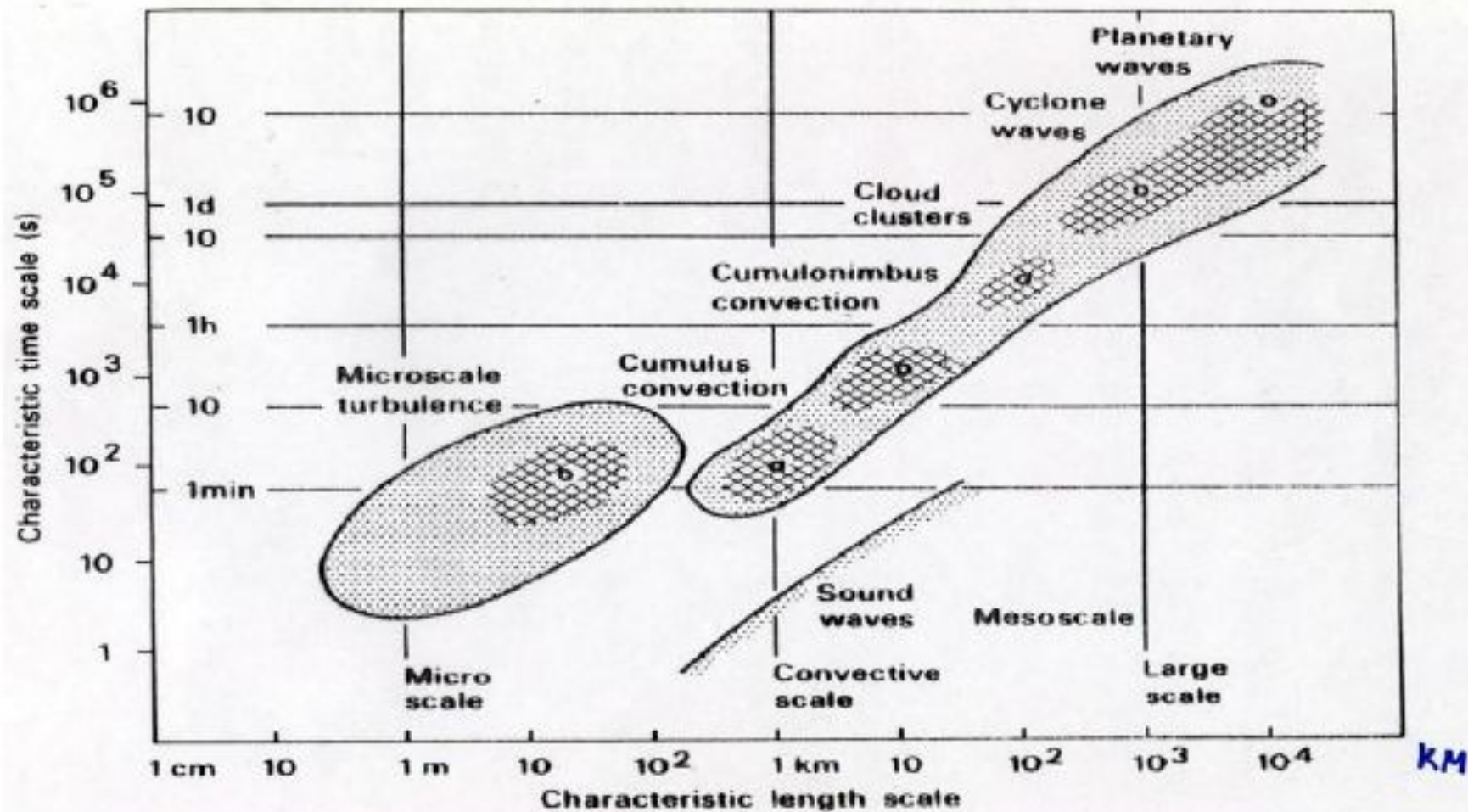


Сферические
координаты
Широтно-долготная
сетка

По вертикали



Пространственные и временные масштабы некоторых процессов в атмосфере



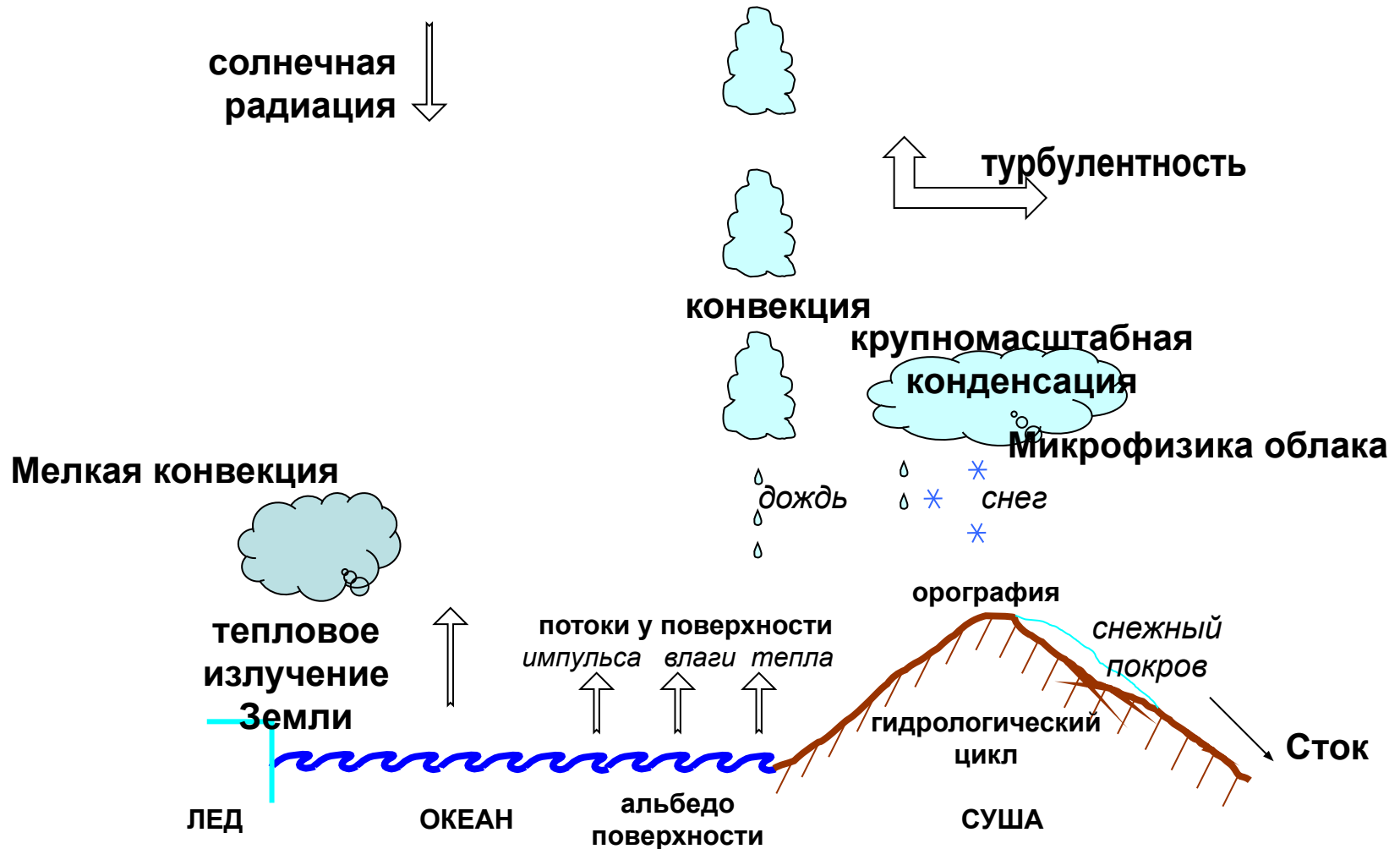
*В зависимости от разрешения модели
физические процессы описываются явно или
параметрически*

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

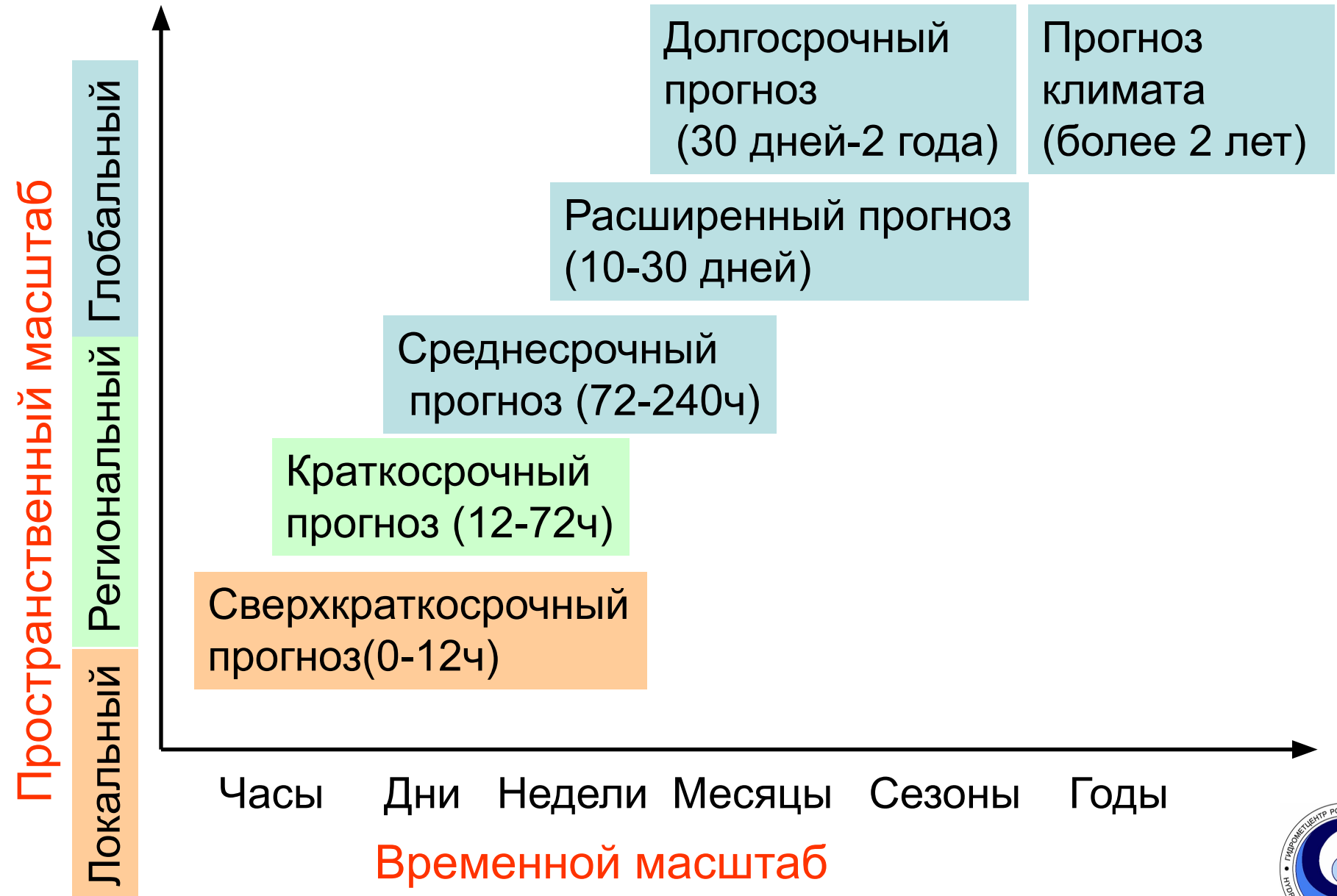
Спектральные и конечно-разностные – по
методу решения уравнений

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



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?

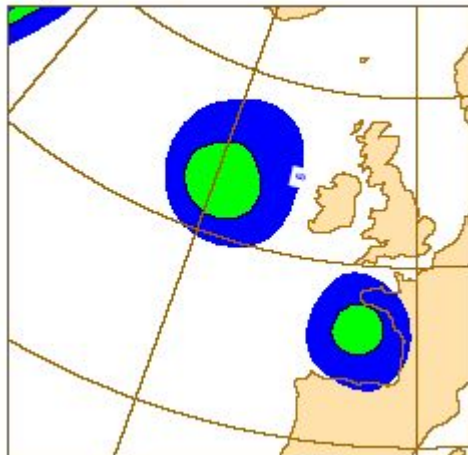
- Качество начальных данных о состоянии атмосферы и поверхности Земли (наблюдений и методов их обработки)
- Разрешение модели атмосферы
(Спектральные модели: $T169L31 = 169$ гармоник, треугольное усечение, 31 уровень по вертикали)
- Полнота и точность параметризаций процессов подсеточного масштаба («физики»)



Роль начальных данных о состоянии атмосферы (влияние их малых возмущений на 5-сут прогноз)

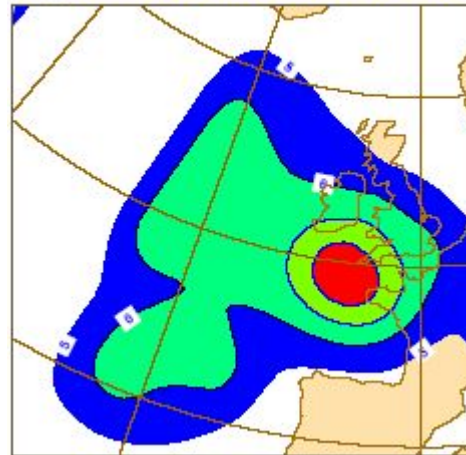
Прогноз 1
контрольный

FC_0 1000hPa Z 1996-12-21 12h fc t+120



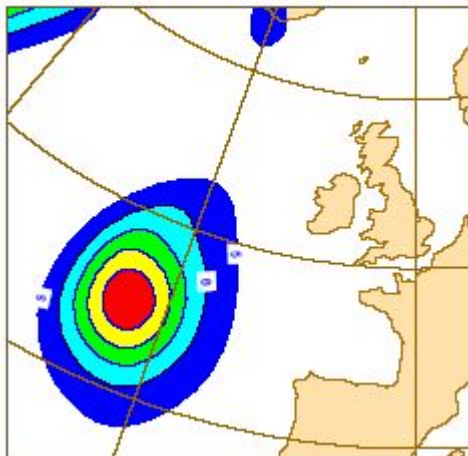
Прогноз 2
от
возмущенных
начальных
данных

FC_25 1000hPa Z 1996-12-21 12h fc t+120



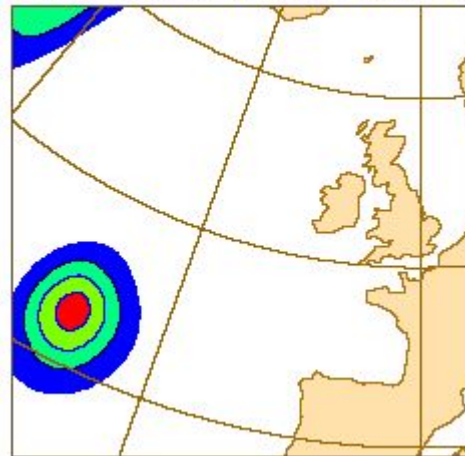
Прогноз 3
от
возмущенных
начальных
данных

FC_24 1000hPa Z 1996-12-21 12h fc t+120



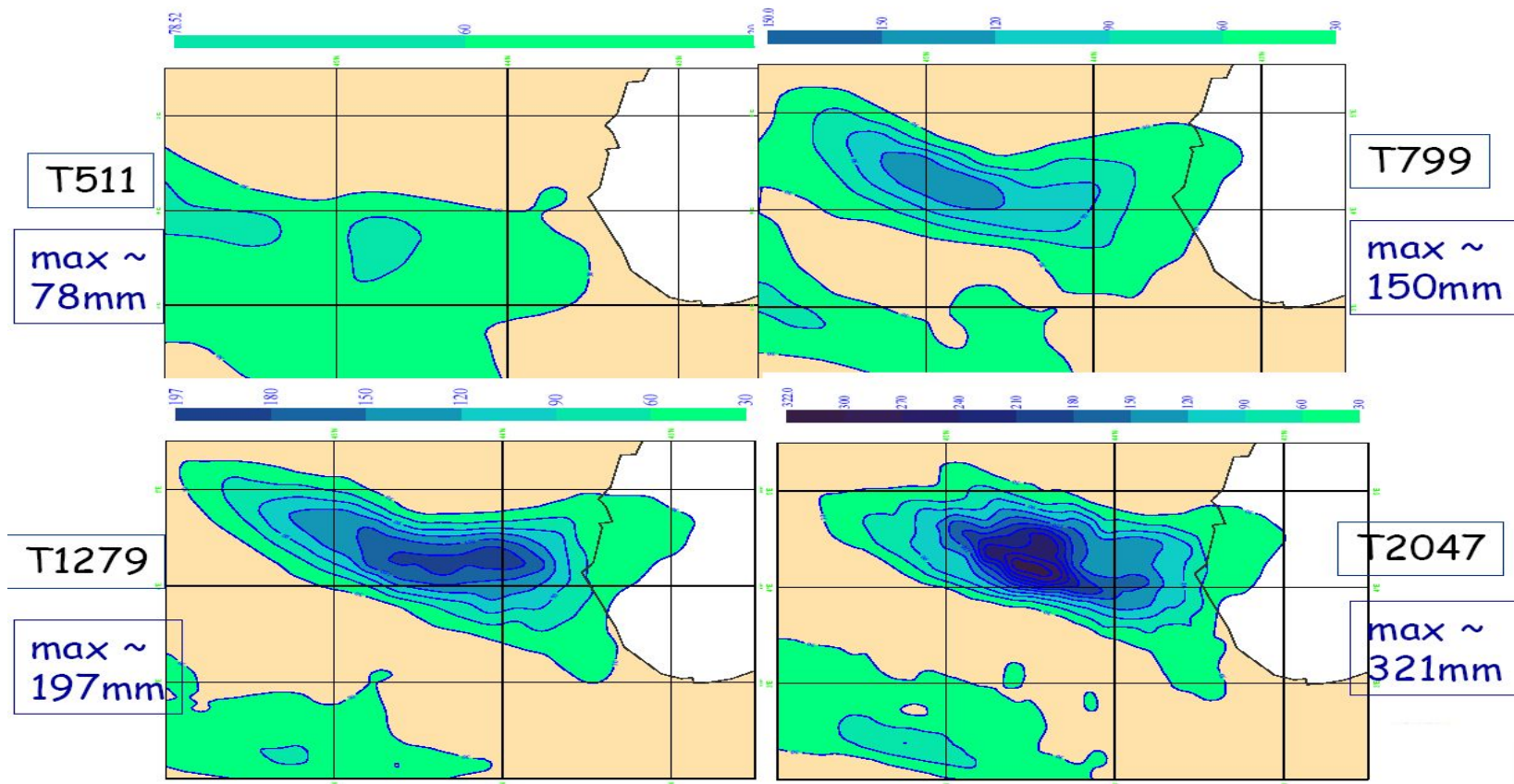
Факт

Analysis 1000hPa Z 1996-12-26 12h



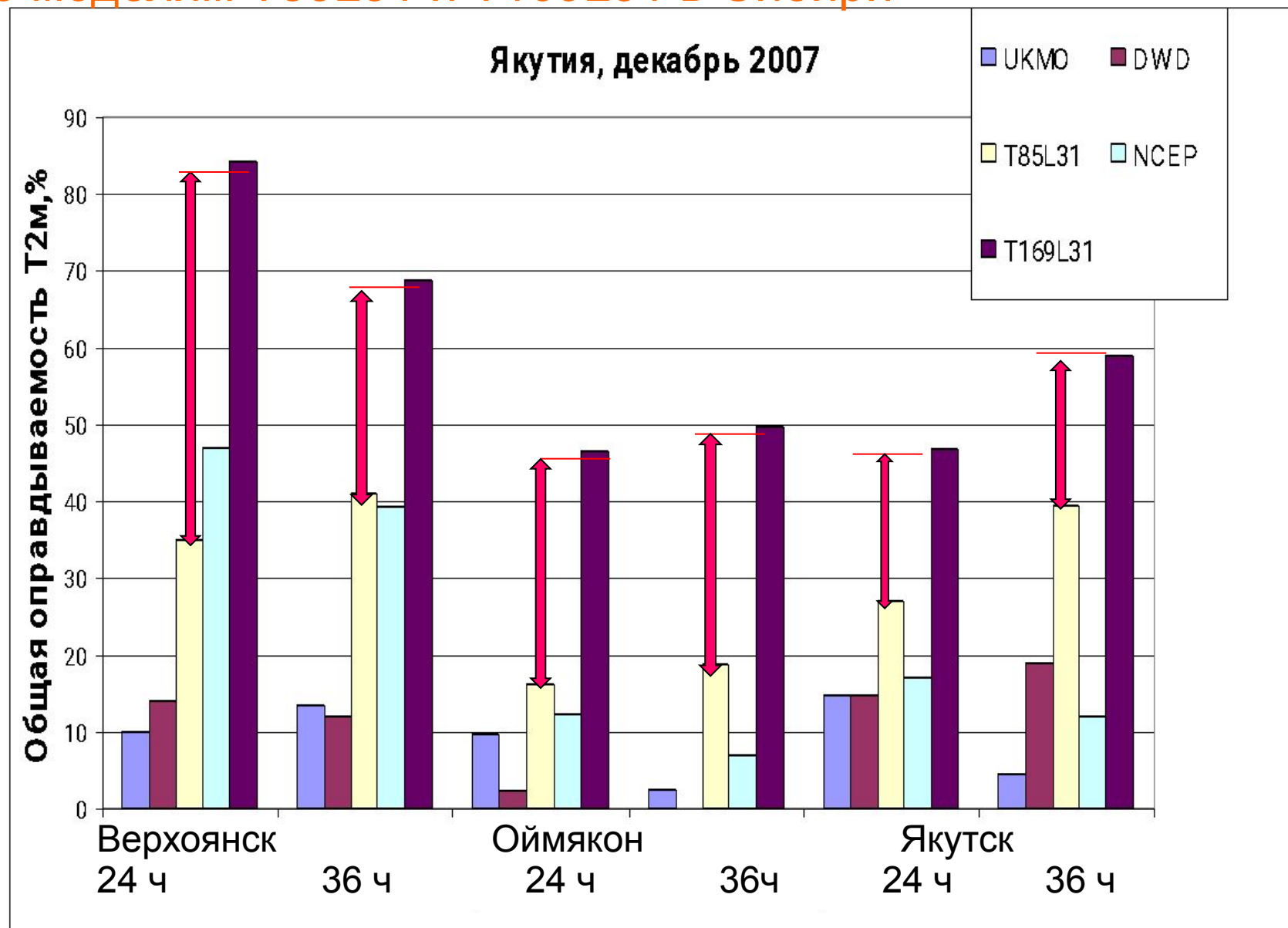
Роль разрешения модели

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

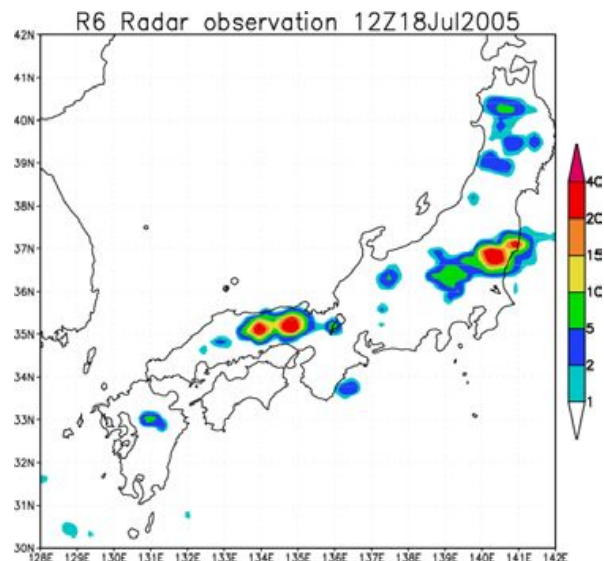


Оправдываемость прогнозов температуры на уровне 2 м на 24 и 36 часов (% случаев с абсолютной ошибкой < 3 град)

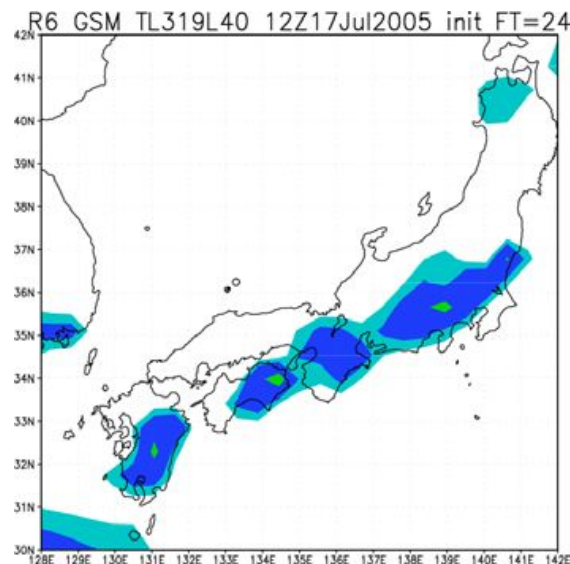
по моделям T85L31 и T169L31 в Сибири



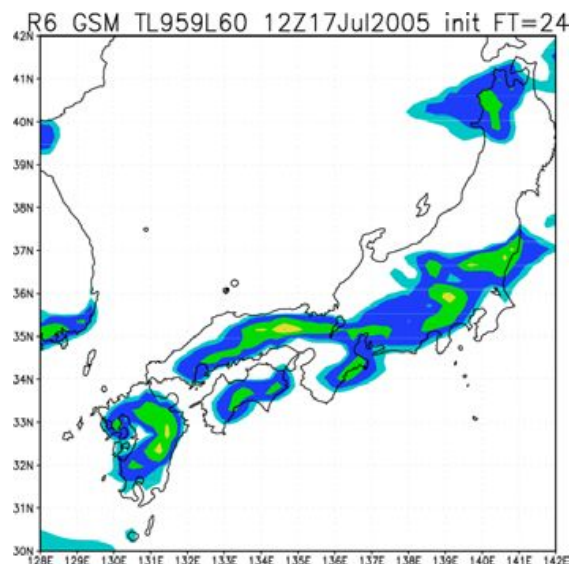
Роль улучшения разрешения и параметризаций процессов подсеточного масштаба. Осадки



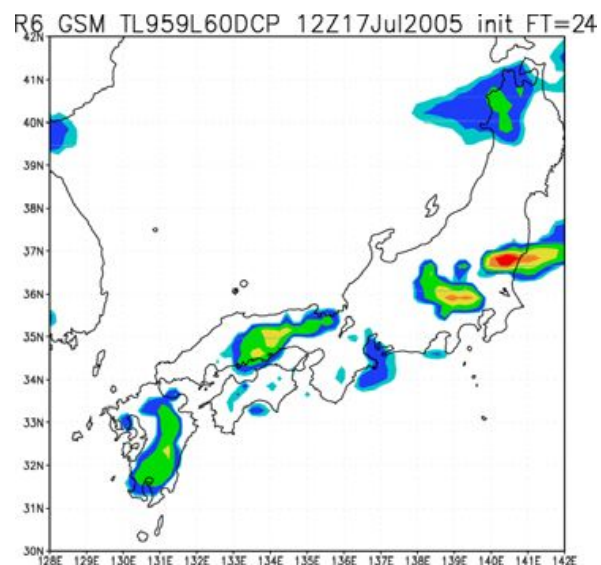
Радар



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

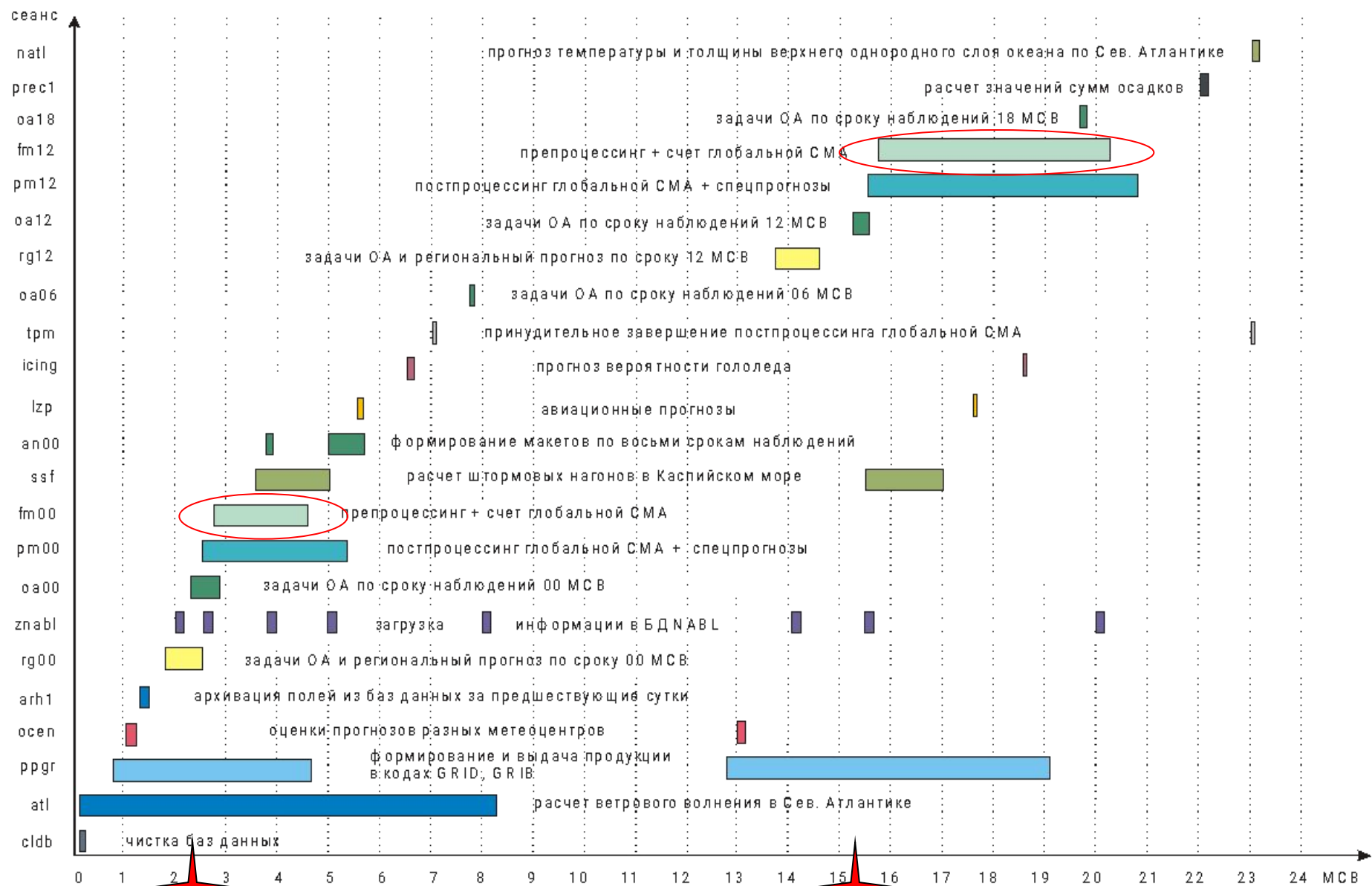
Надо успеть передать по каналам связи

- Моделирование климата: 100-1000 дней за сутки

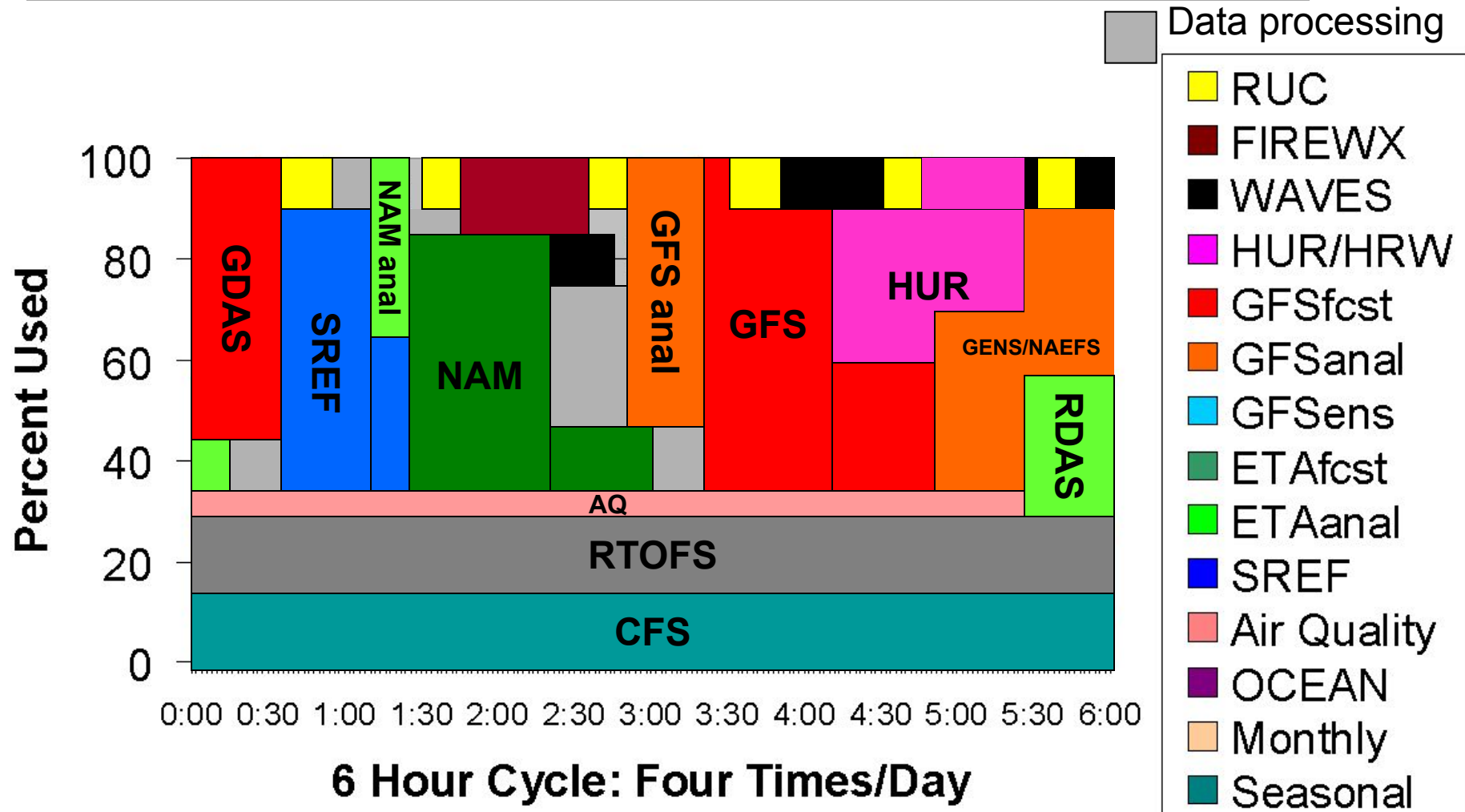
(World Modelling Summit for Climate Prediction, 2008)



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 !!!!

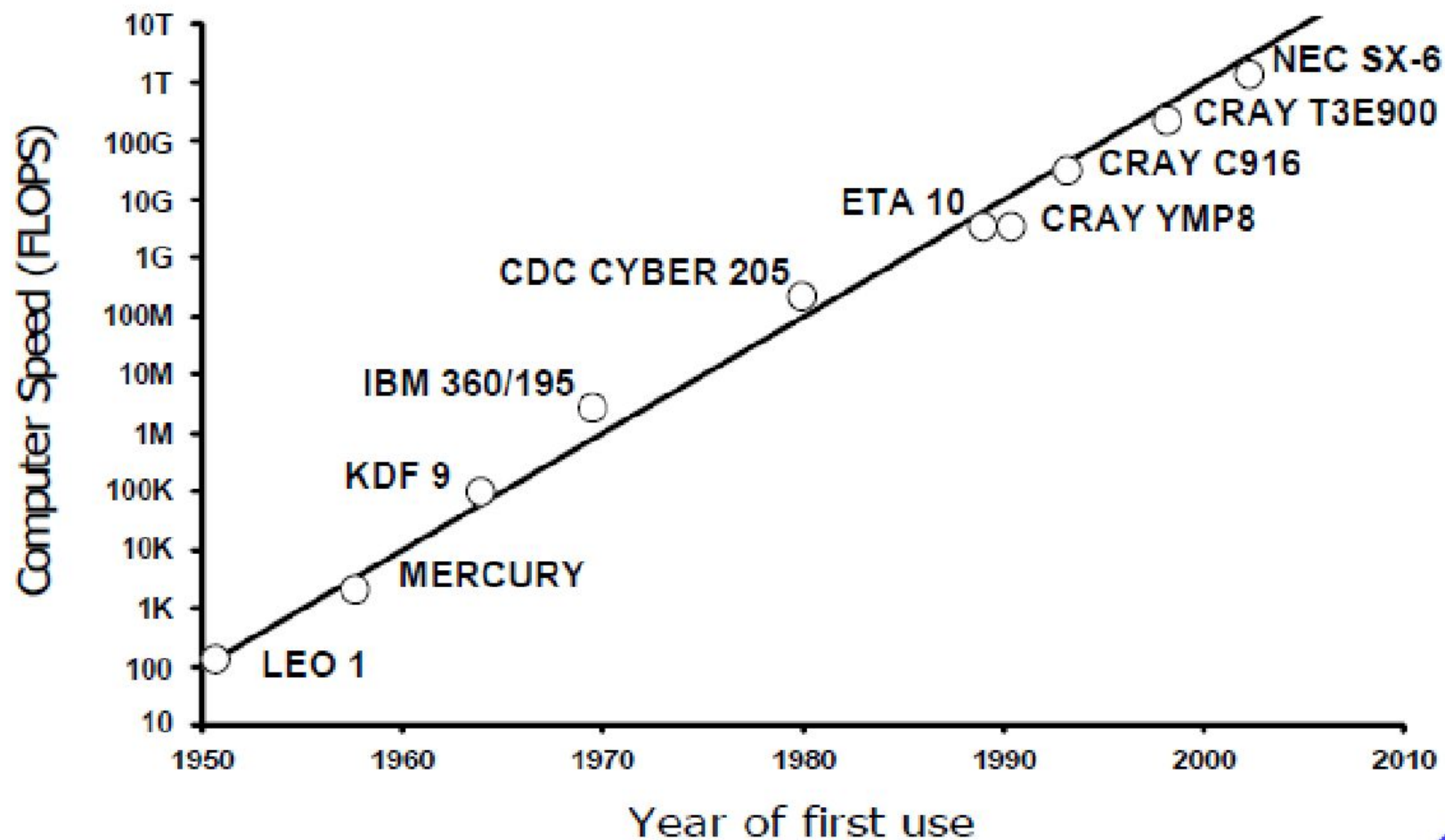


Суперкомпьютерные системы ведущих метеорологических центров мира

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



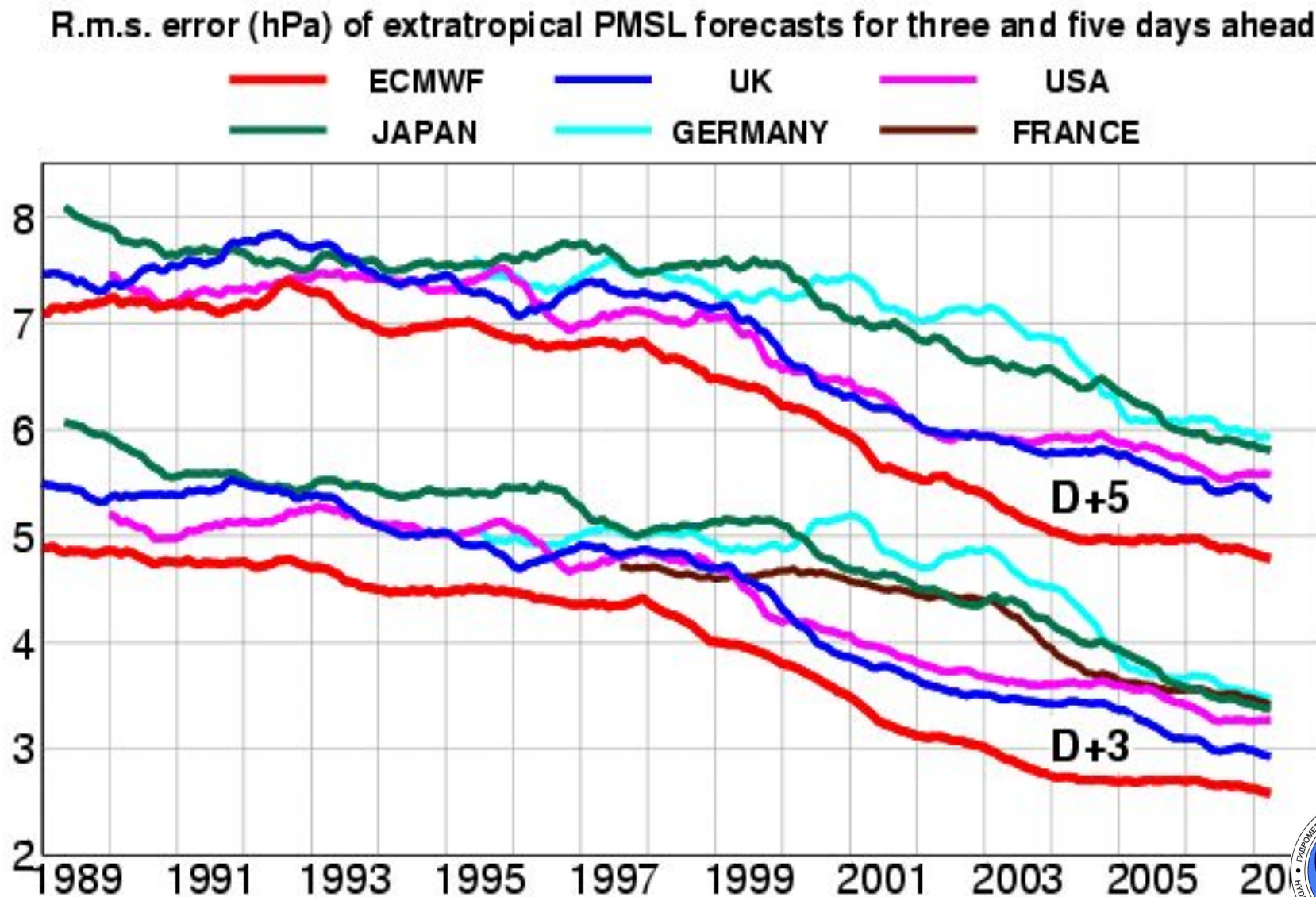
Компьютеры, использовавшиеся в английской метеослужбе



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) 5.0(SW2)	2.1(IBM) 5.0(SW2)	tbd	tbd	tbd
KMA (Korea)	2x0.7 2x0.7	1.4 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

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)

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

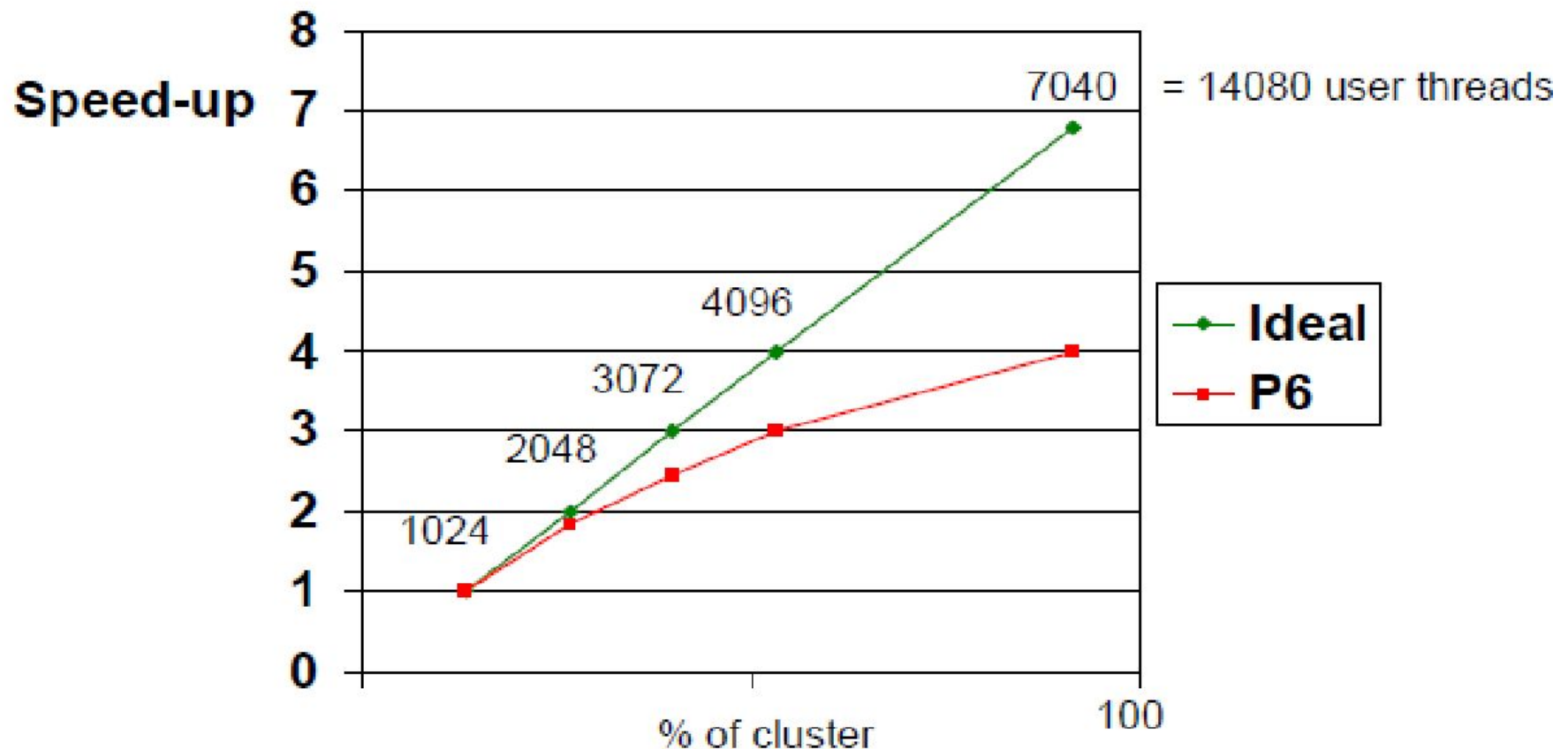
Проблема :

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

SAM – эксперименты до 100 000 PEs.

Масштабирование модели Европейского центра среднесрочных прогнозов с разрешением T1279L91

IFS T1279 10-day forecast on Power6 - speed-up curve



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



ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ

ости 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

гидрометеорологический
плетень: Прогноз важнейших
гидрометеорологических
лений. Прогноз по Москве и
ласти.

огноз температурного
жима в России на
оптимальный период
09/2010 г.

мация прогноза на 2 суток
территории Европы

огноз опасных и
благоприятных явлений
годы 28.10.2009 - 02.11.2009

кидаемое распределение
мальной температуры и
ядков в октябре 2009 г.

огностические карты
теорологических полей по
зультатам модели ПЛ-АВ
гидрометцентра России и ИВМ
Н

огностические карты

Прогнозы • Прогноз на неделю для 5000 городов мира

Страна: Область: Станция (город):

[Поиск города](#) [О статусе данной информации](#)

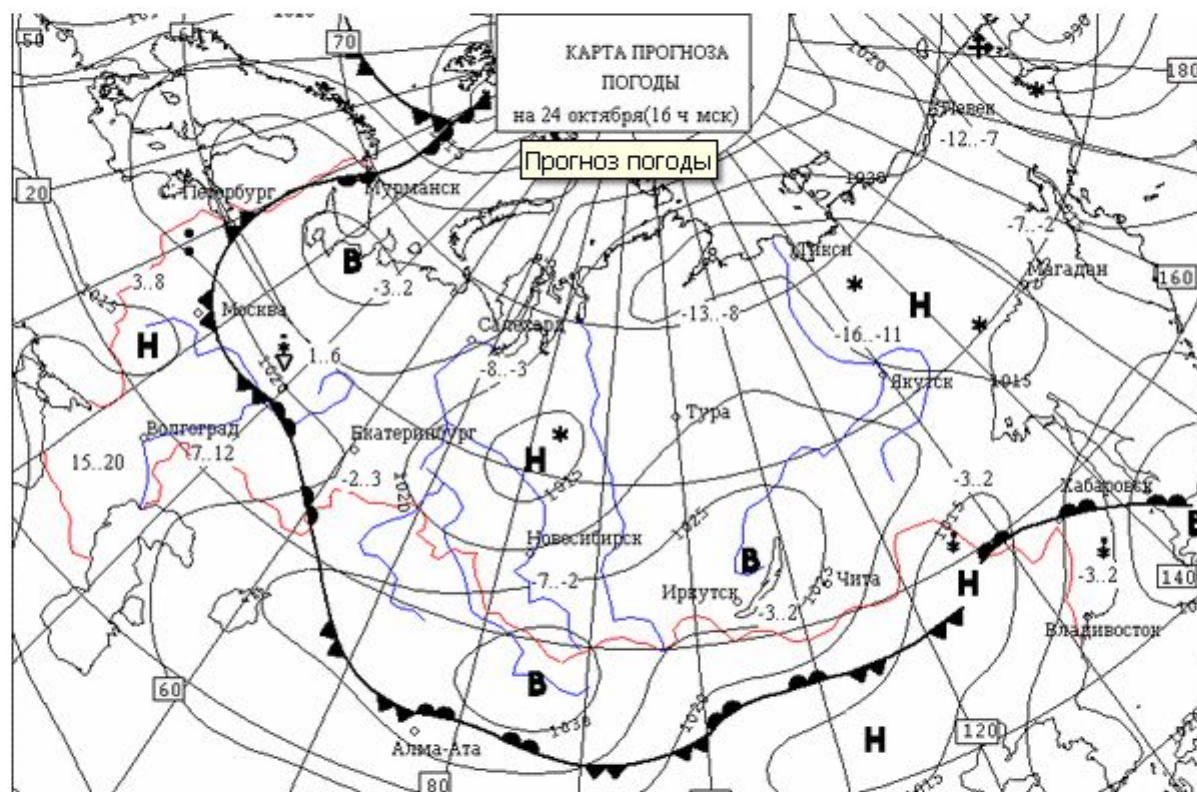
[Версия для печати](#)

	Среда 28 октября	Четверг 29 октября	Пятница 30 октября	Суббота 31 октября	Воскресенье 01 ноября	Понедельник 02 ноября	Вторник 03 ноября
Атмосферное давление ночью / днем, мм рт.ст.	753 / 749	746 / 743	743 / 745	747 / 750	752 / 755	749 / 753	754 / 750
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	Малооблачно, без осадков
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

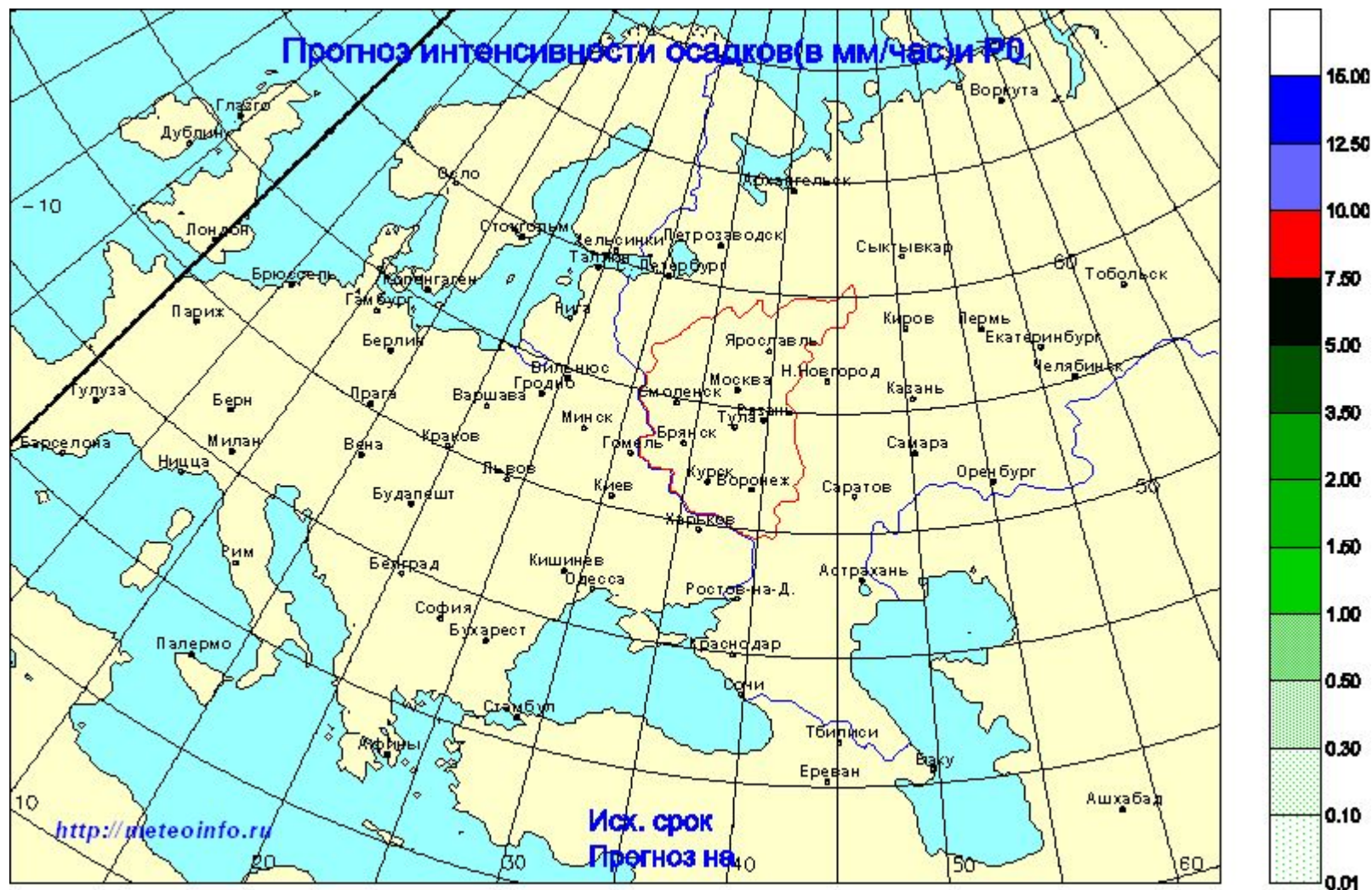
В область высокого атмосферного давления
Н область низкого атмосферного давления
→ направление перемещения барических образований
— теплый атмосферный фронт

▲ холодный атмосферный фронт
1010 изобары и давление (гПа)
— фронт окклюзии
1...5 температура воздуха (°C)

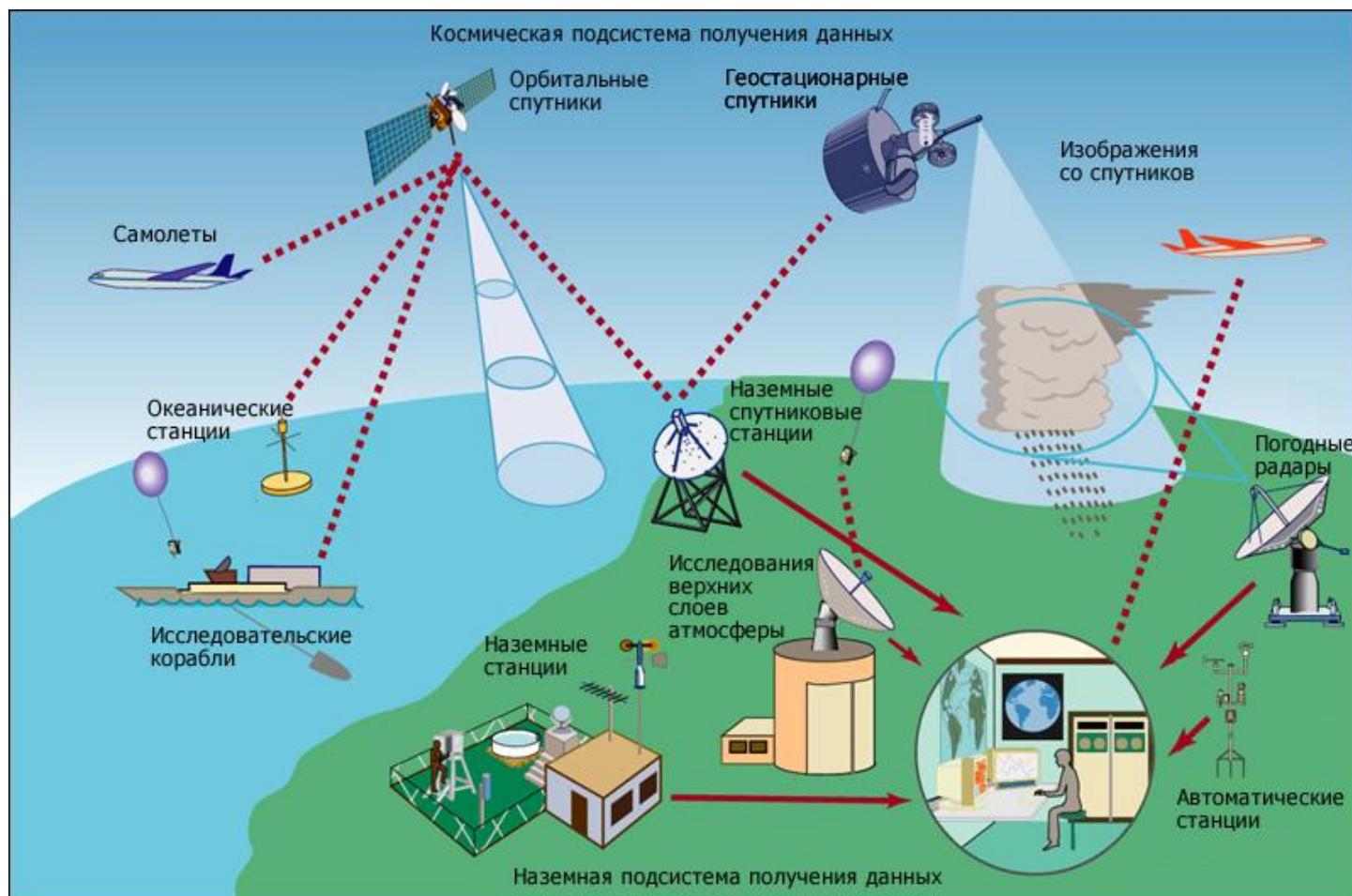
* снег : дождь ∇ ливневые осадки
† метель K гроза ☼ гололед
≡ туман

Пример прогноза Гидрометцентра России

meteoinfo.ru



Начальные данные – данные наблюдений



Наземные наблюдательные системы

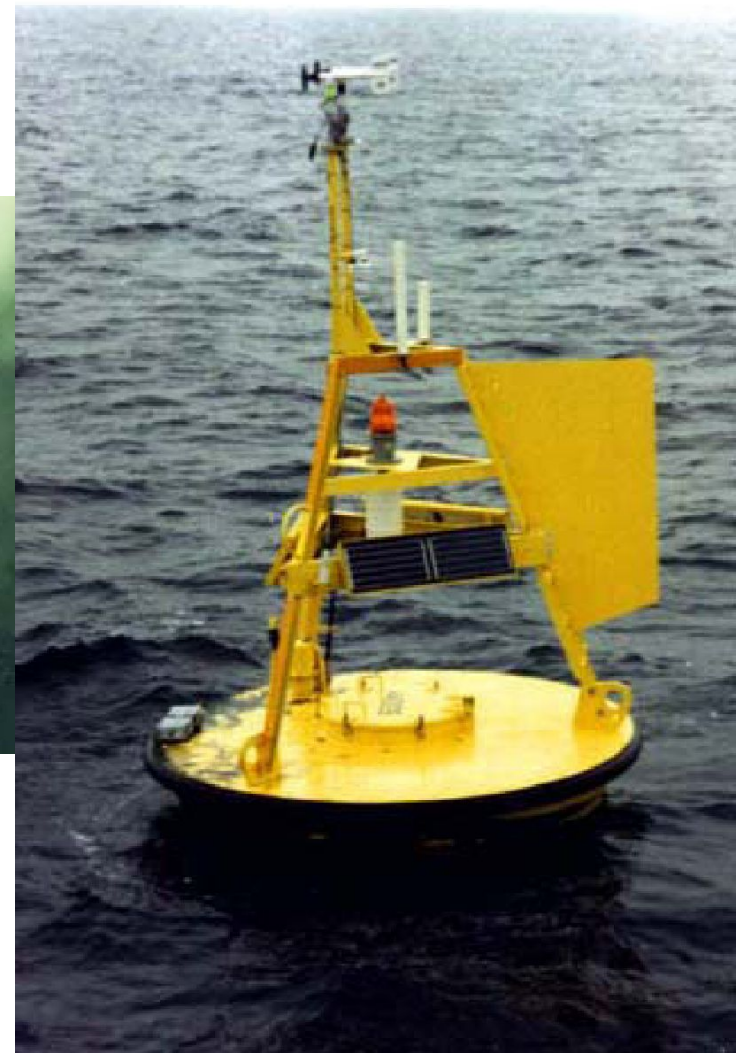
Синоптические станции



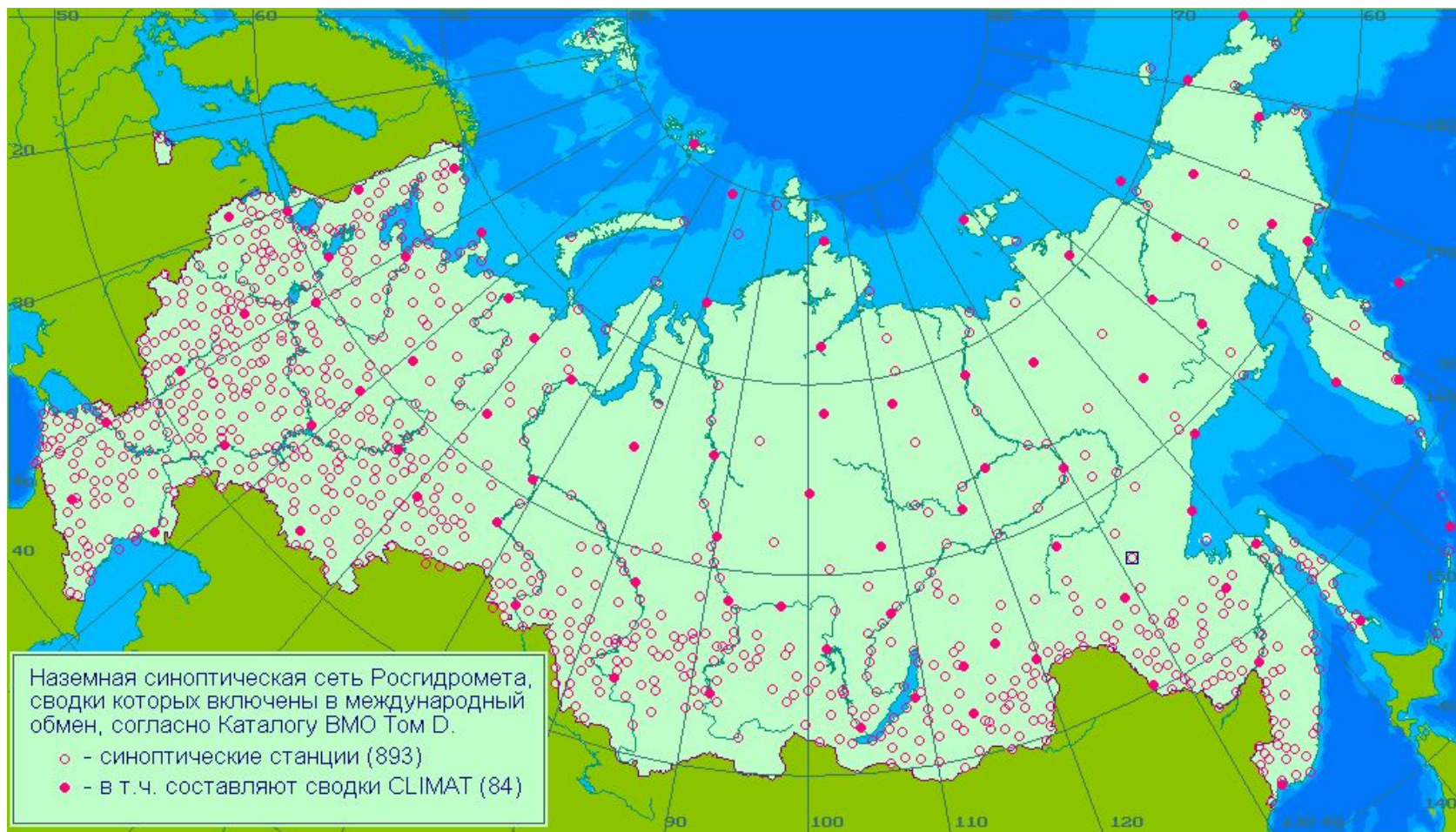
Радары



Буи

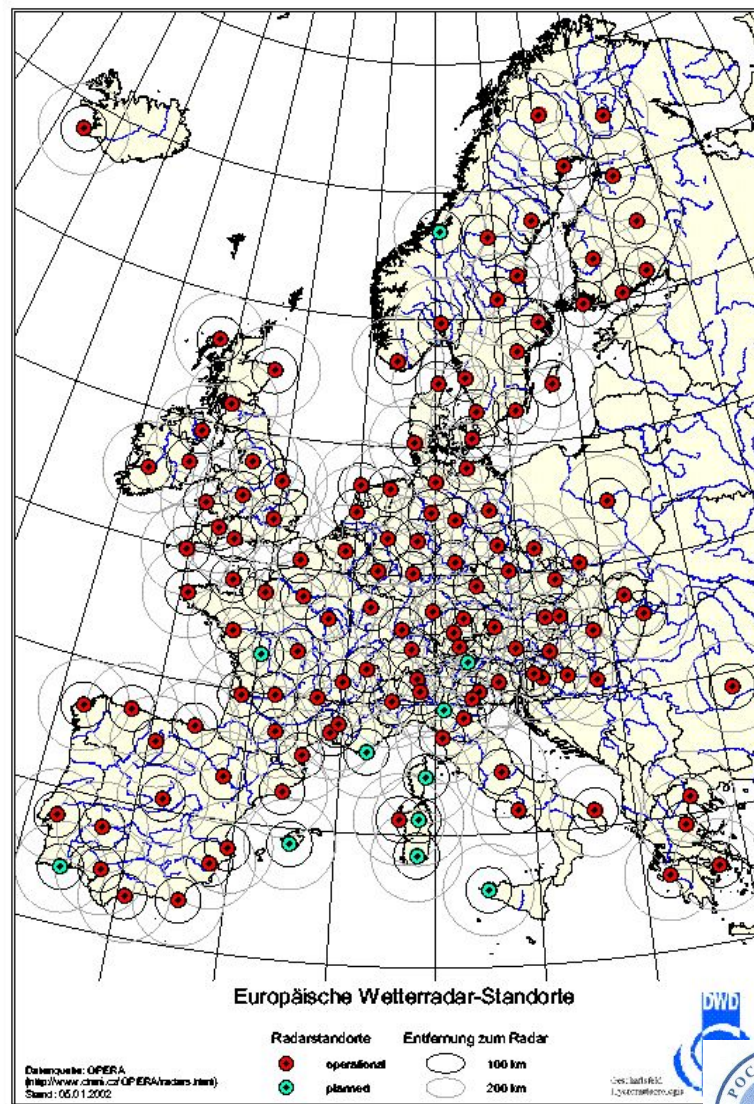
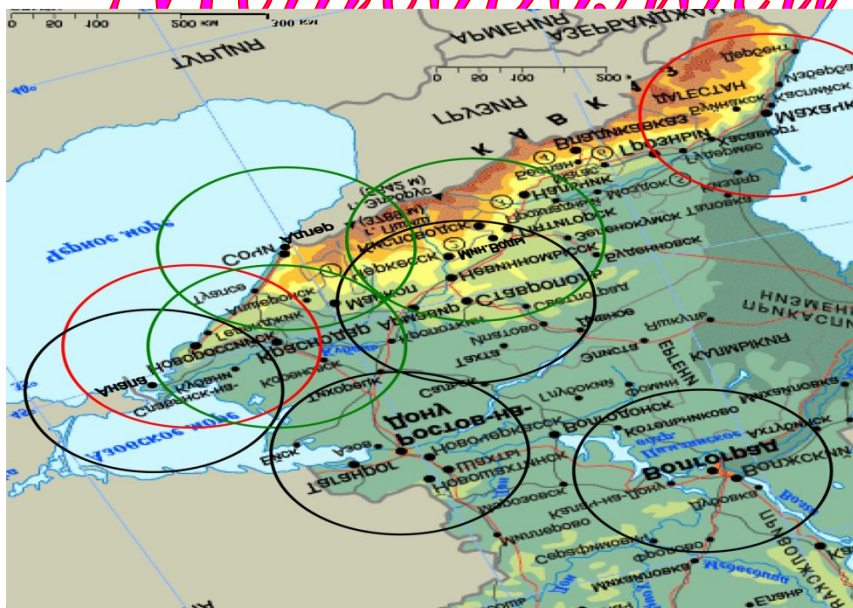


Неравномерное по пространству распределение данных

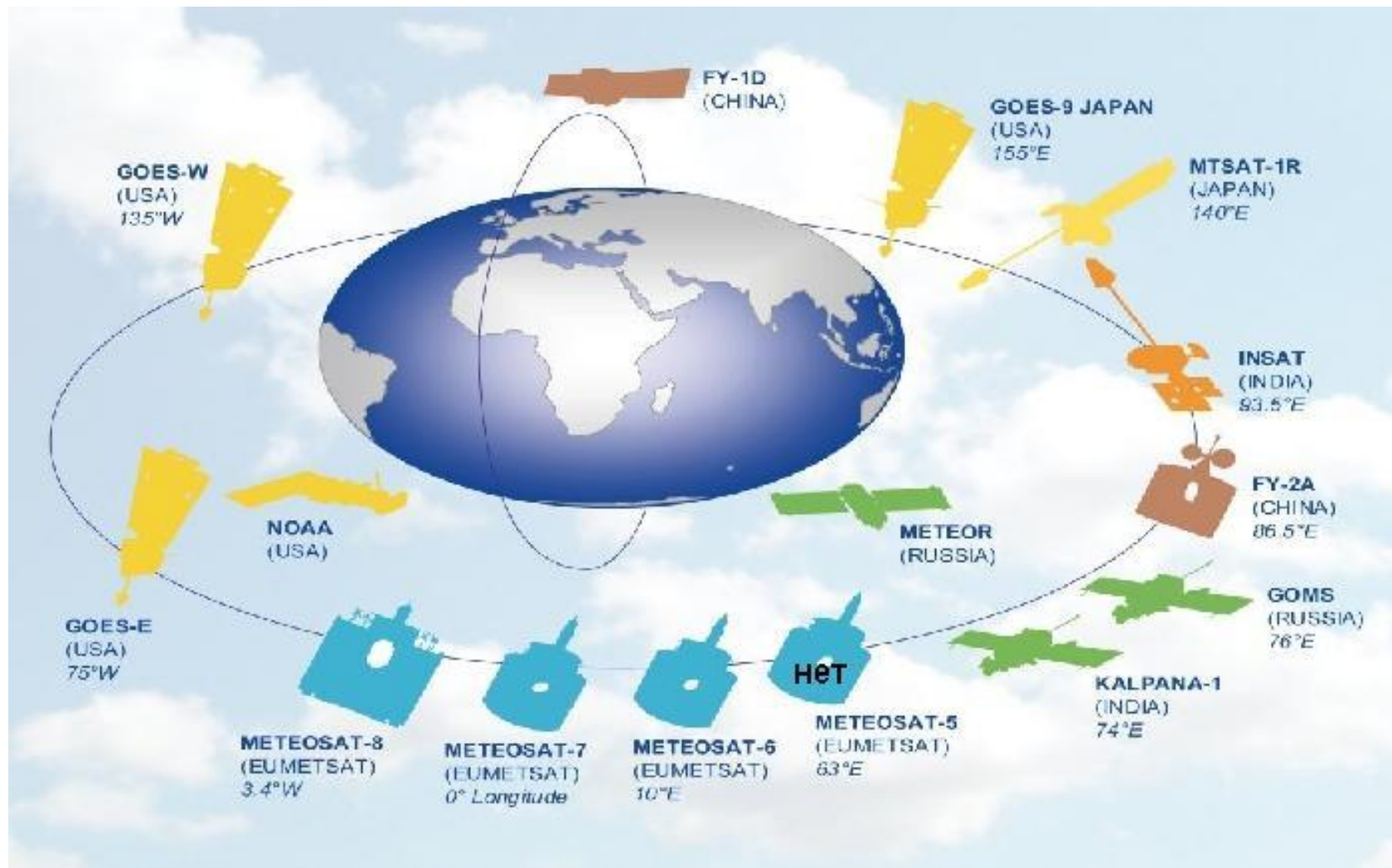


Синоптические станции Росгидромета

Метеорологические радары



Спутниковые данные



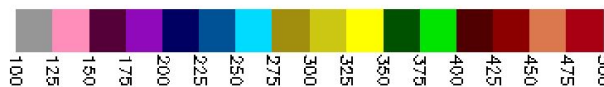
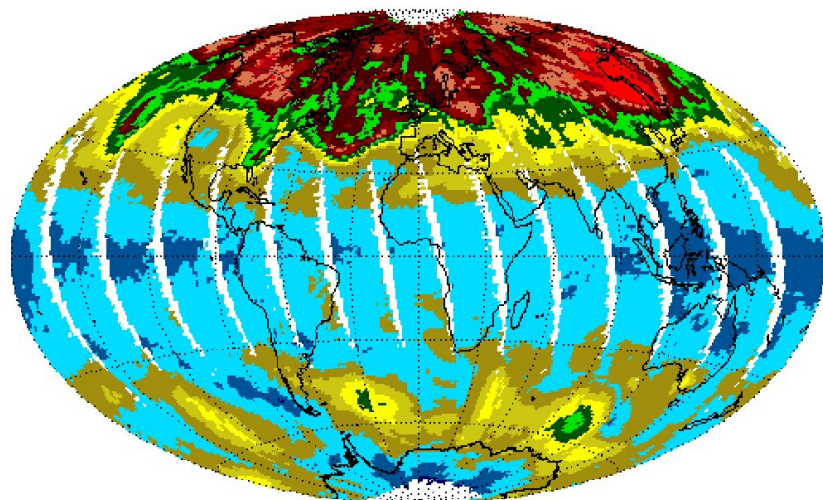
Данные должны быть подготовлены для моделей
Система усвоения данных: замещаются наблюдения и прогноз

Сырые данные
Неравномерны
Зашумлены
Не пригодны для моделей

«Усвоенные» данные
Равномерны
Гладкие
Пригодны для моделей

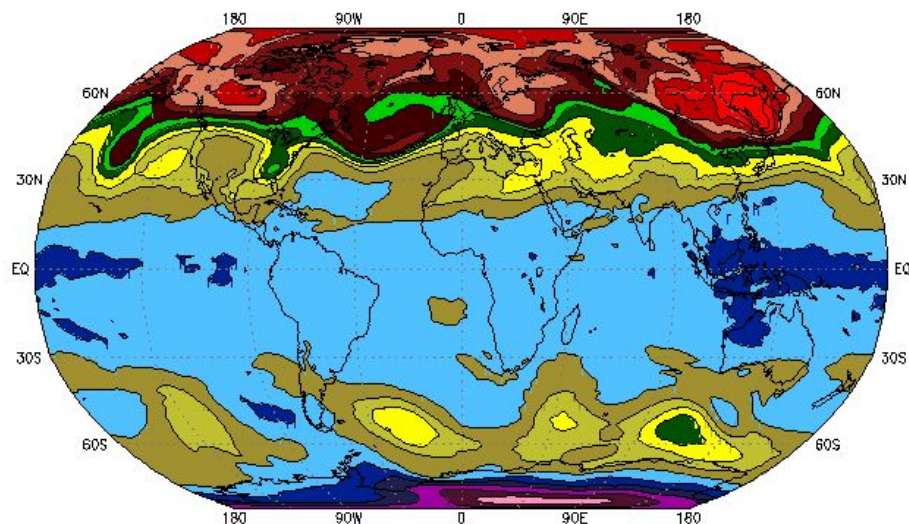
EP/TOMS Total Ozone Mar 21, 2001

FNL Total Ozone analysis (DU)
Valid: 00Z21MAR2001 to 18Z21MAR2001



Dark Gray < 100, Red > 500 DU

GSFC/916



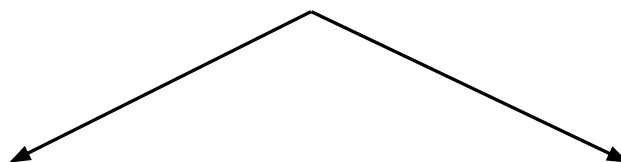
Задача численного детерминированного прогноза погоды

- 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 L80	30 km L80	15 km L70	15 km L70	tbd	tbd
HMC (Russia)	T189 L31; 0.72°x0.9° L50	T189 L31; 0.37°x0.45° L50	T339 L63; 0.19°x0.225° L80	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°x0.30°) L80	(0.45°x0.30°) L80	(0.45°x0.30°) L80	(0.45°x0.30°) 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 L80	T _L 959 L80	T _L 959 L80	tbd	tbd	tbd
CMA (China)	T _L 639 L80 GRAPES 50 km L31	T _L 639 L80 GRAPES 50 km L31	T _L 639 L80 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

Численный прогноз погоды



- **Детерминированный прогноз**

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

- **Ансамблевый прогноз**

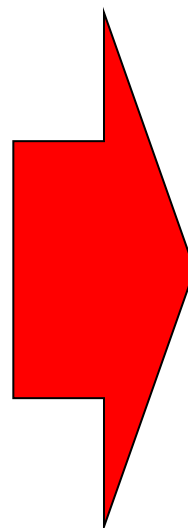
Многократное интегрирование одной или нескольких моделей атмосферы с использованием слегка различающихся данных о начальном состоянии атмосферы

Требует существенно больше компьютерных ресурсов!!!!

Улучшение качества
наблюдений и увеличение
их количества

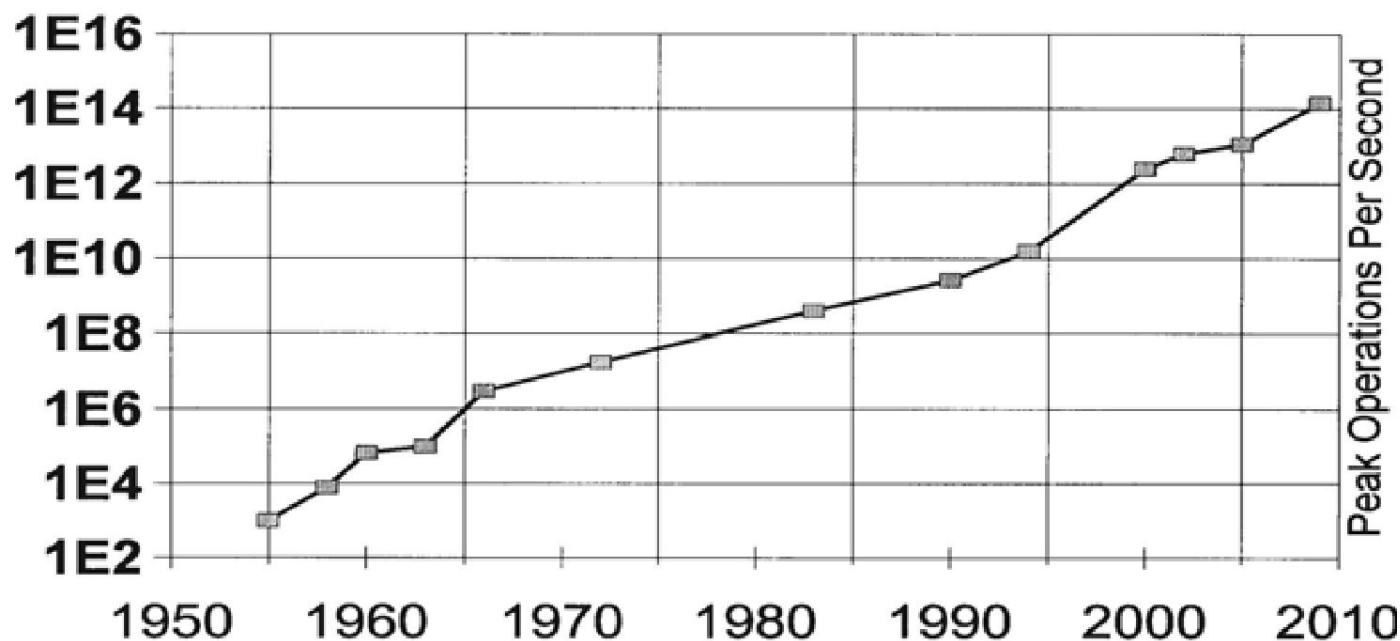
Усовершенствование
моделей атмосферы

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*



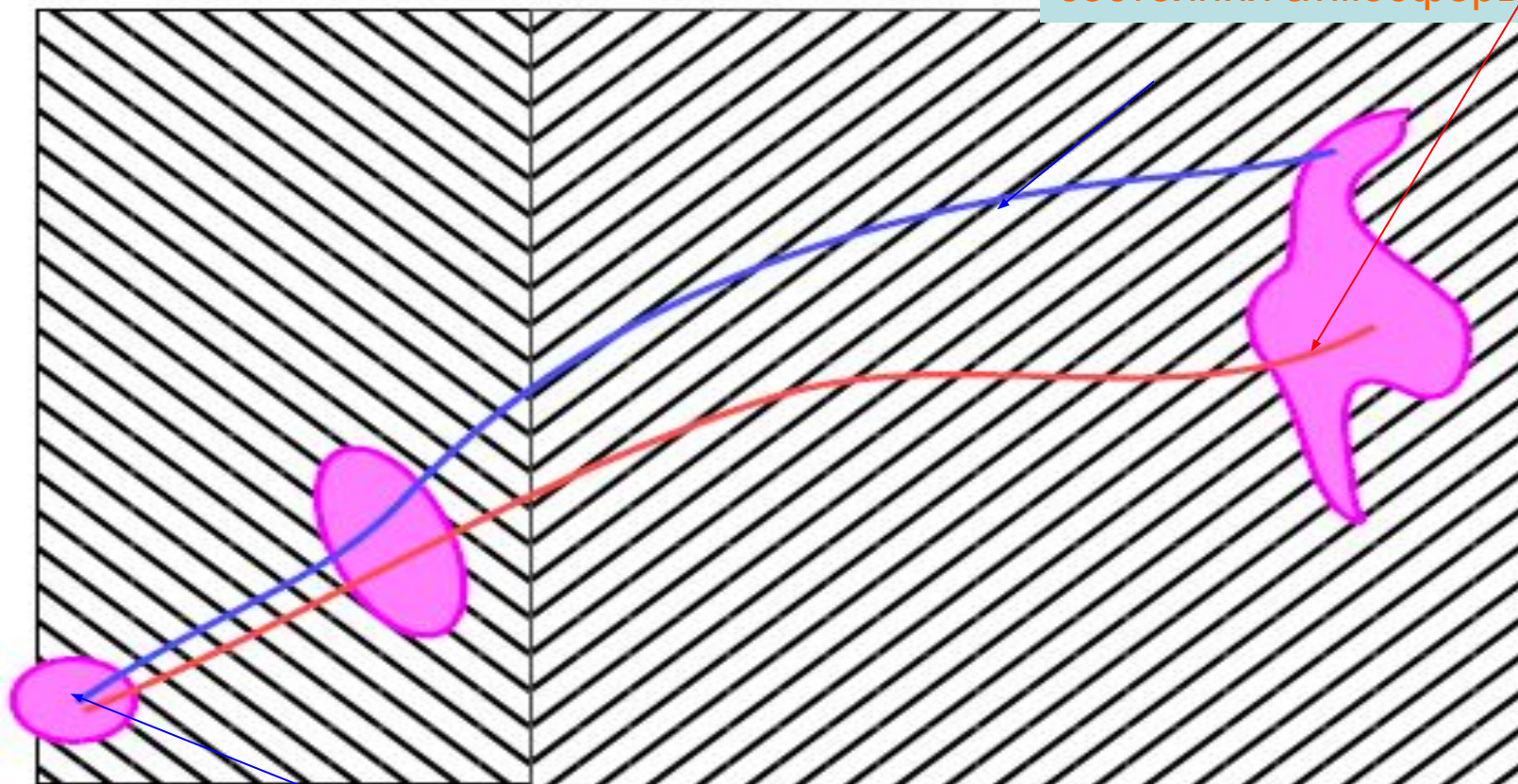
ПРОГНОЗАМ ПОГОДЫ ПРИСУЩА ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

Эволюция ошибок в начальном состоянии атмосферы

Линейный режим

Нелинейный режим

Истинная эволюция
состояния атмосферы



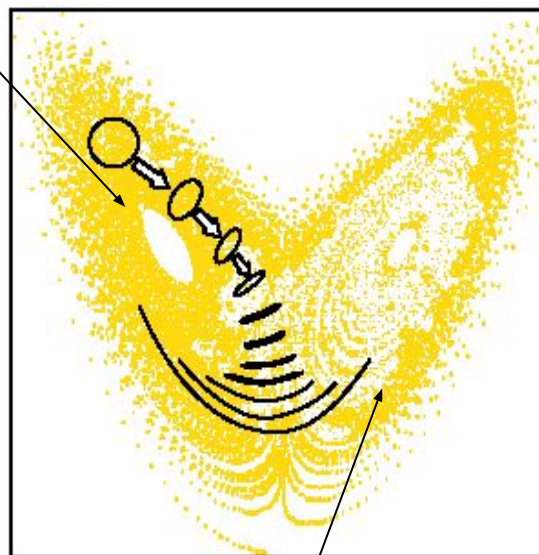
Заблаговременность
прогноза

Детерминированный прогноз от наиболее точно
определенного начального состояния

ПРОГНОЗАМ ПОГОДЫ ПРИСУЩА ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

Качество прогноза зависит от ситуации

Режим 1: сухо и тепло



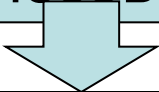
Buizza 2002

Режим 2: холодно и сыро

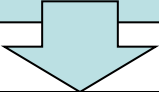
Хорошо предсказуемая ситуация

Плохо предсказуемая ситуация

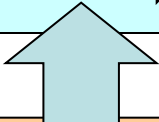
Качество прогнозов
падает
с
заблаговременностью
прогнозов



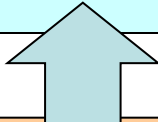
Качество прогнозов
зависит
от ситуации



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

Неточность
данных
о состоянии
поверхности
Земли

Неточность
модели
атмосферы

Бридинг
Ансамблевые трансформации
Сингулярные вектора
Системное моделирование

Системное моделирование
Варьирование характеристик
поверхности

Стохастическая физика
Мультимодельность
Вариации параметризаций

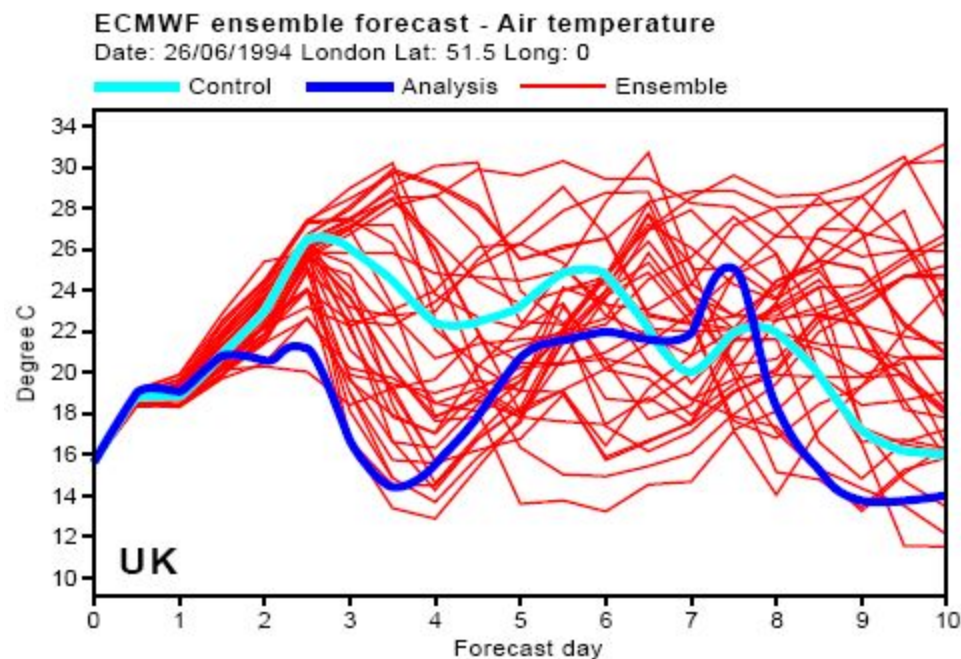
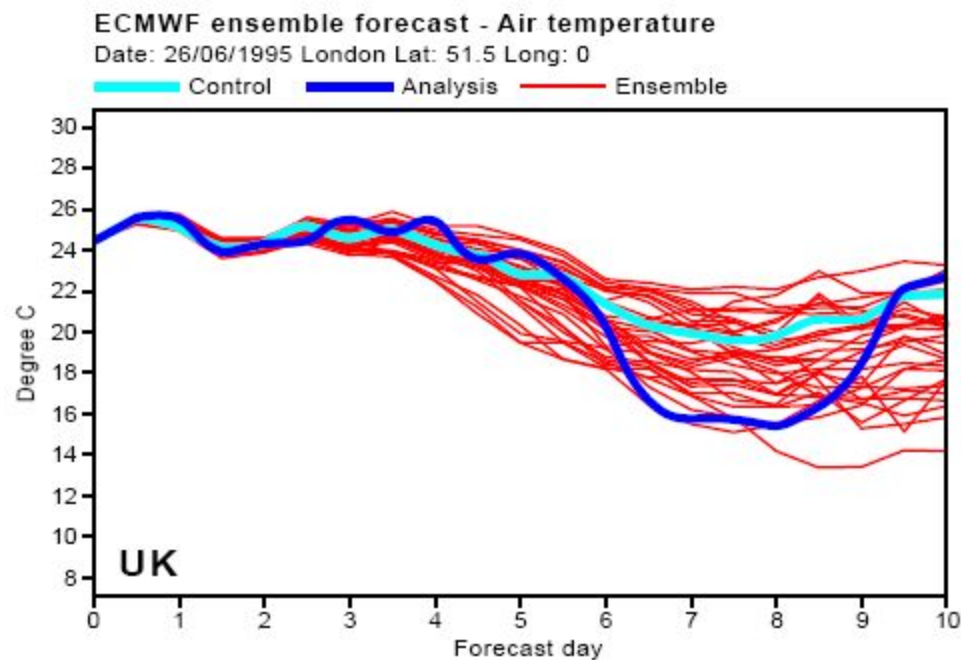
Основные ансамблевые системы среднесрочного прогноза

	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

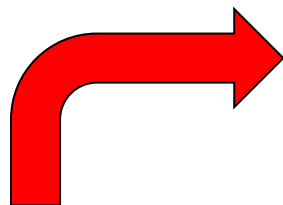
Выгоды использования ансамбля

- 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

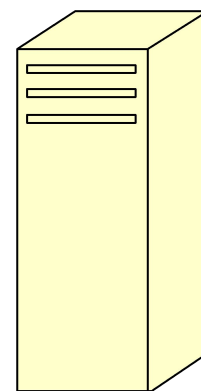
T85L31

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

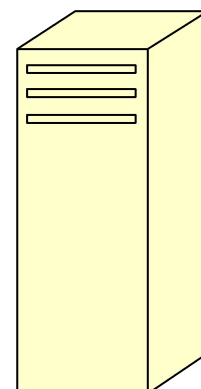
T213L31

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

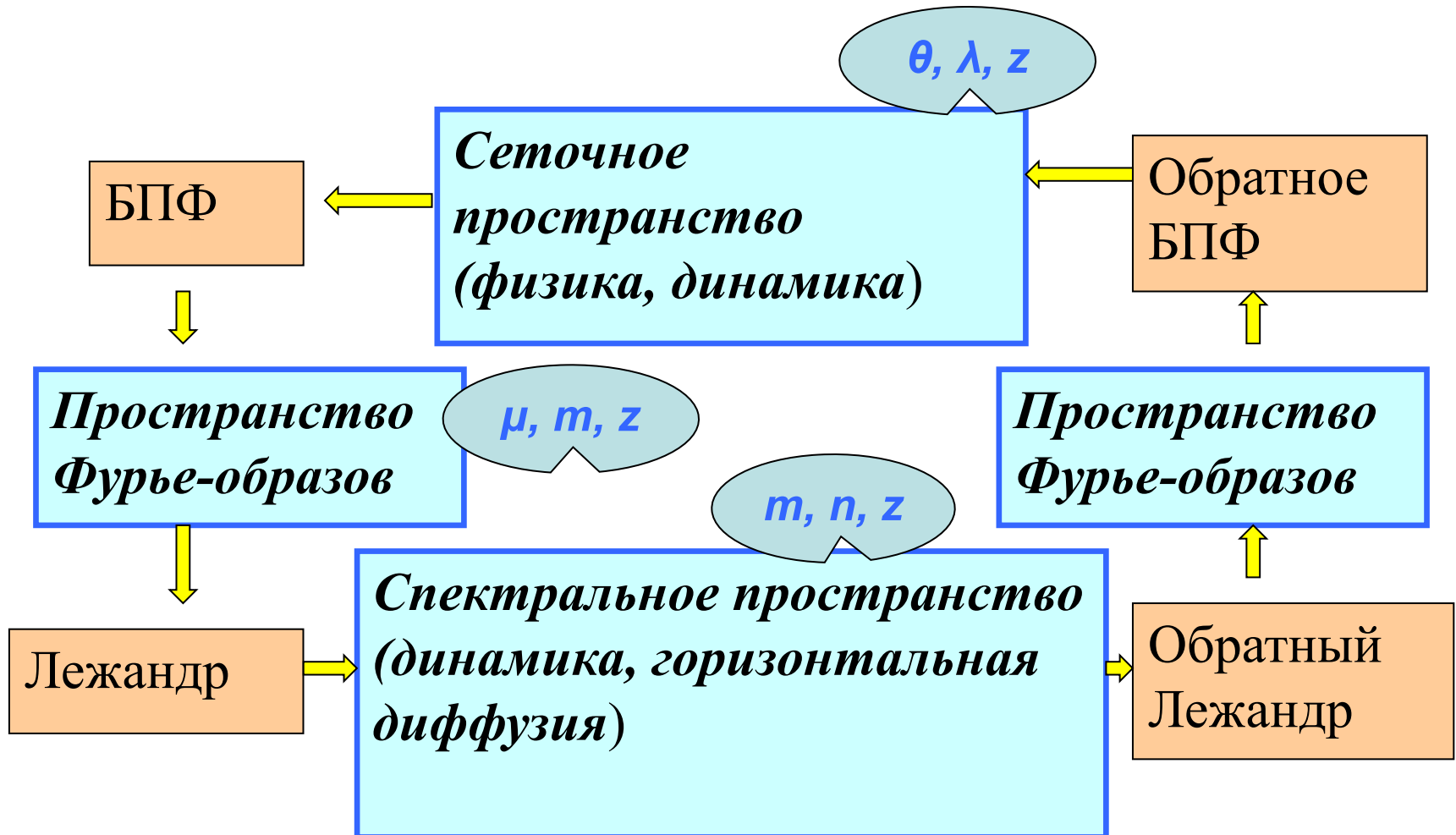
Квази-оперативные и оперативные прогностические модели Гидрометцентра России

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

Преимственность систем детерминированного и вероятностного численного прогнозирования

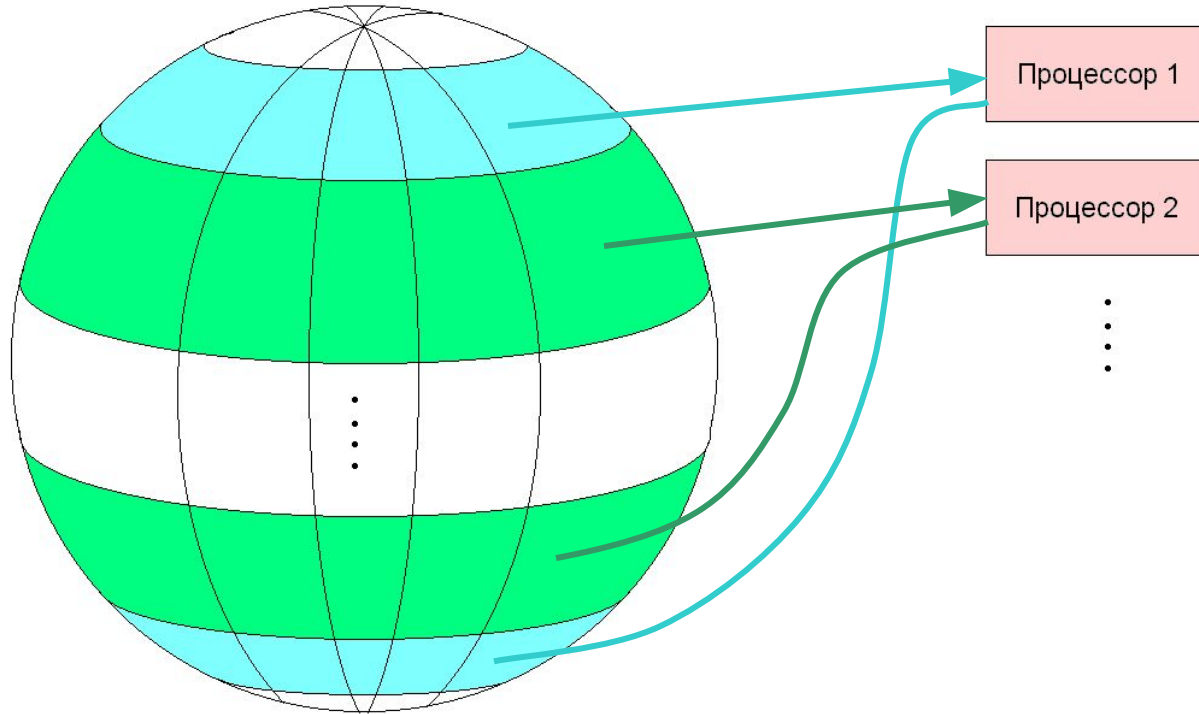


Метод спектральных преобразований



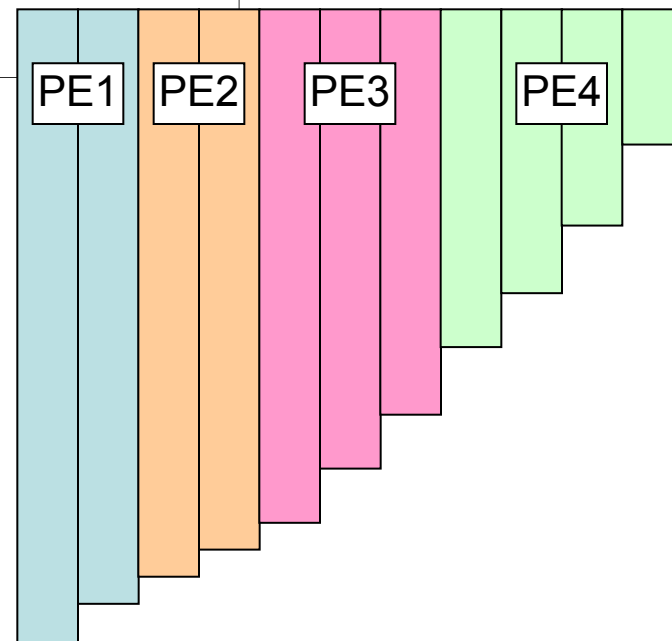
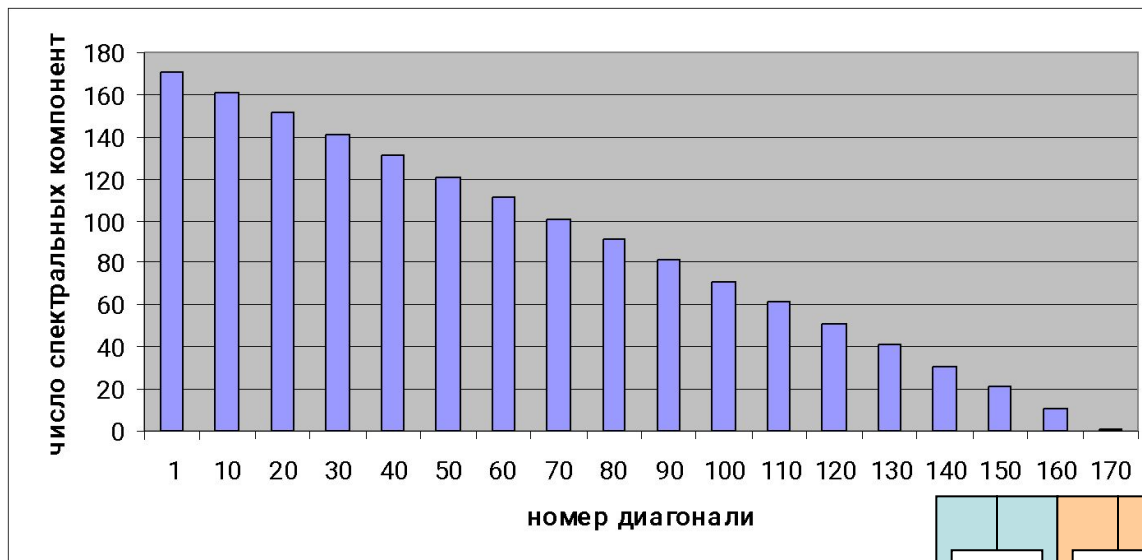
Спектральная модель:

Пространственная декомпозиция области расчетов в сеточном пространстве



Спектральная модель:

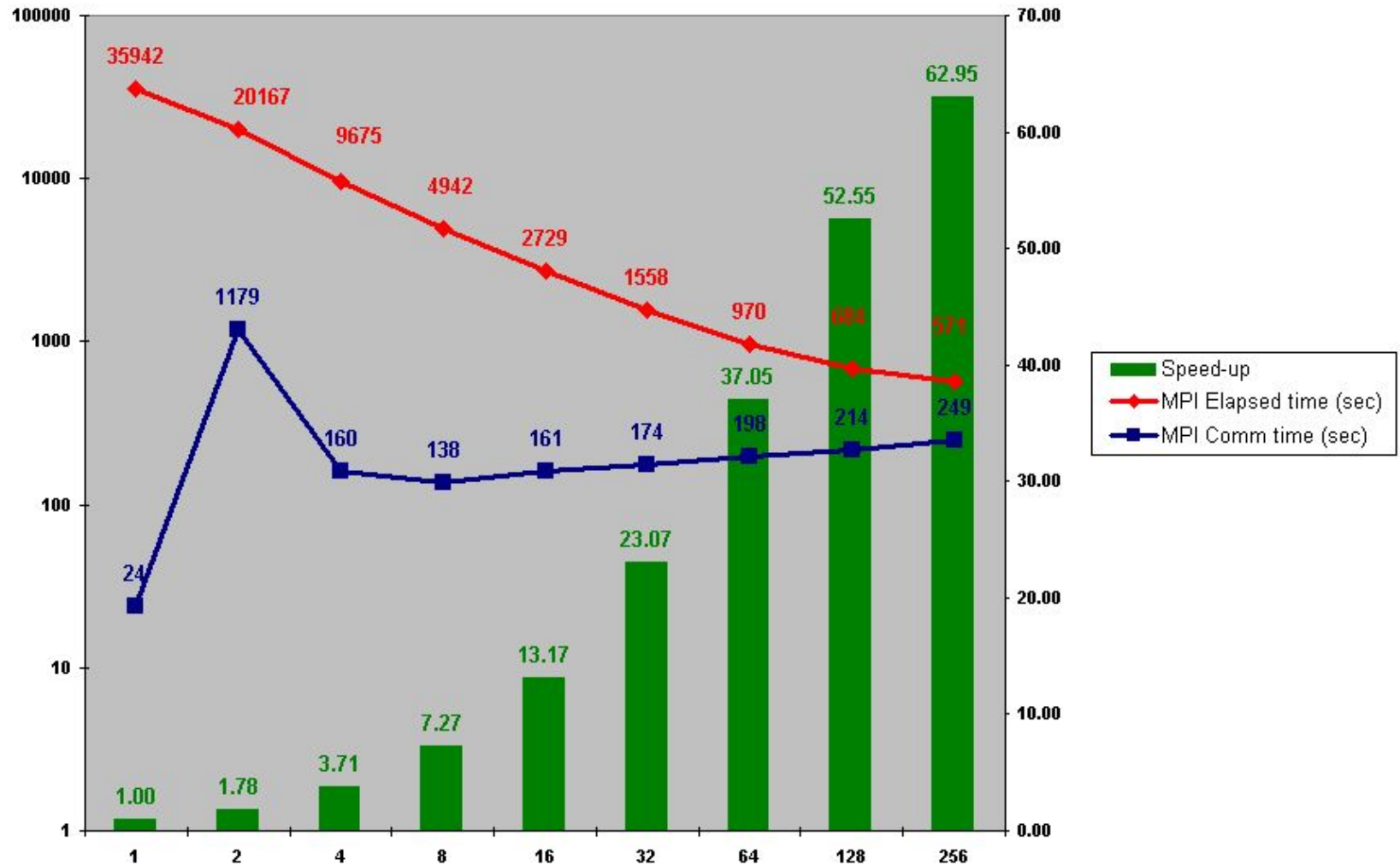
Декомпозиция области расчетов в спектральном пространстве



T339L31. 24-часовой прогноз. 2х-ядерный p575 1.5 ГГц

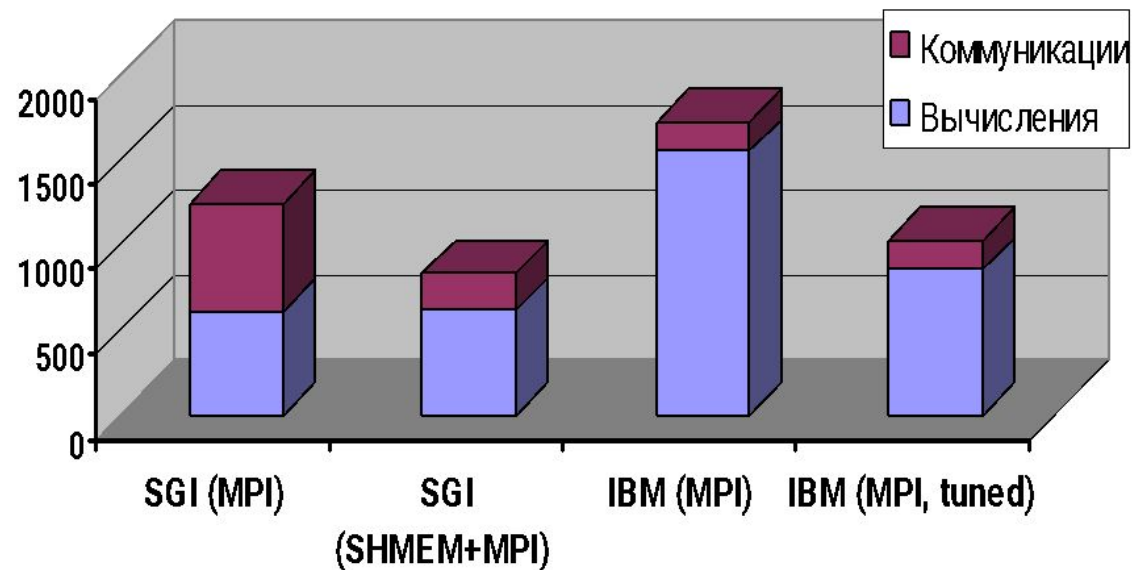
time (sec)
log scaling

Performance and Scalability of test339 on p575 @ 1.5GHz / HPS

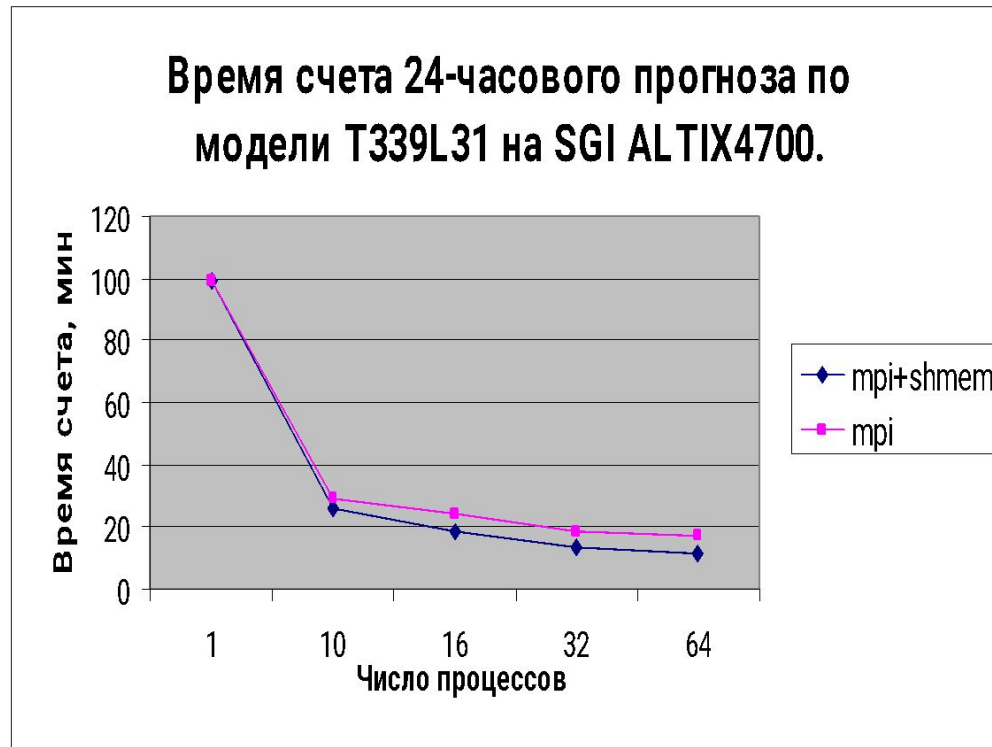


Соотношение времени счета и коммуникаций для модели T339 для 32 процессоров

Время (сек)



Спектральная модель:



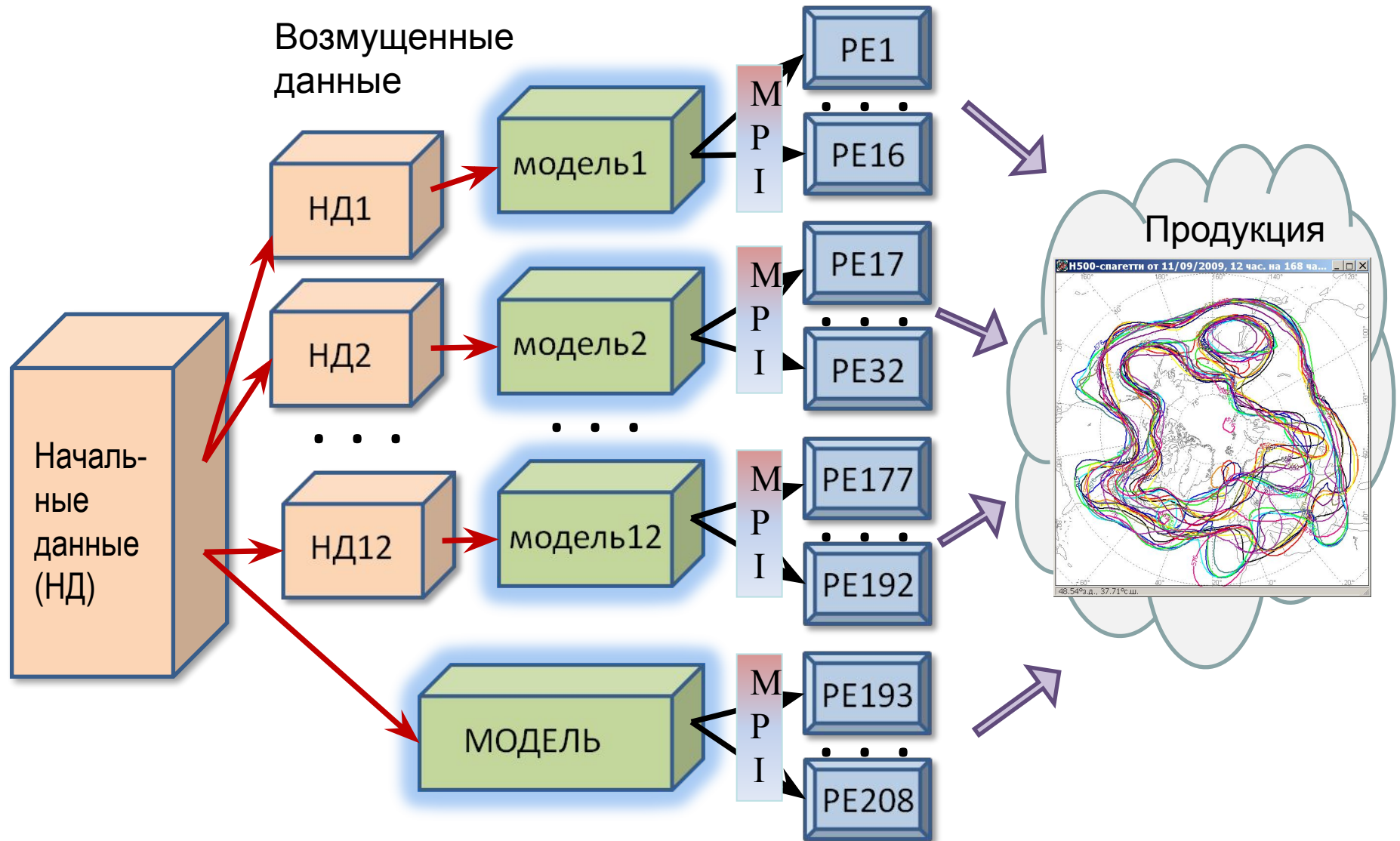
Суточный прогноз
должен быть готов
за ~20 мин

На 1 PE ~100 мин

На 16 PEs ~18 мин
(без SHMEM ~23 мин)

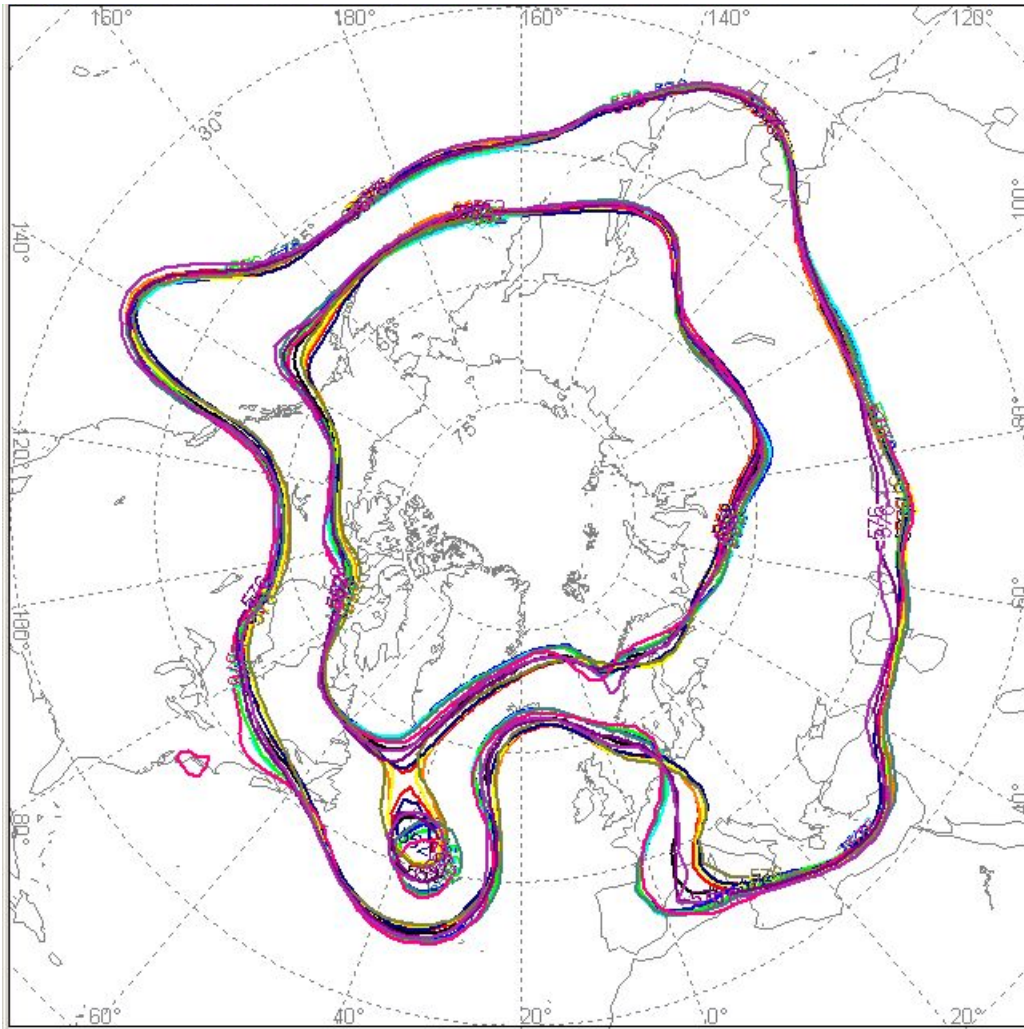
На 64 PEs ~ 11 мин

Конфигурация ансамблевой системы прогноза



«Спагетти»

H500 (516, 552, 576 гПм)



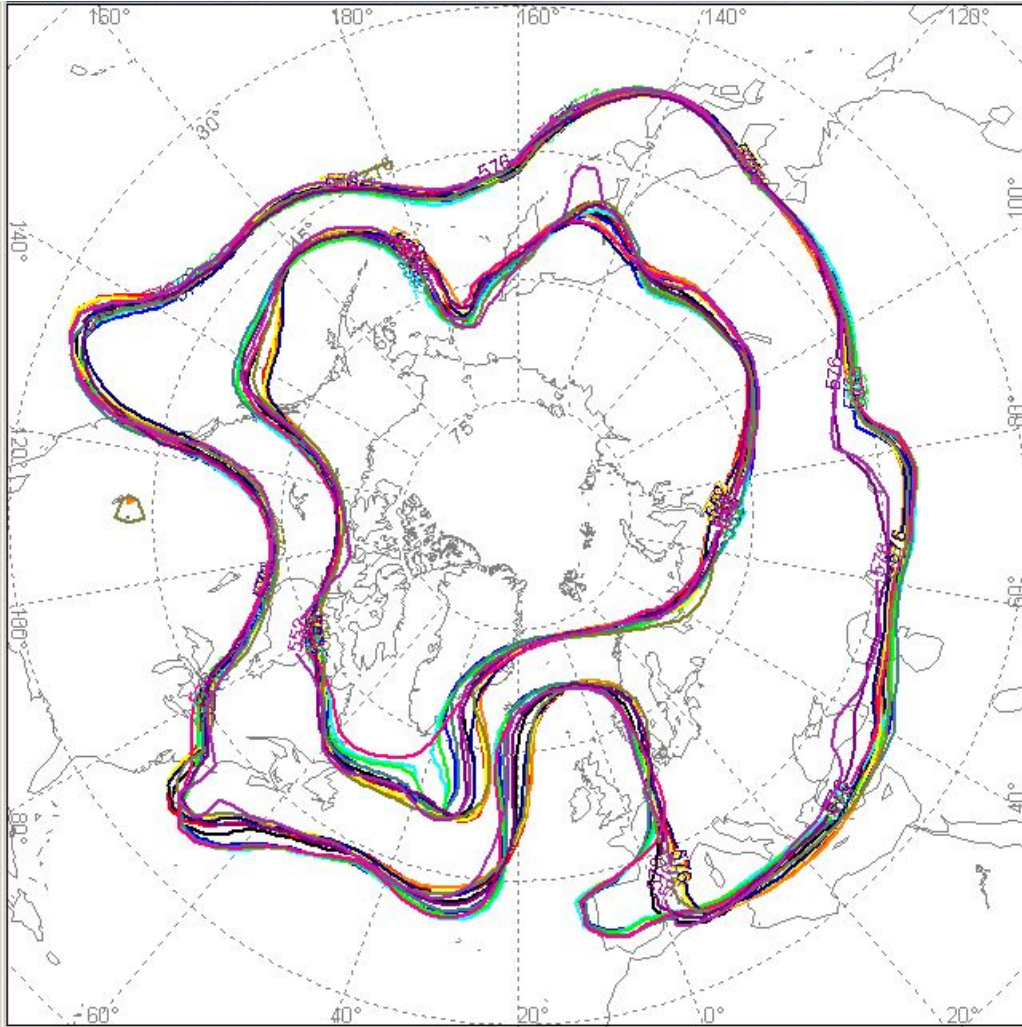
Прогноз на 1 день вперед

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

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза



«Спагетти» H500 (516, 552, 576 гпм)



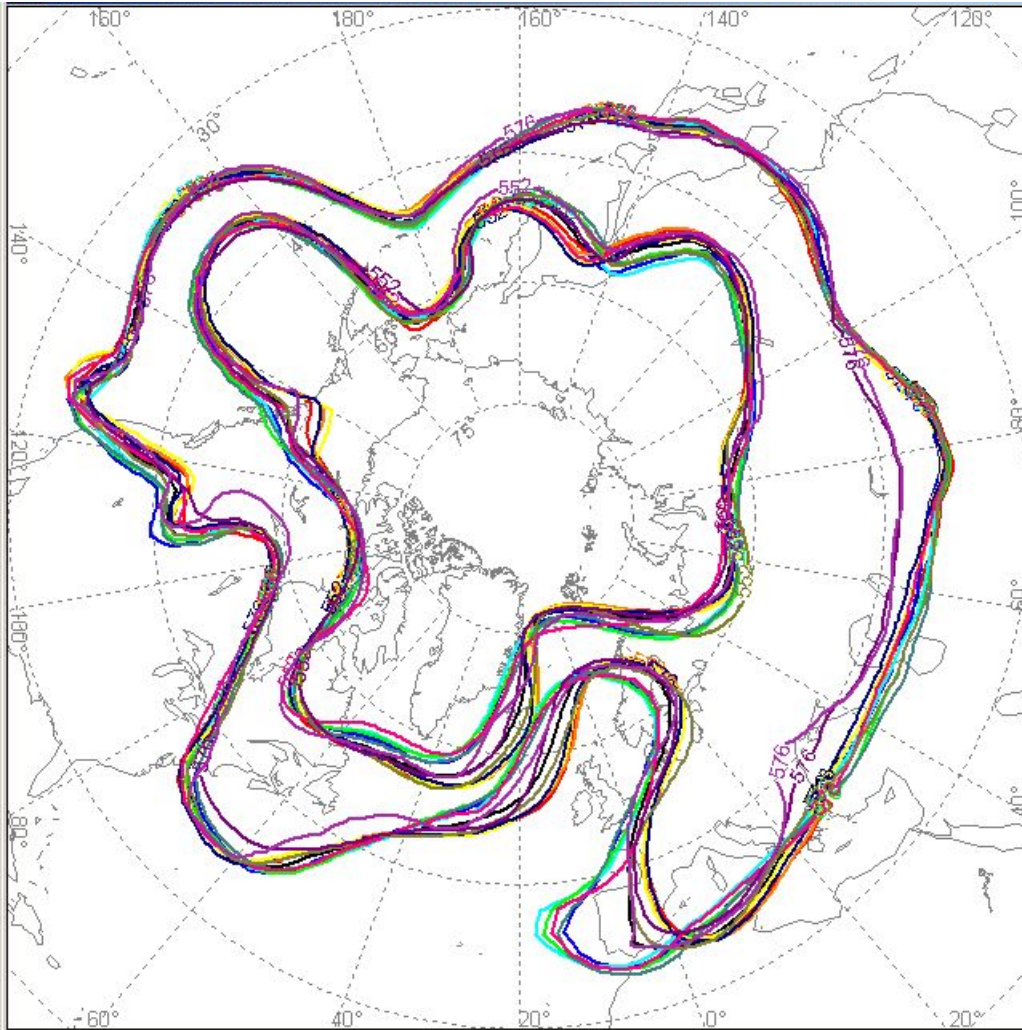
Прогноз на 2 дня вперед

*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

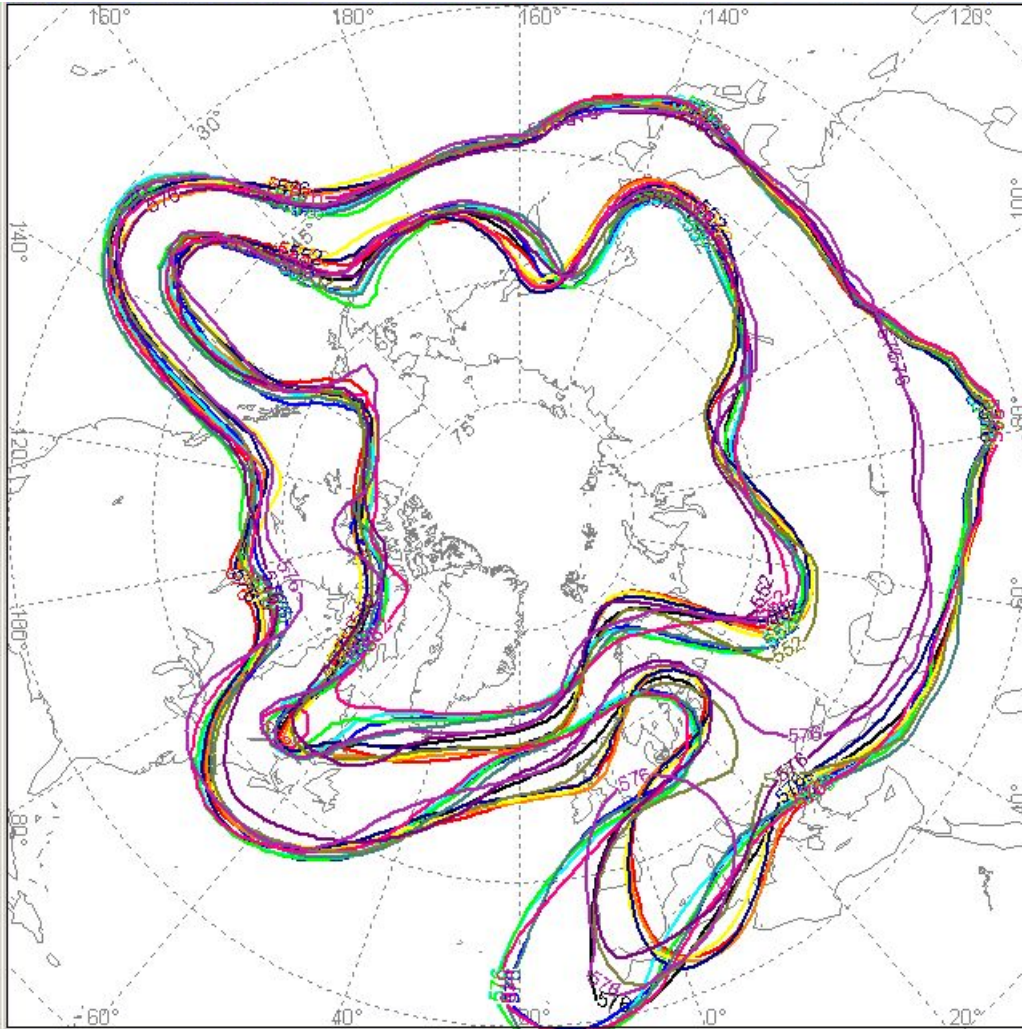
*от 11 сентября 2009 12 ВСВ
на 14 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза



«Спагетти»

H500 (516, 552, 576 гПм)



Прогноз на 4 дня вперед

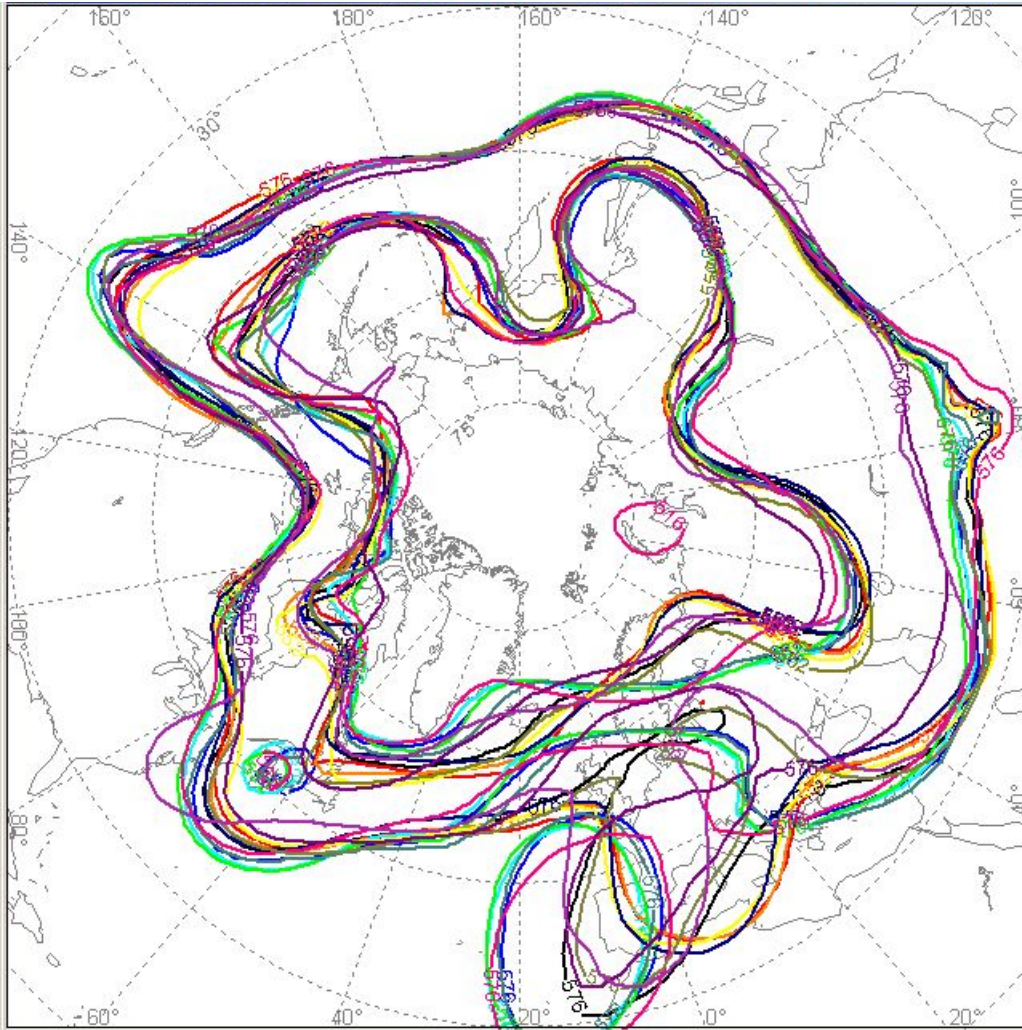
*от 11 сентября 2009 12 ВСВ
на 15 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза



«Спагетти»

H500 (516, 552, 576 гпм)



Прогноз на 5 дней вперед

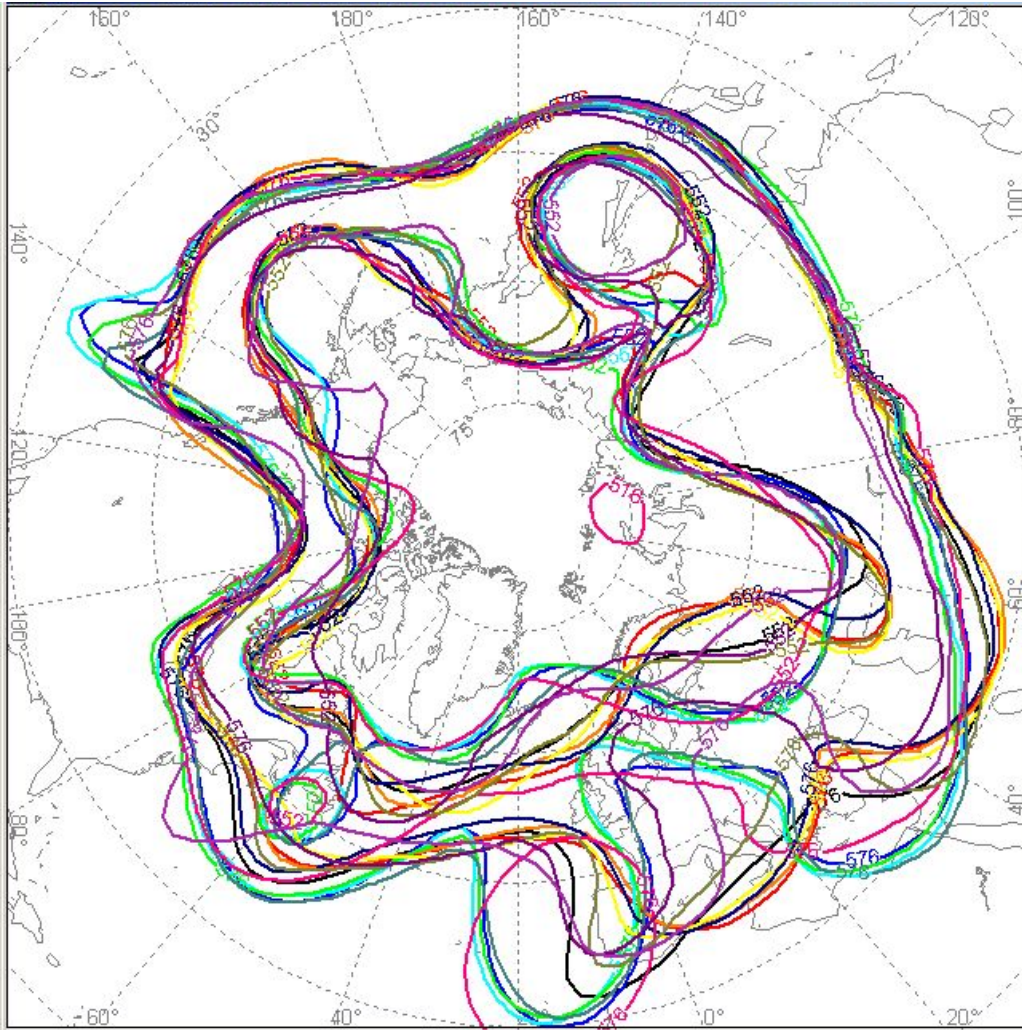
*от 11 сентября 2009 12 ВСВ
на 16 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза



«Спагетти»

H500 (516, 552, 576 гпм)



Прогноз на 6 дней вперед

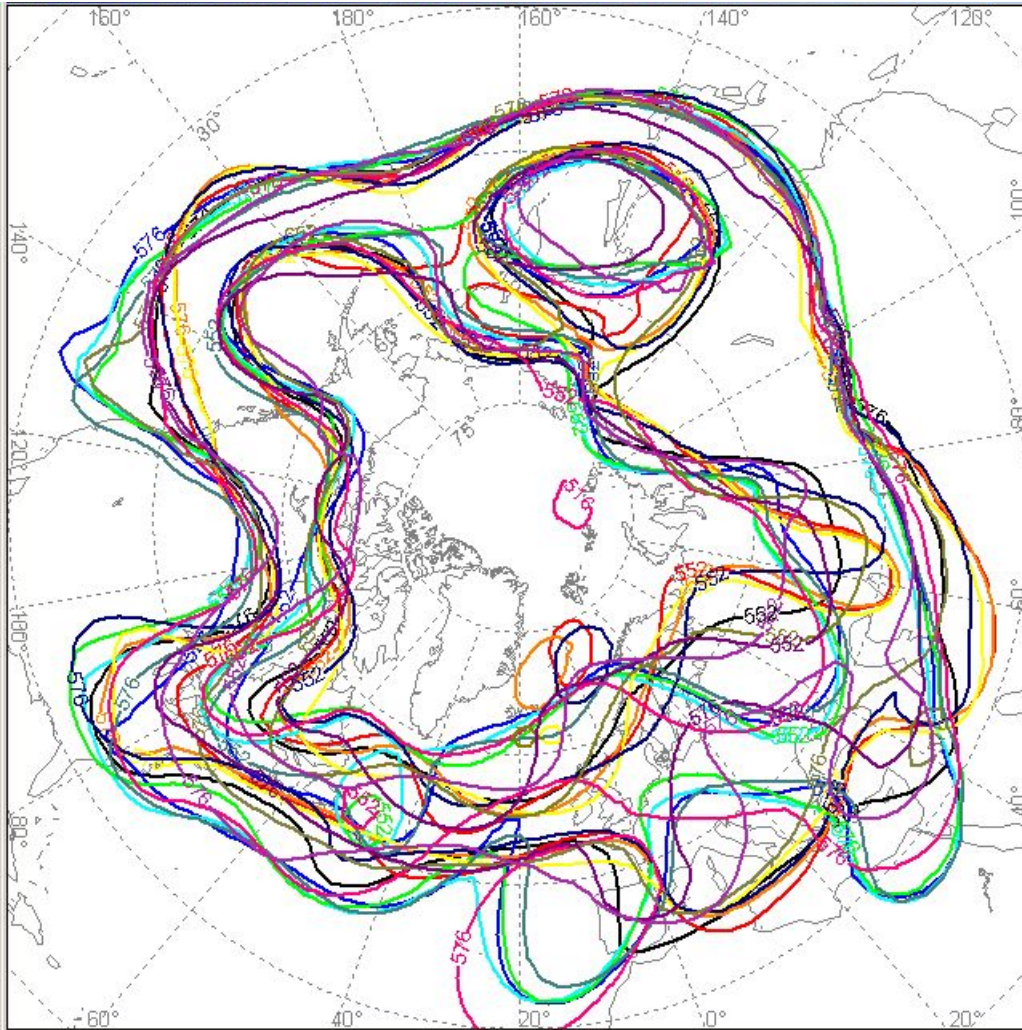
*от 11 сентября 2009 12 ВСВ
на 17 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза



«Спагетти»

H500 (516, 552, 576 гпм)



Прогноз на 7 дней вперед

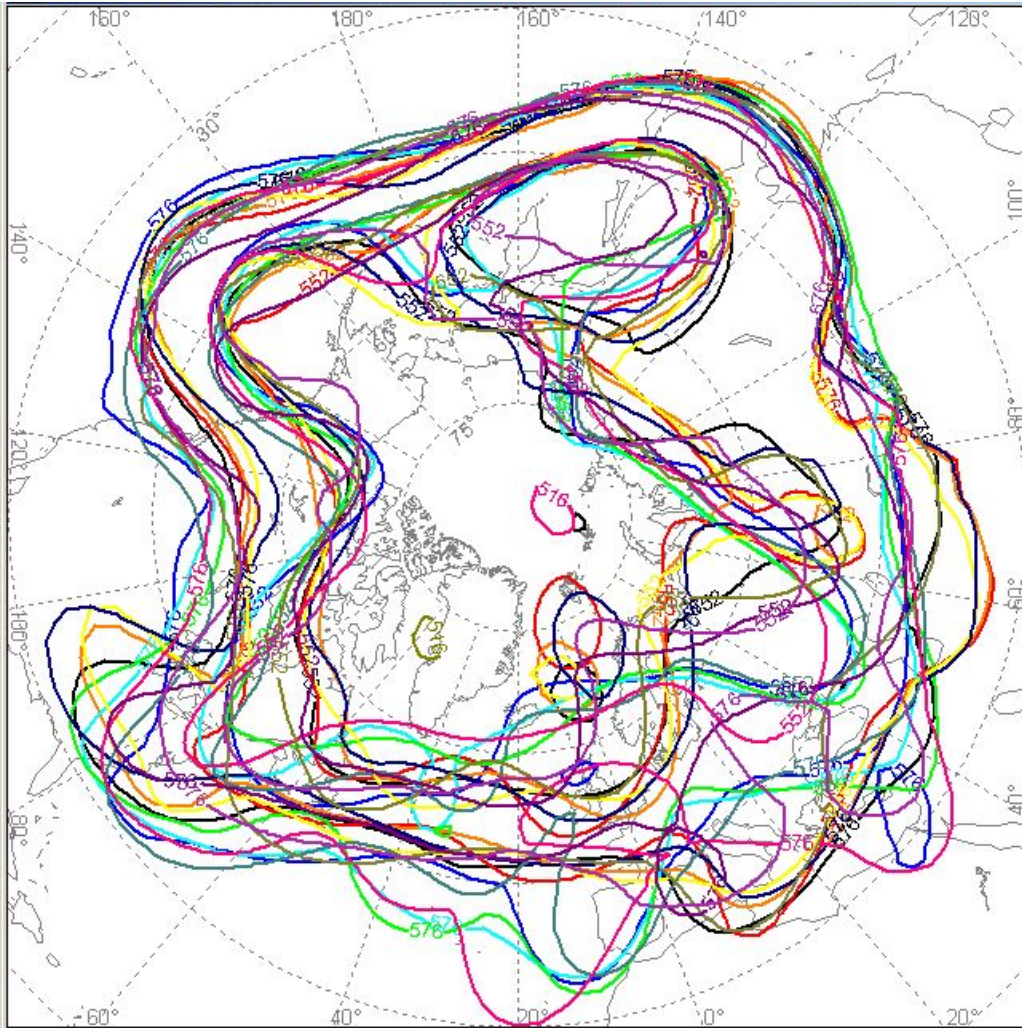
*от 11 сентября 2009 12 ВСВ
на 18 сентября 2009 12 ВСВ*

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза



«Спагетти»

H500 (516, 552, 576 гПм)



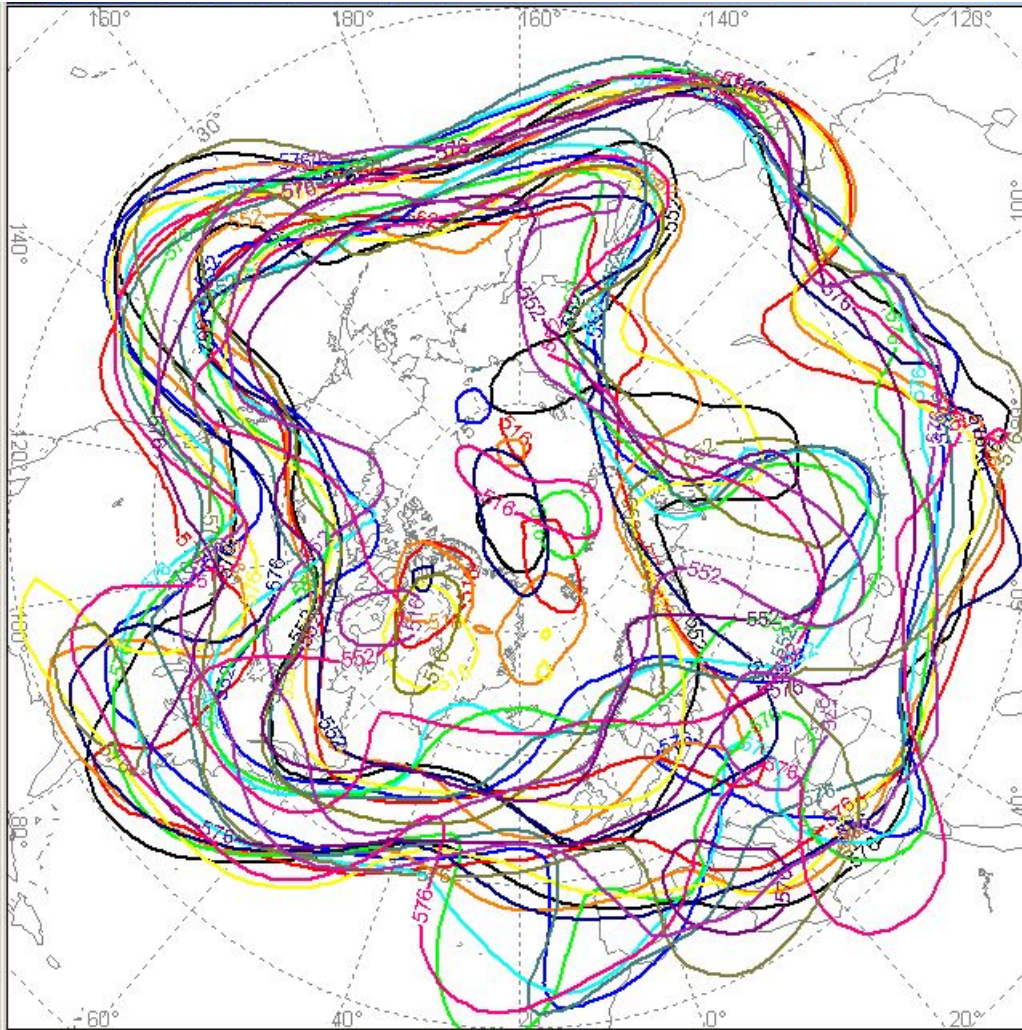
Прогноз на 8 дней вперед

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

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза



«Спагетти» H500 (516, 552, 576 гпм)



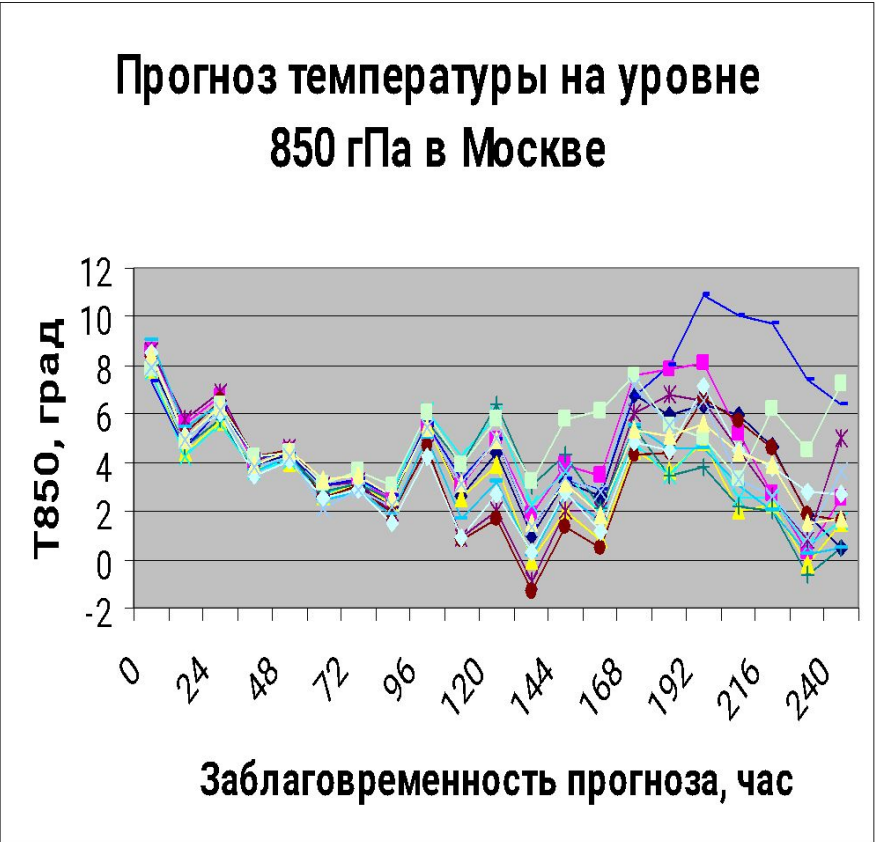
Прогноз на 10 дней вперед

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

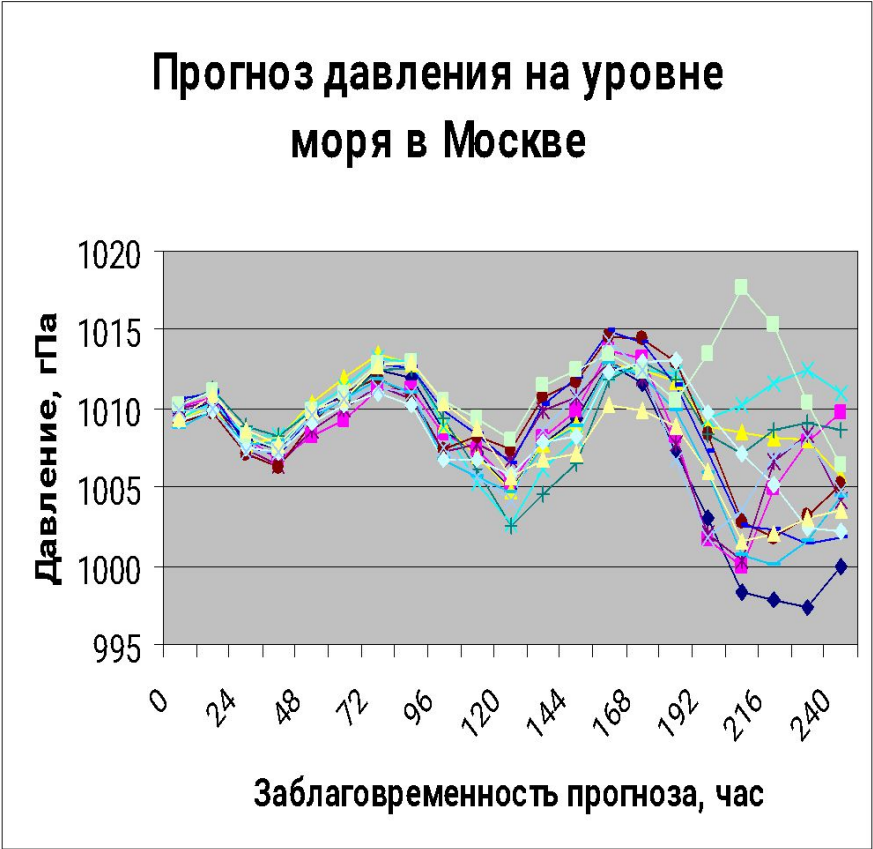
Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза



Прогноз эволюции метеорологической переменной в пункте

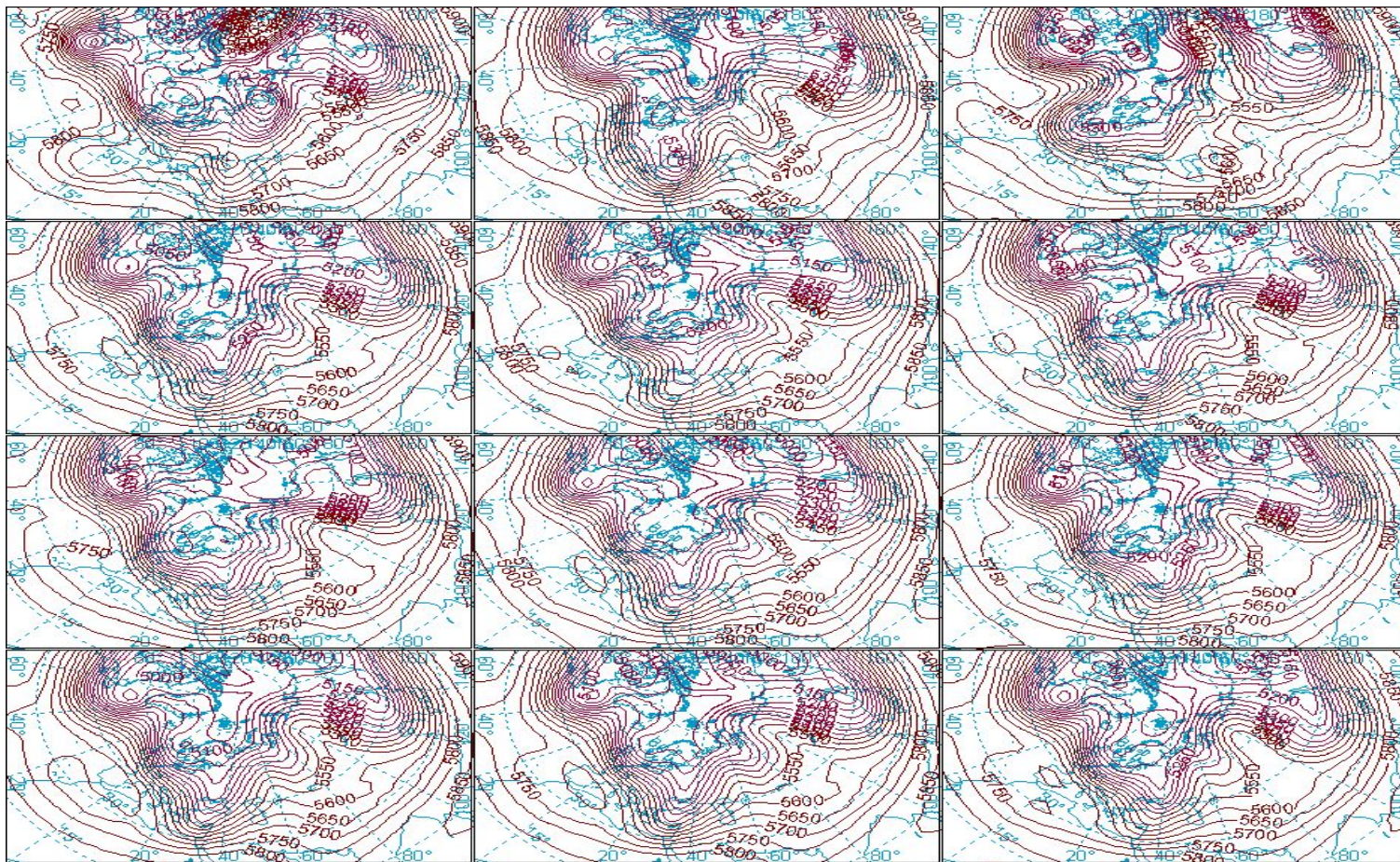


Прогноз от 15 мая 2009



Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

«Почтовые марки».

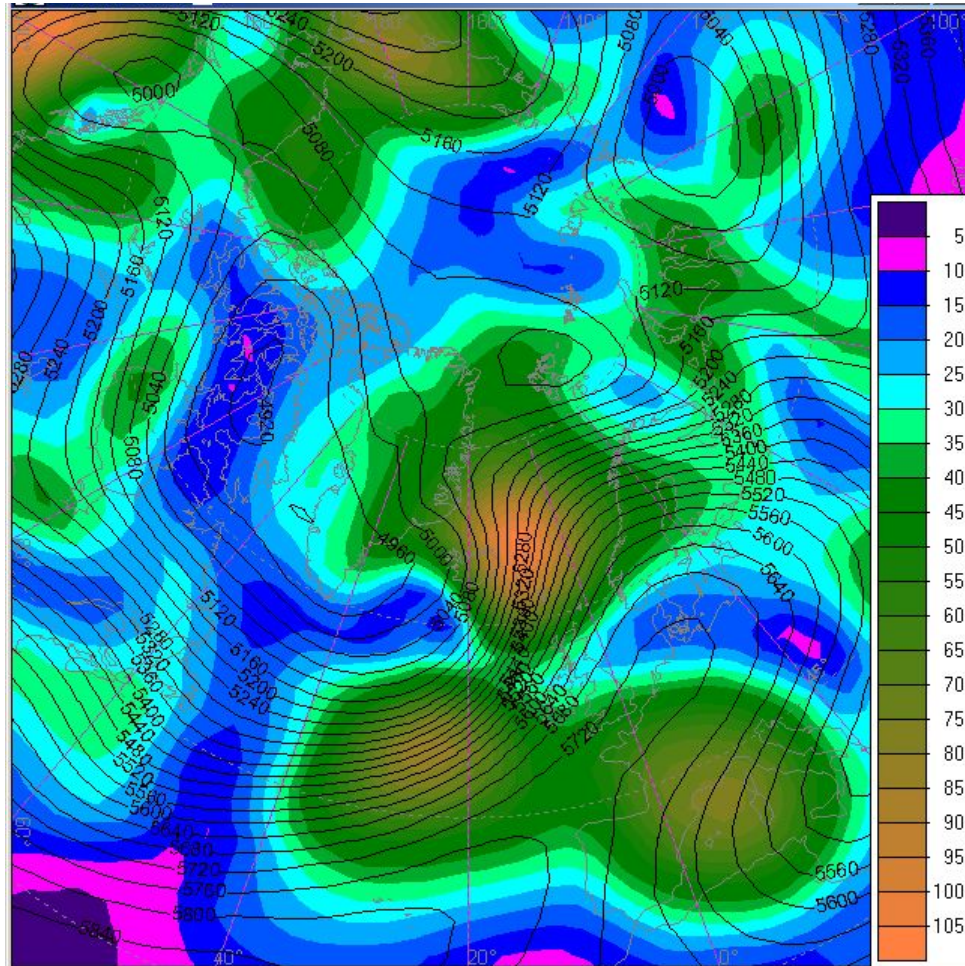


H500

Пример выходной продукции системы ансамблевого прогноза

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

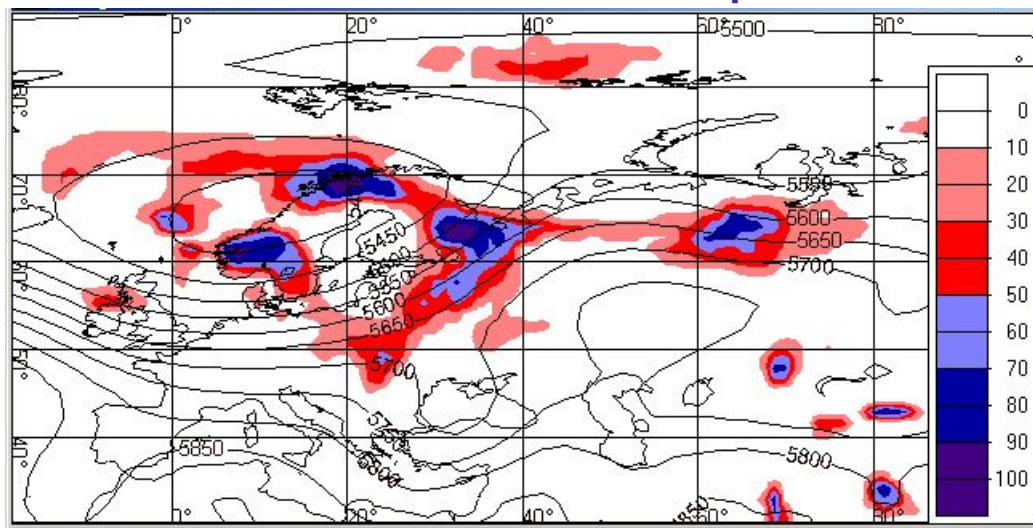
5-сут прогноз на 17/12/2007 12 ВСВ



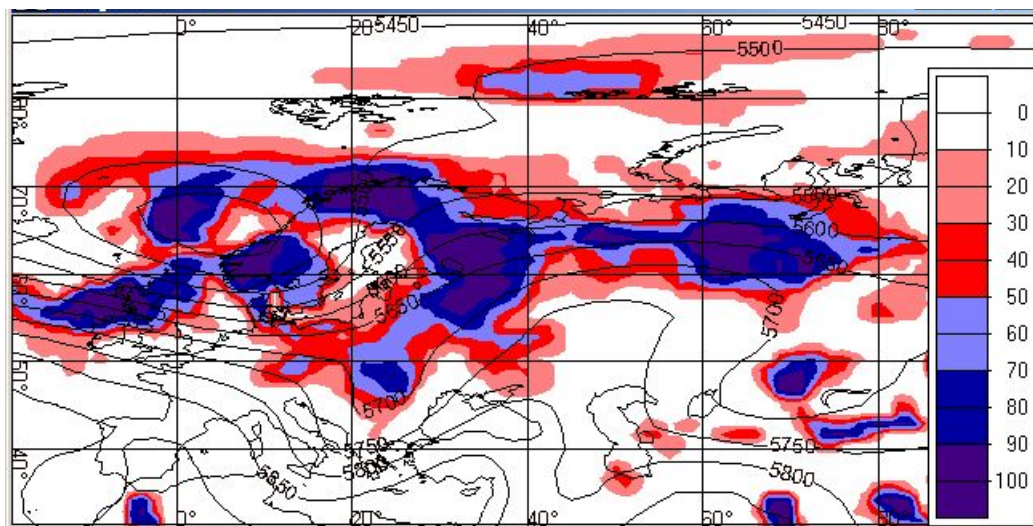
Пример
продукции
ансамблевой
системы

*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 $0,9^\circ$ по долготе, $0,72^\circ$ по широте

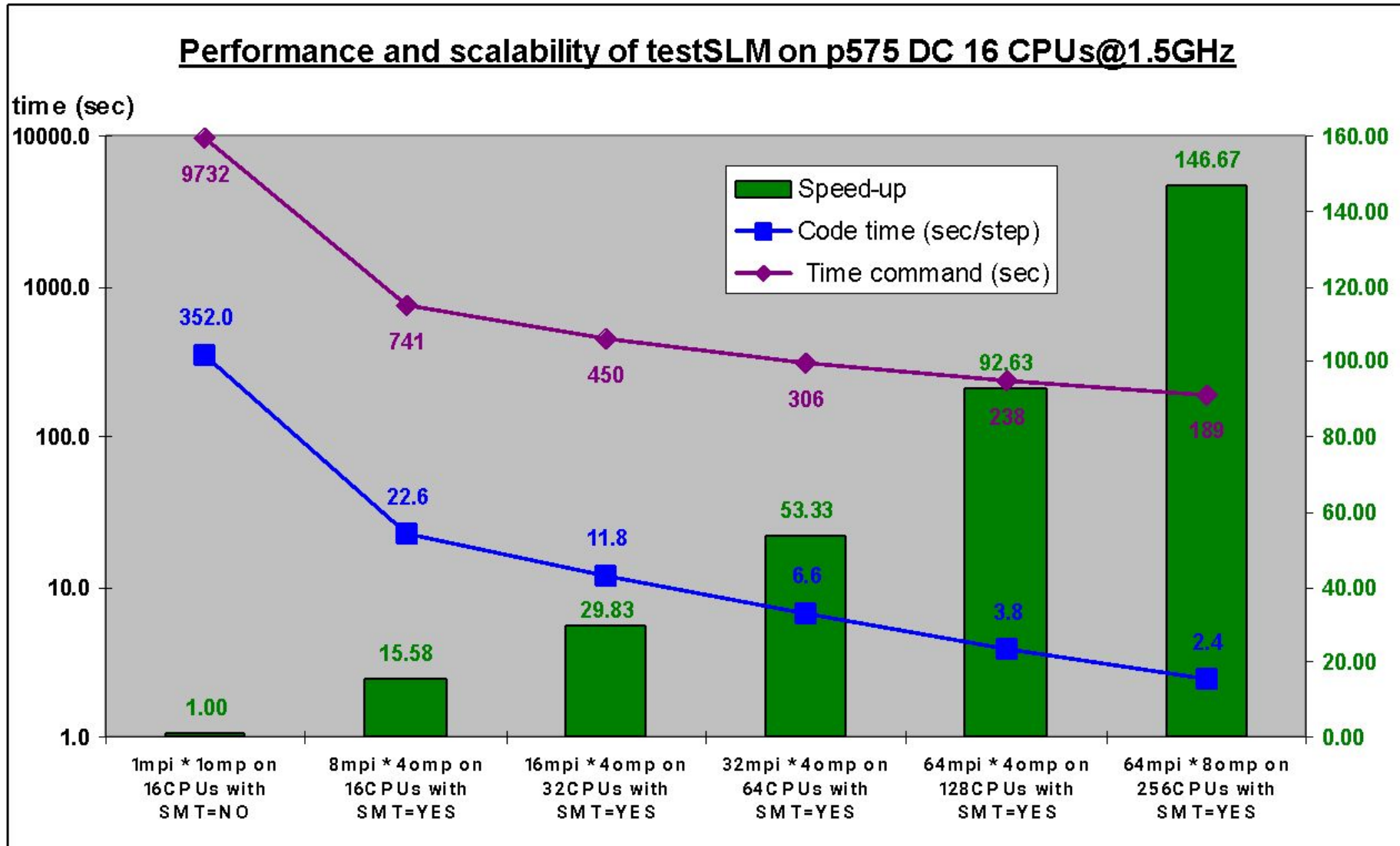
(размерность задачи $400 \times 250 \times 28$)

Одномерная декомпозиция по широте

MPI + OpenMP

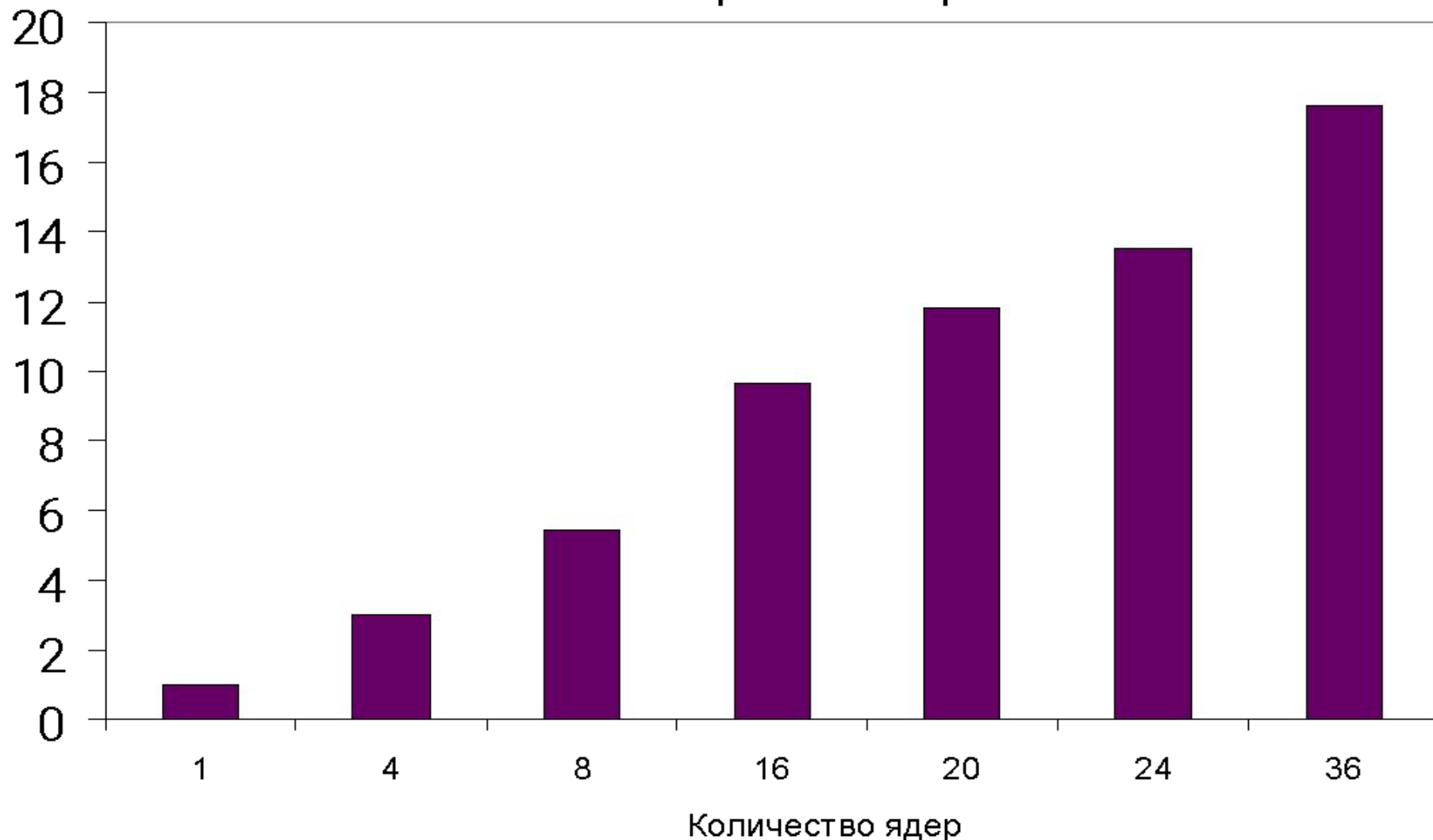
Теоретическая масштабируемость ограничена N_{lat} ; для будущей версии $0,25^\circ \times 0,18^\circ \times 60$ это дает 1000 процессоров

testSLM: Scalability



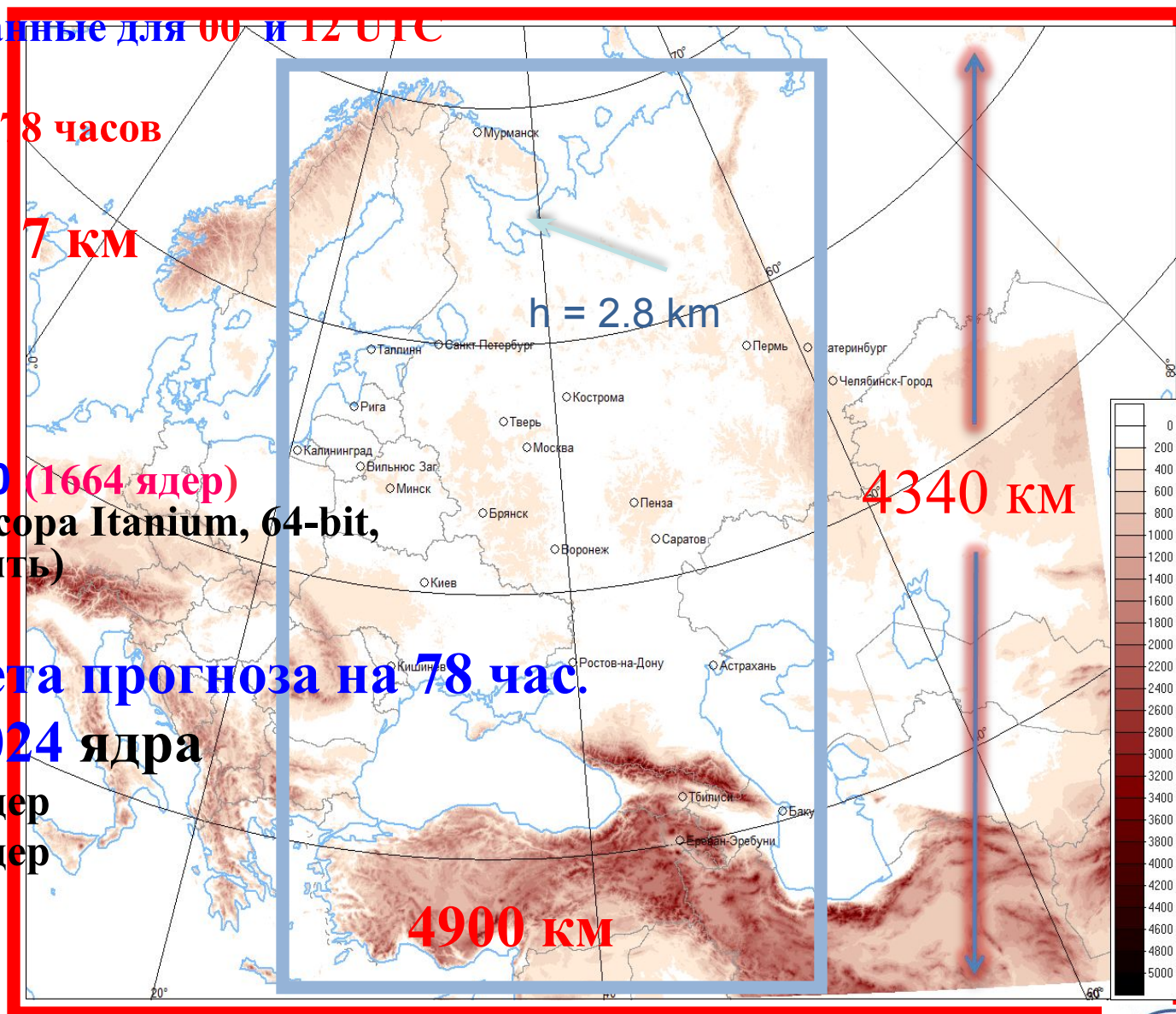
Время расчета прогноза на 1 сут. на 36 ядрах = 22 мин.

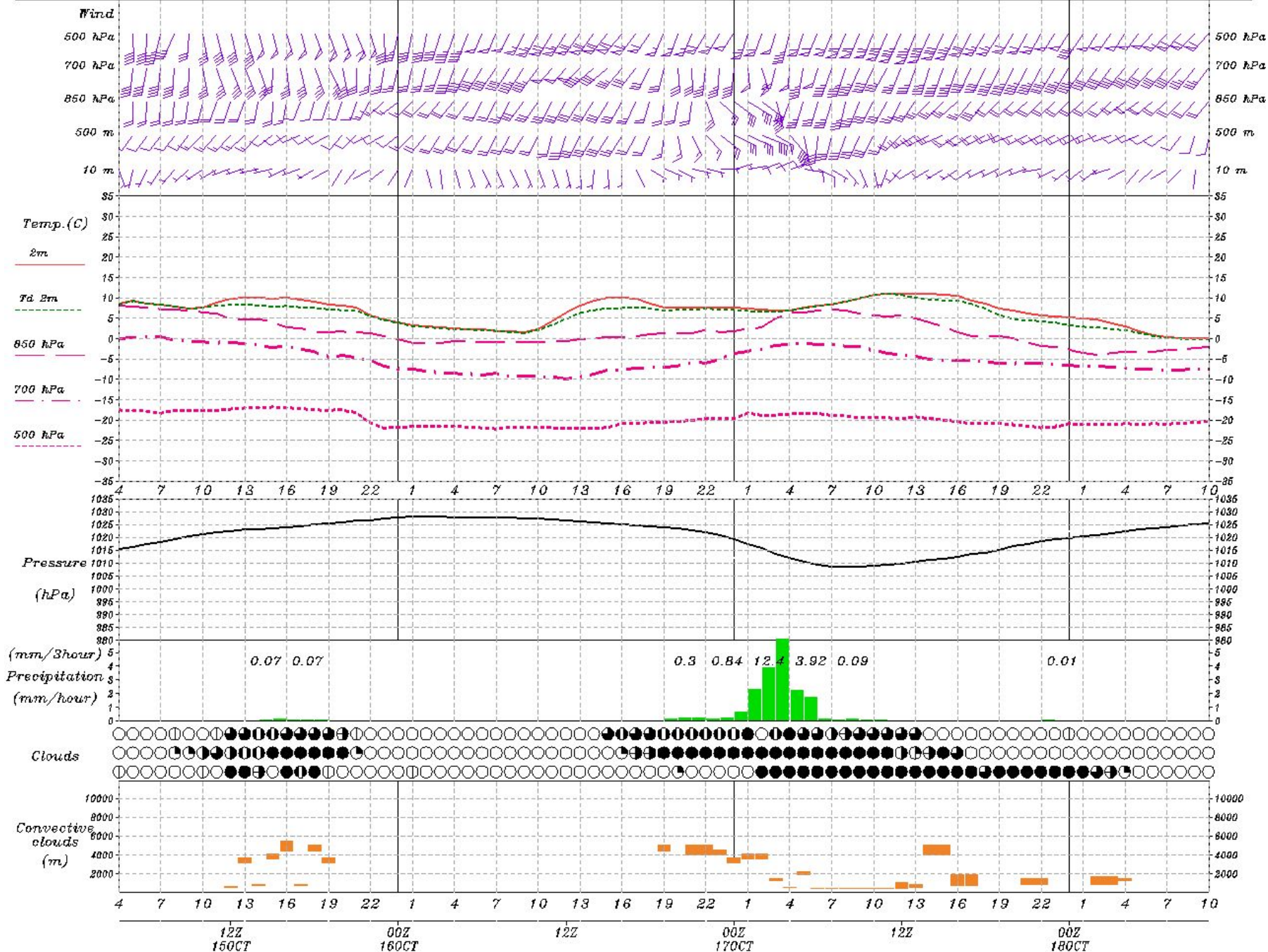
Параллельное ускромление модели SLM4537L50 на SGI
Altix 4700 в режиме OpenMP



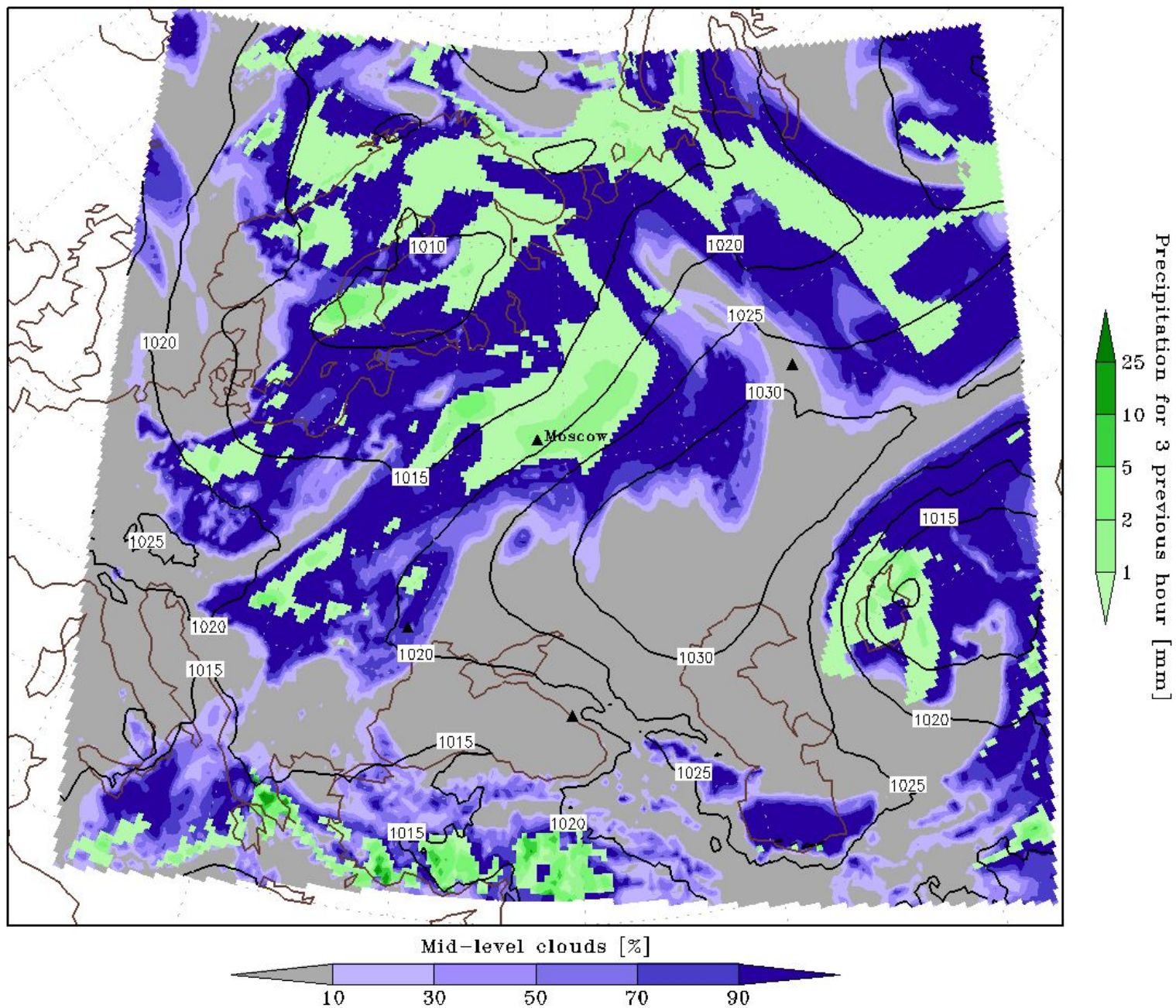
COSMO-RU07: область интегрирования и характеристики модели

- 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

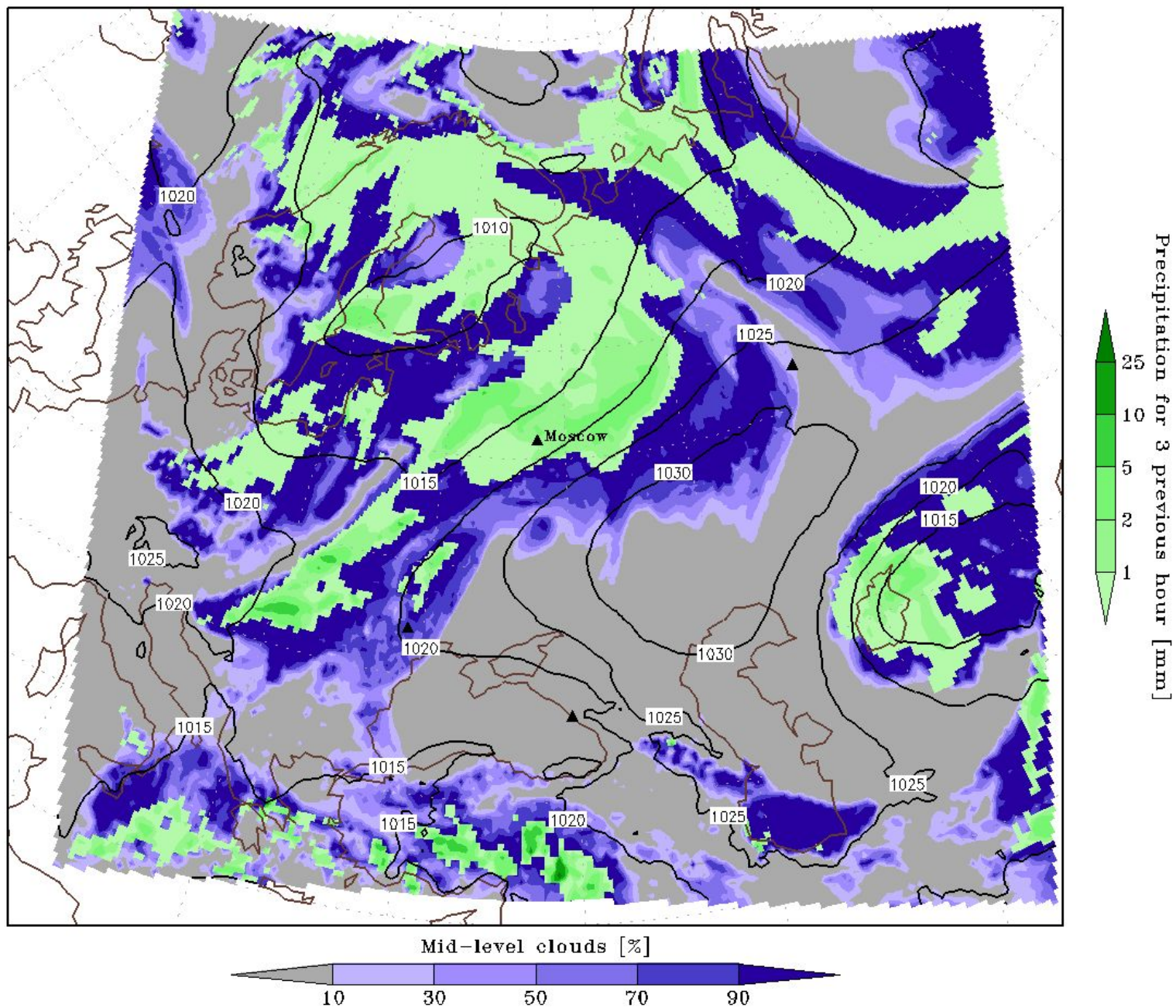




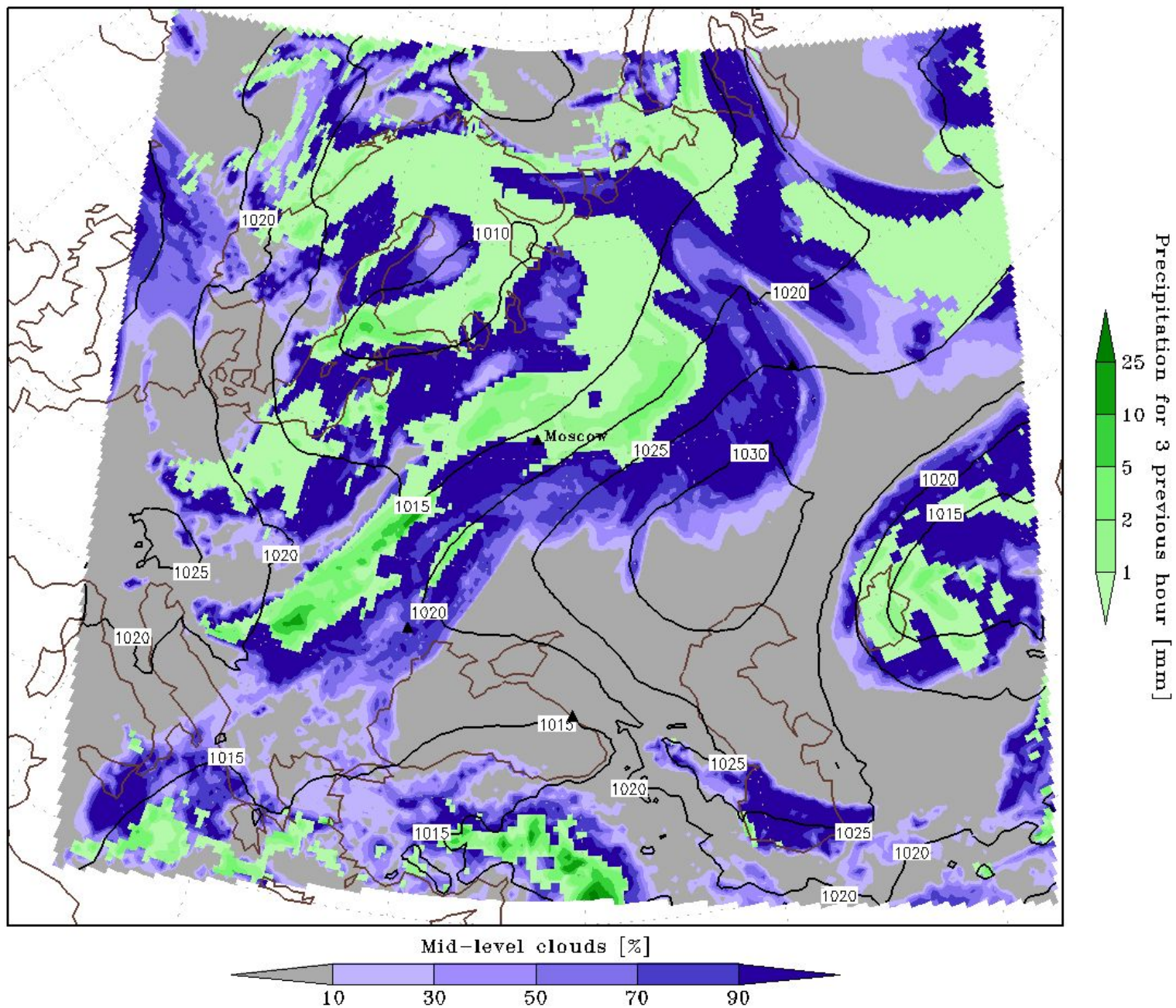
Forecast on 03 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



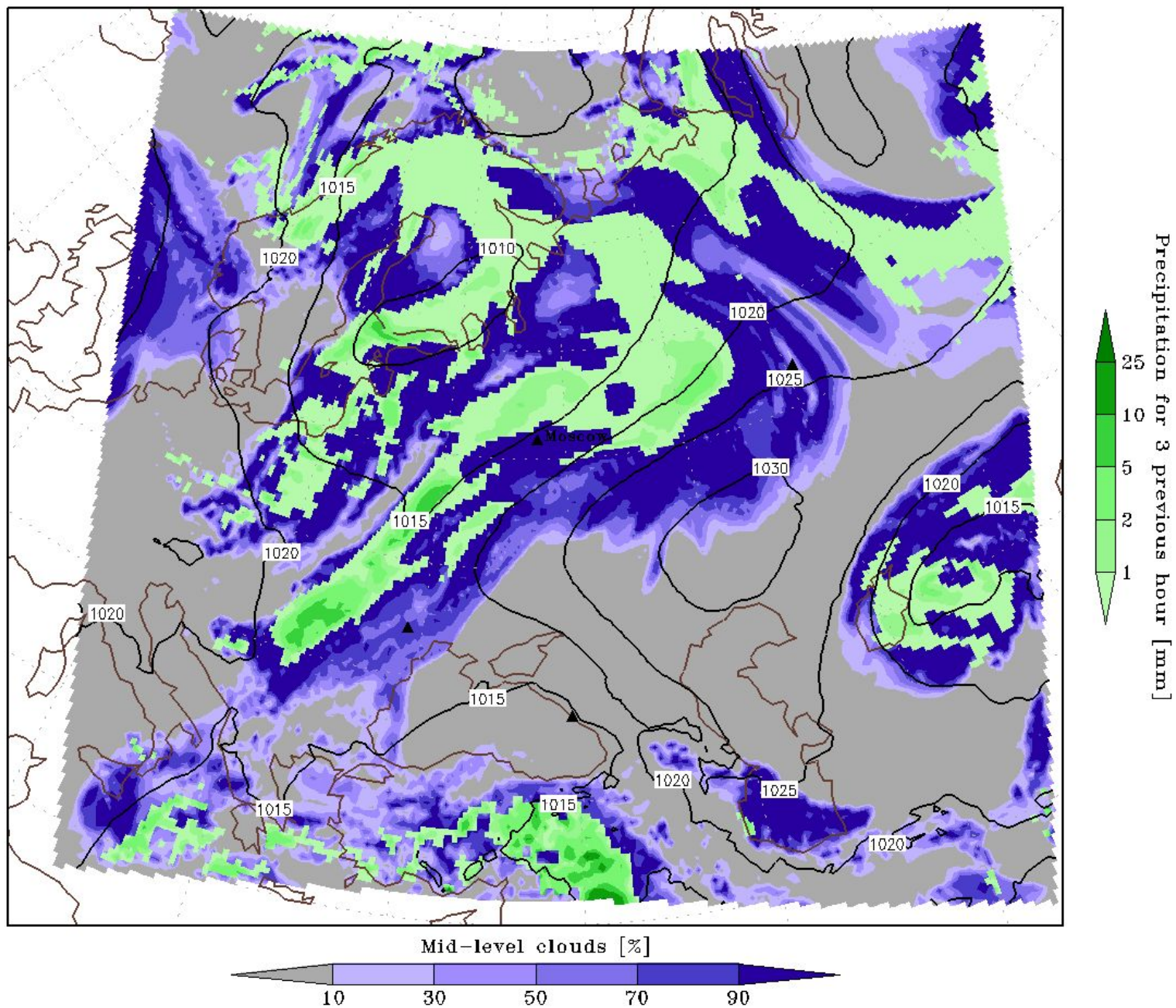
Forecast on 06 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



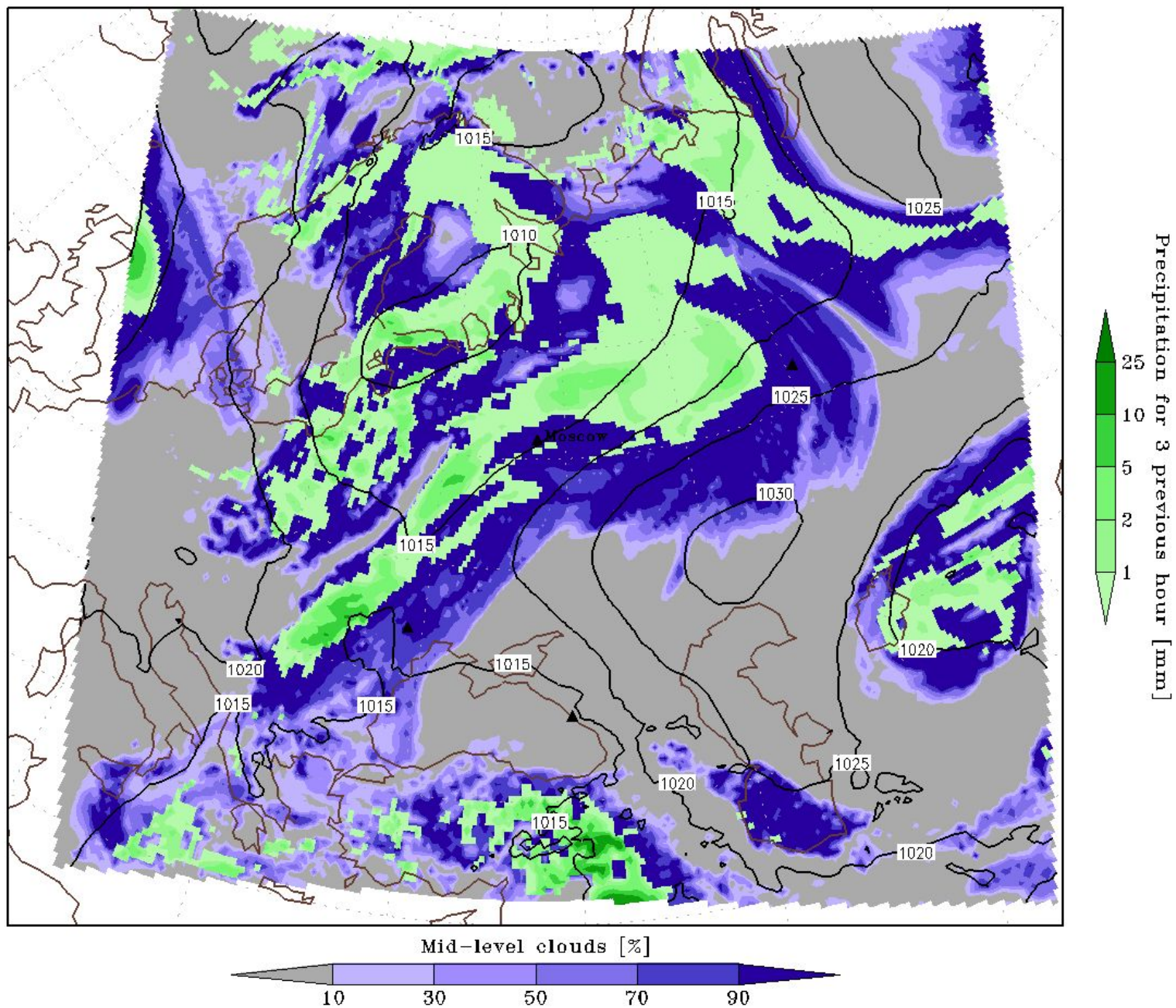
Forecast on 09 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



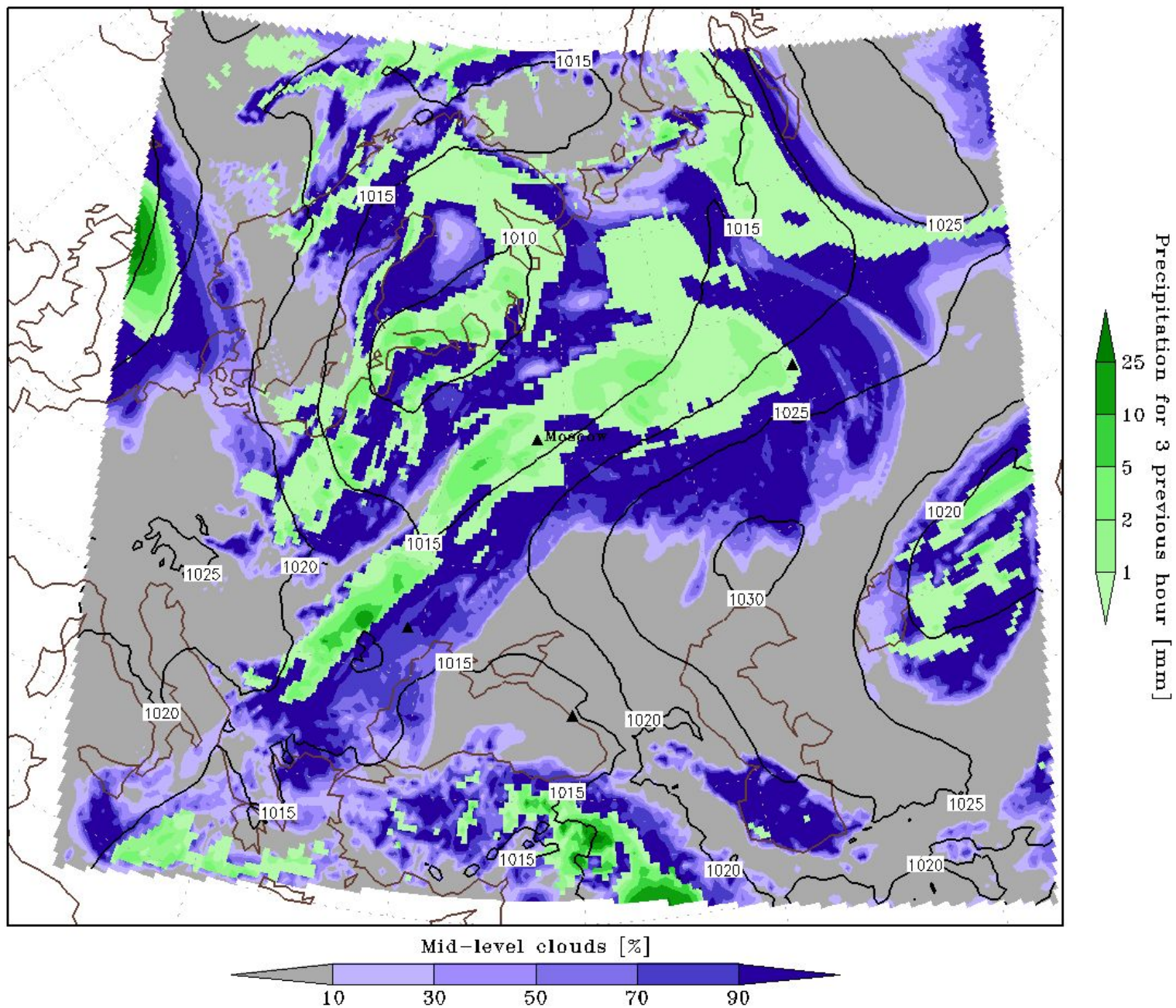
Forecast on 12 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



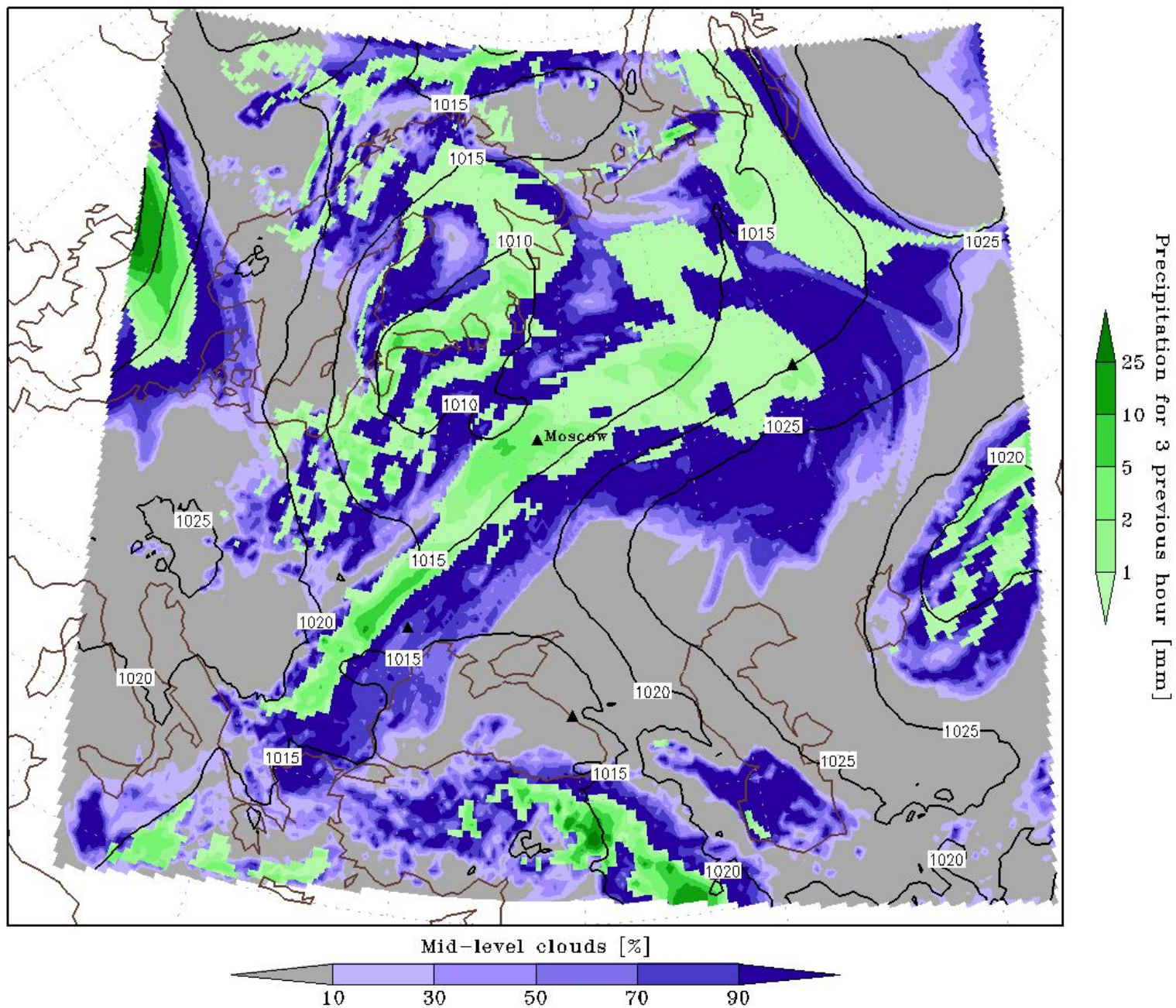
Forecast on 15 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



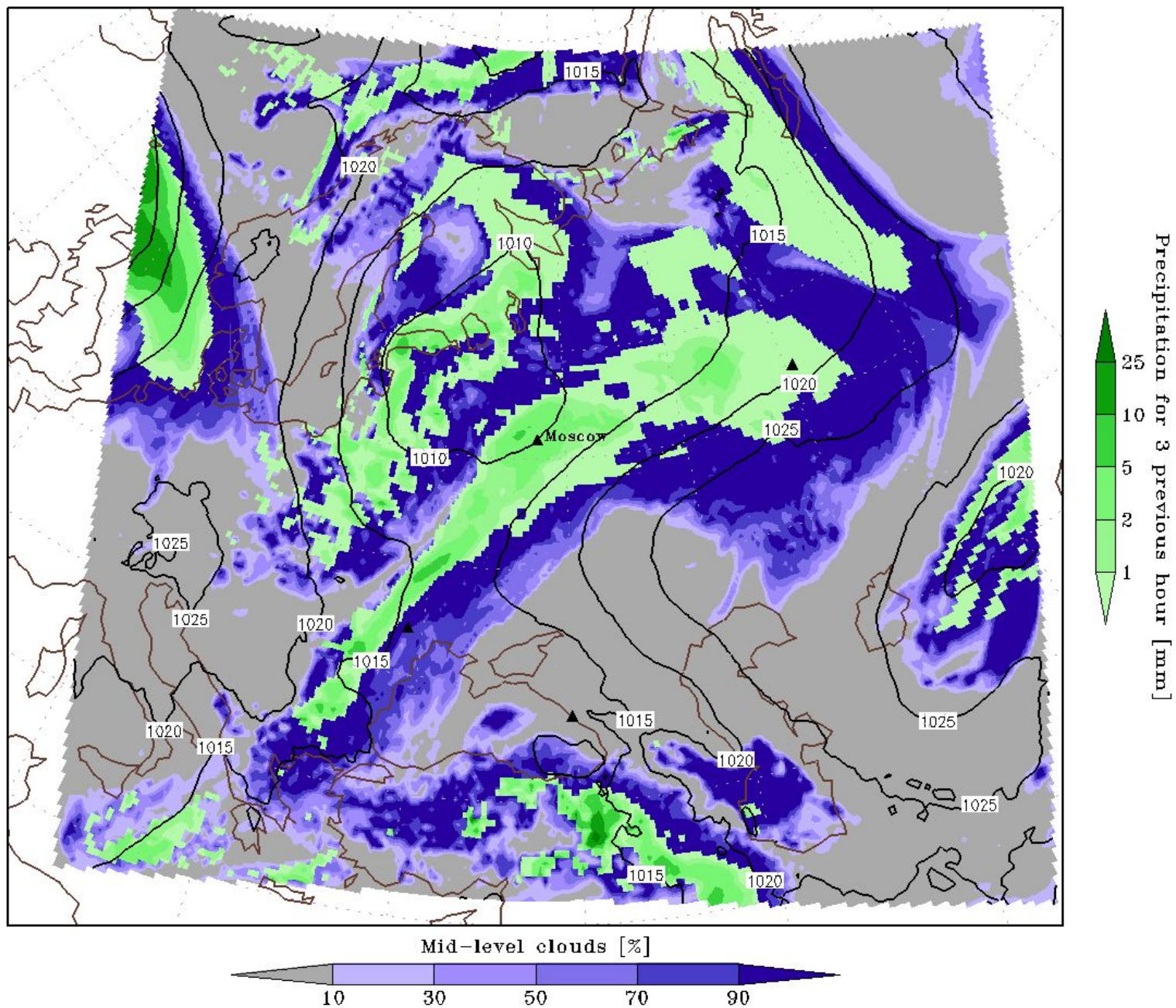
Forecast on 18 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



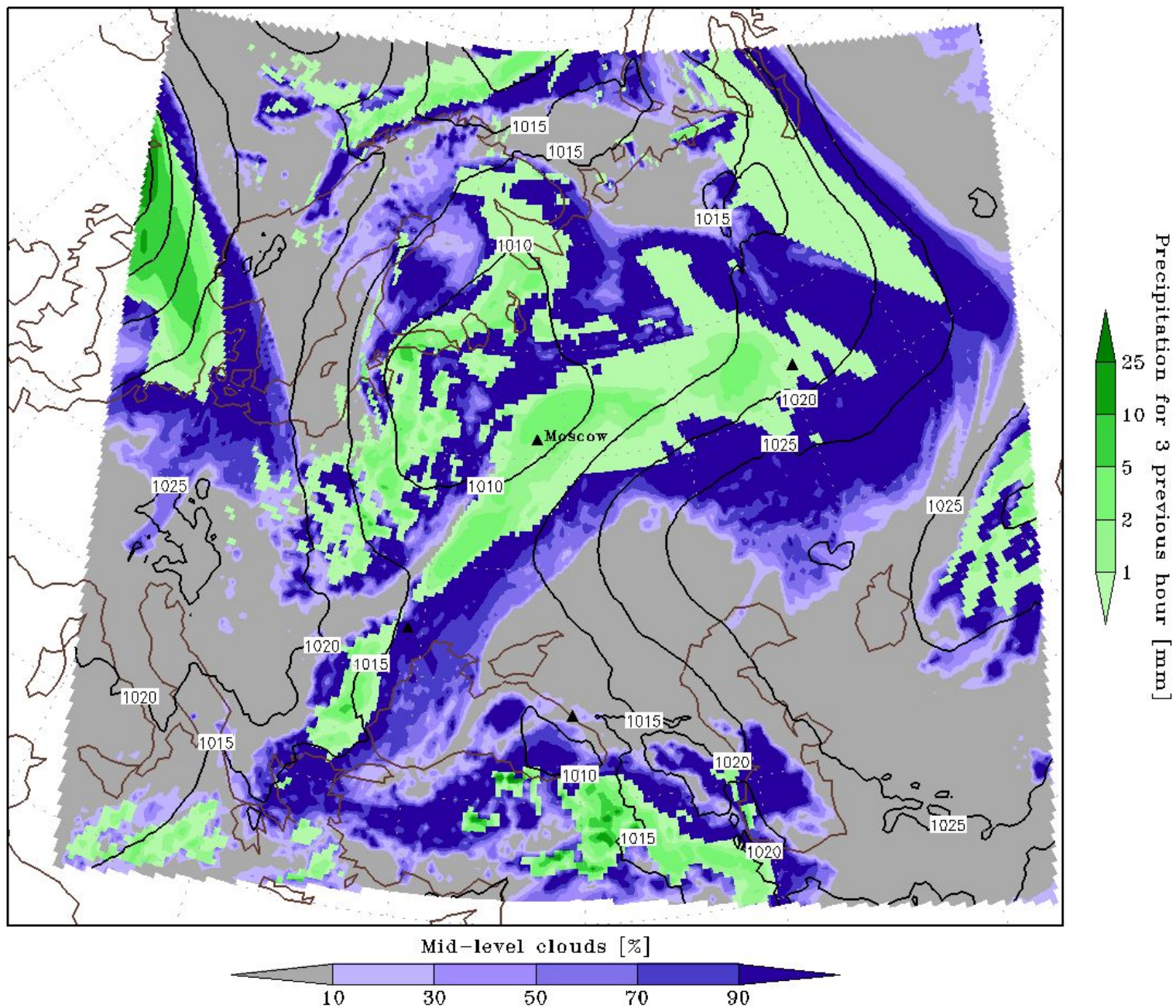
Forecast on 21 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



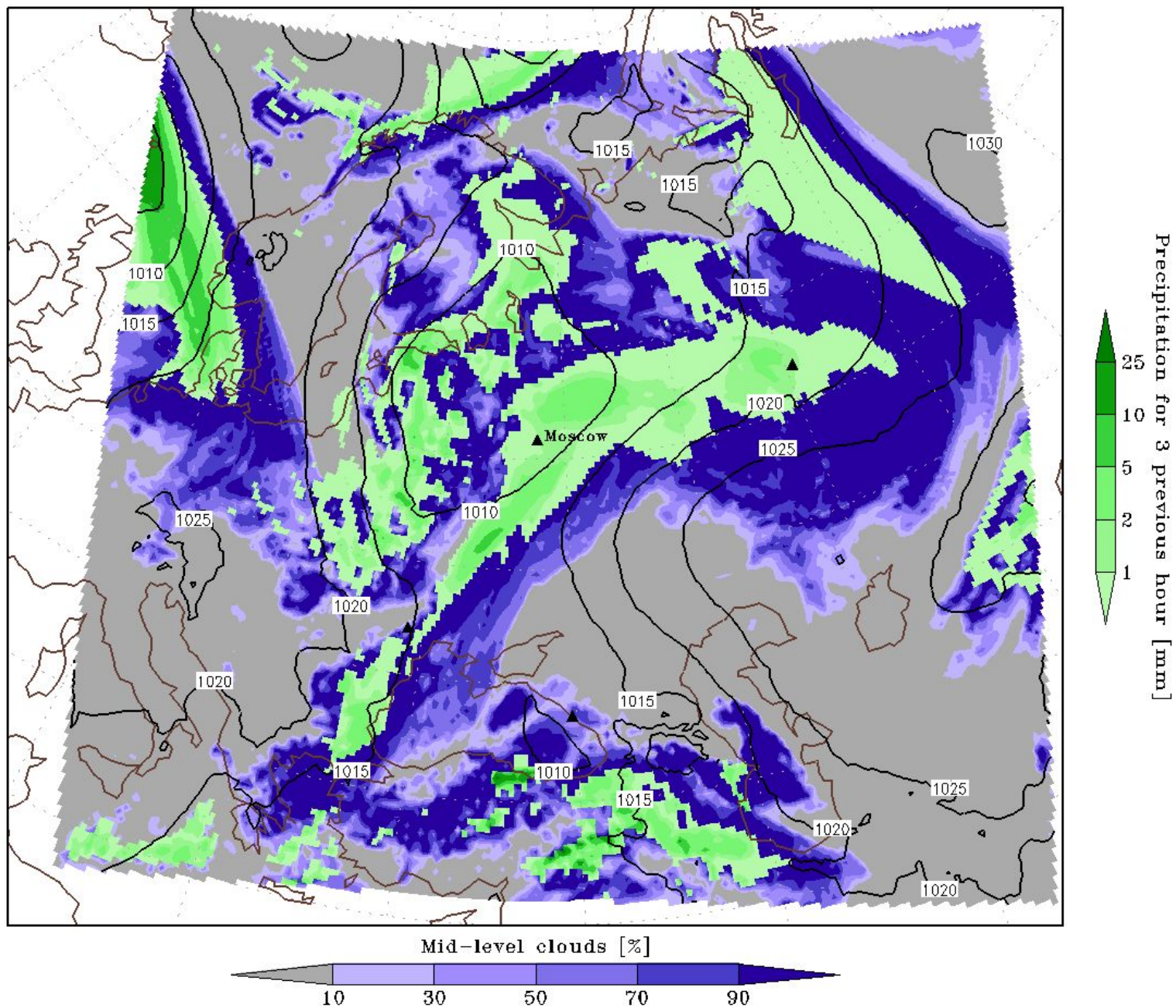
Forecast on 24 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



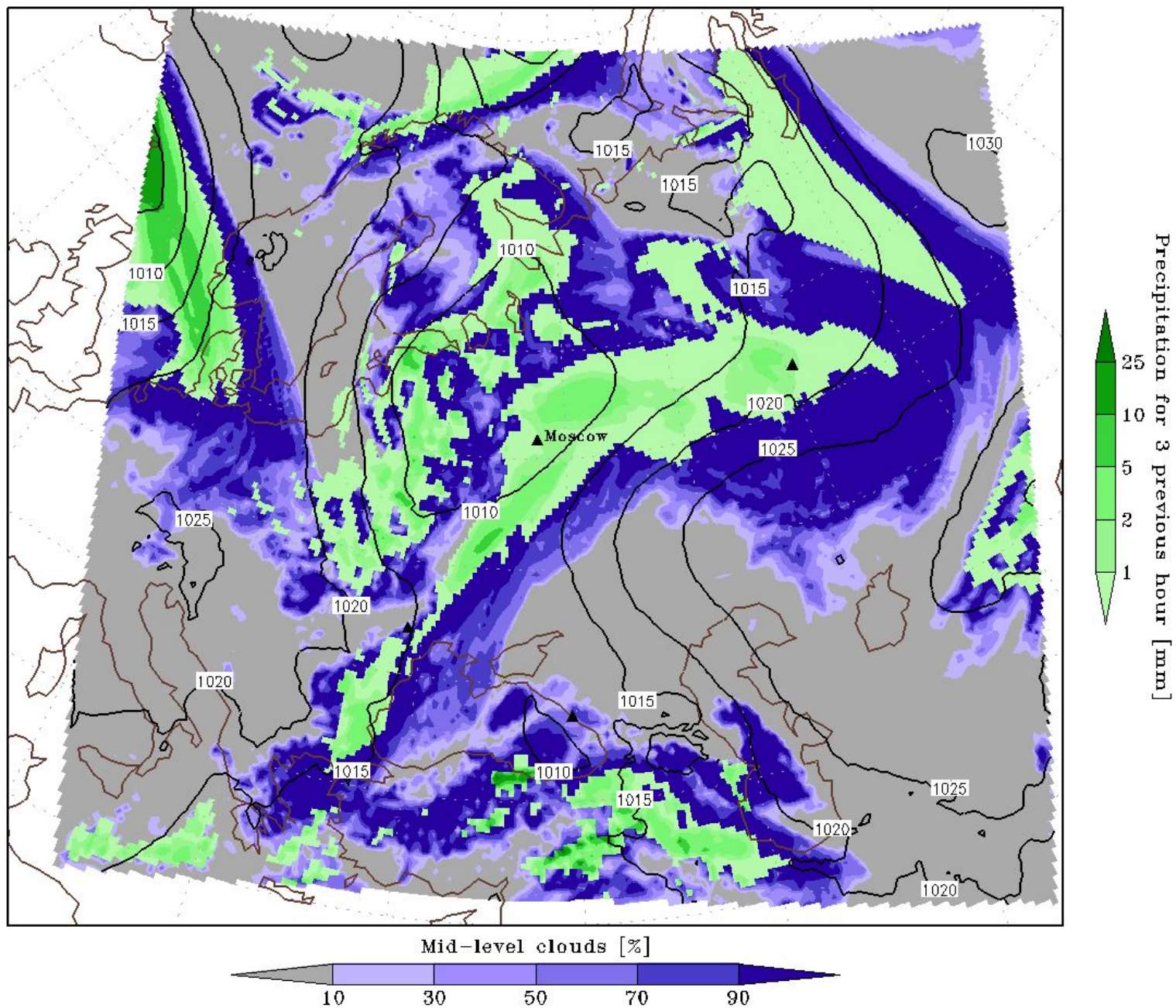
Forecast on 27 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



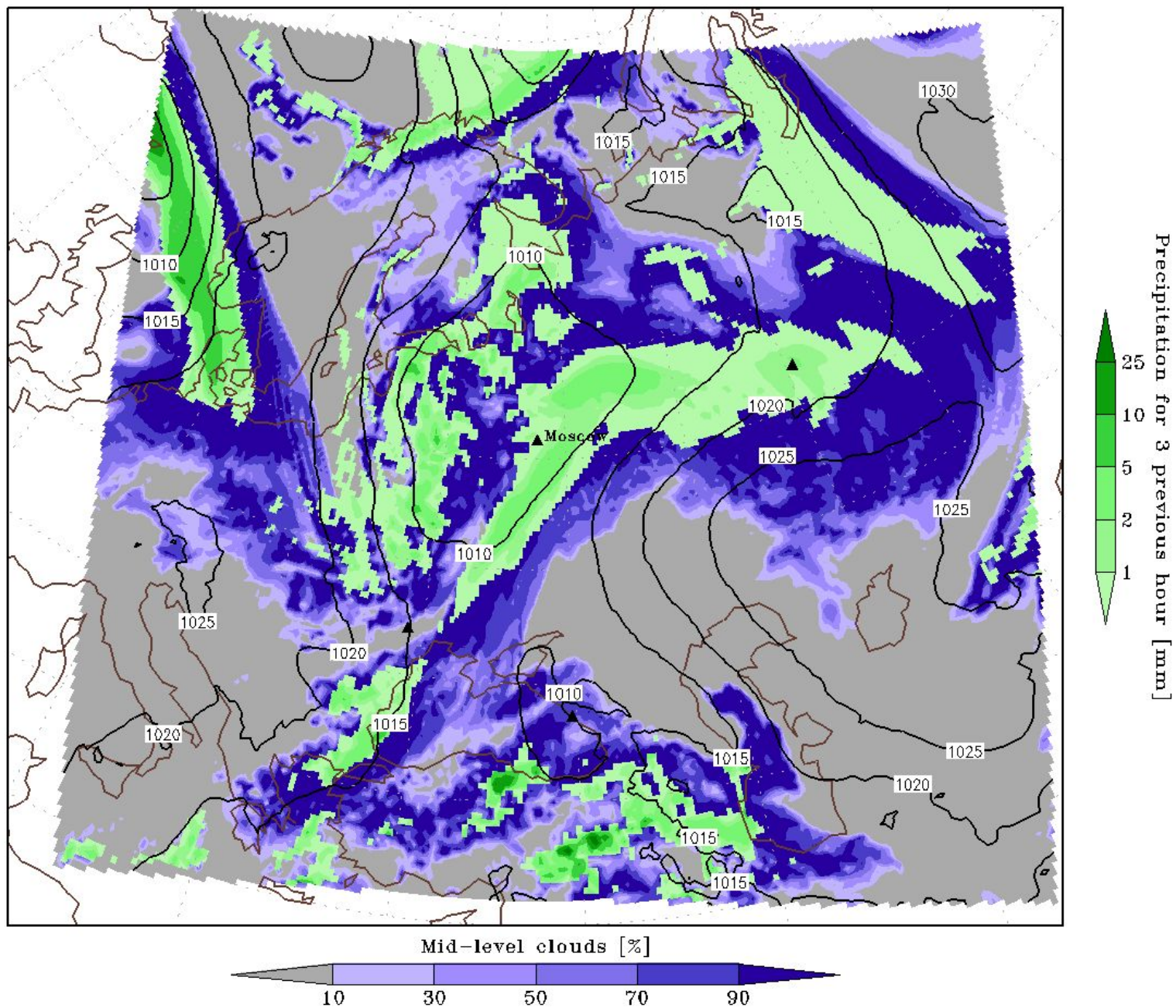
Forecast on 30 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



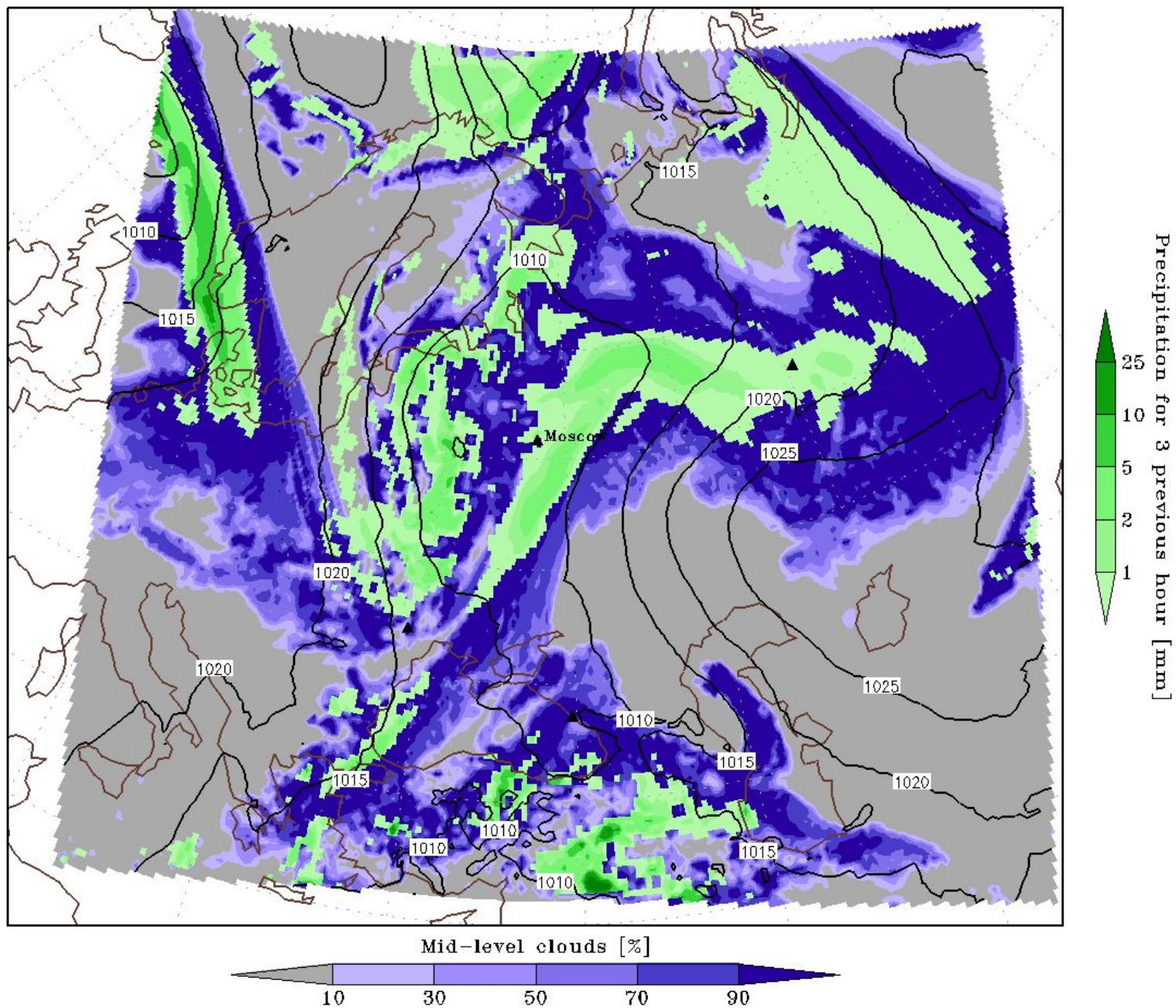
Forecast on 30 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



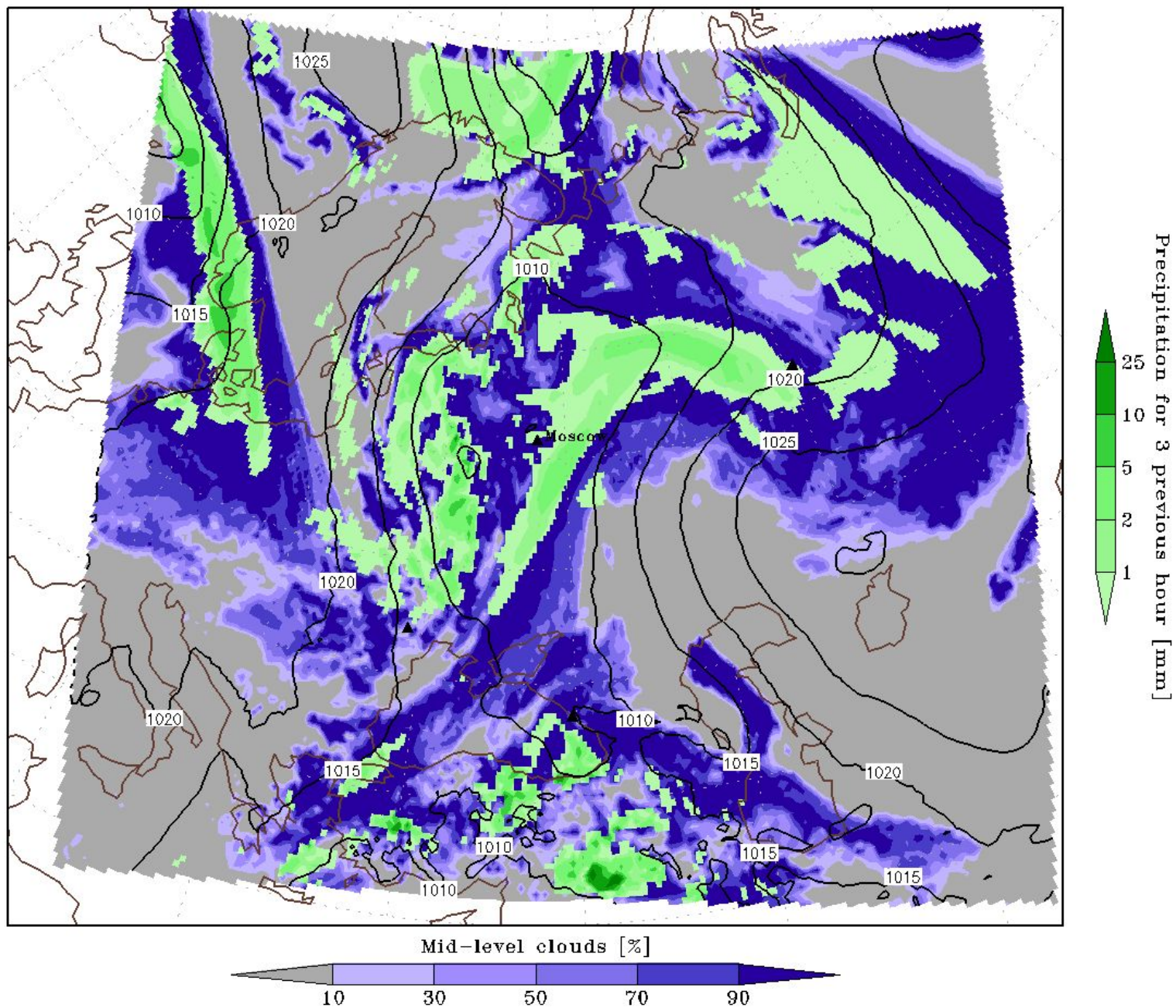
Forecast on 33 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



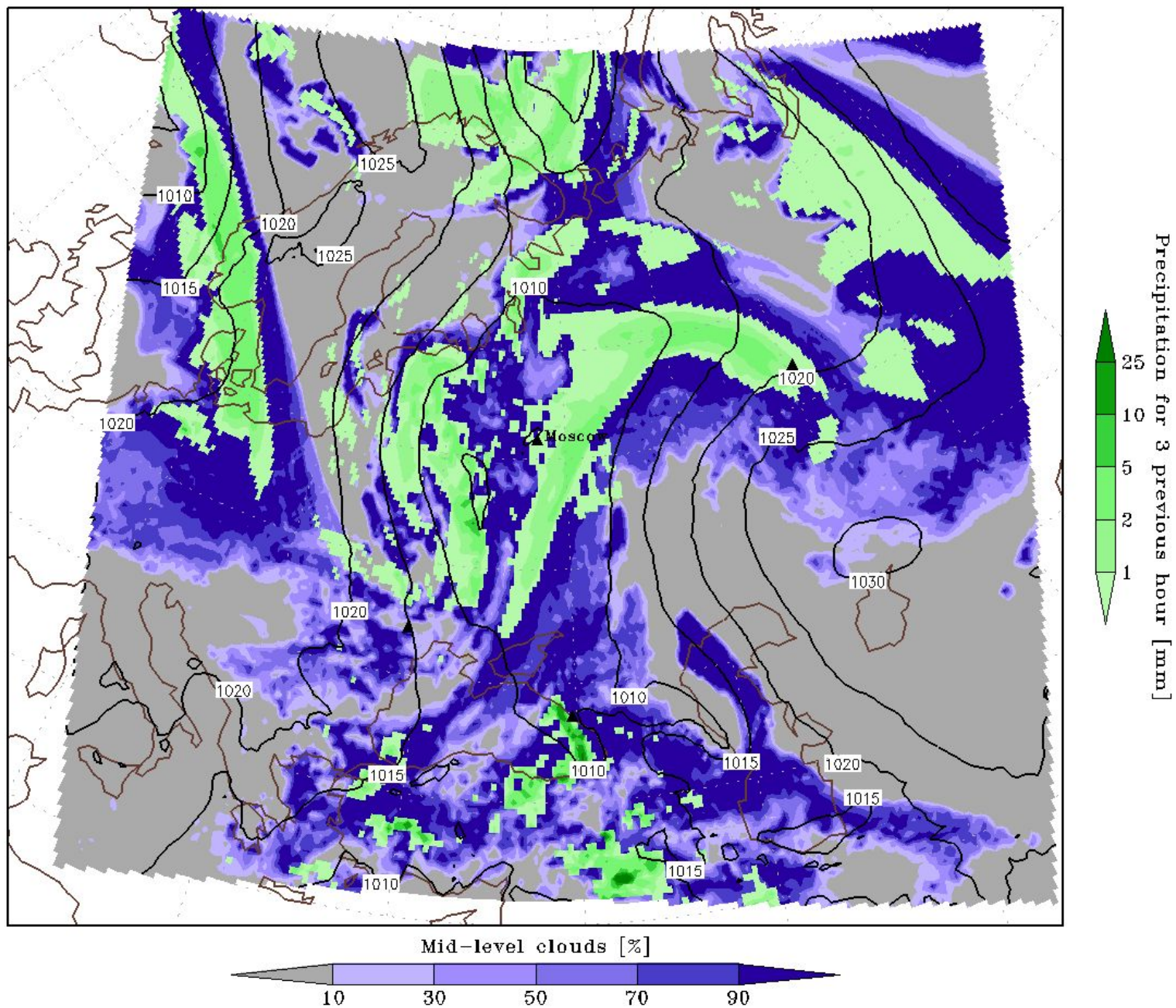
Forecast on 36 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



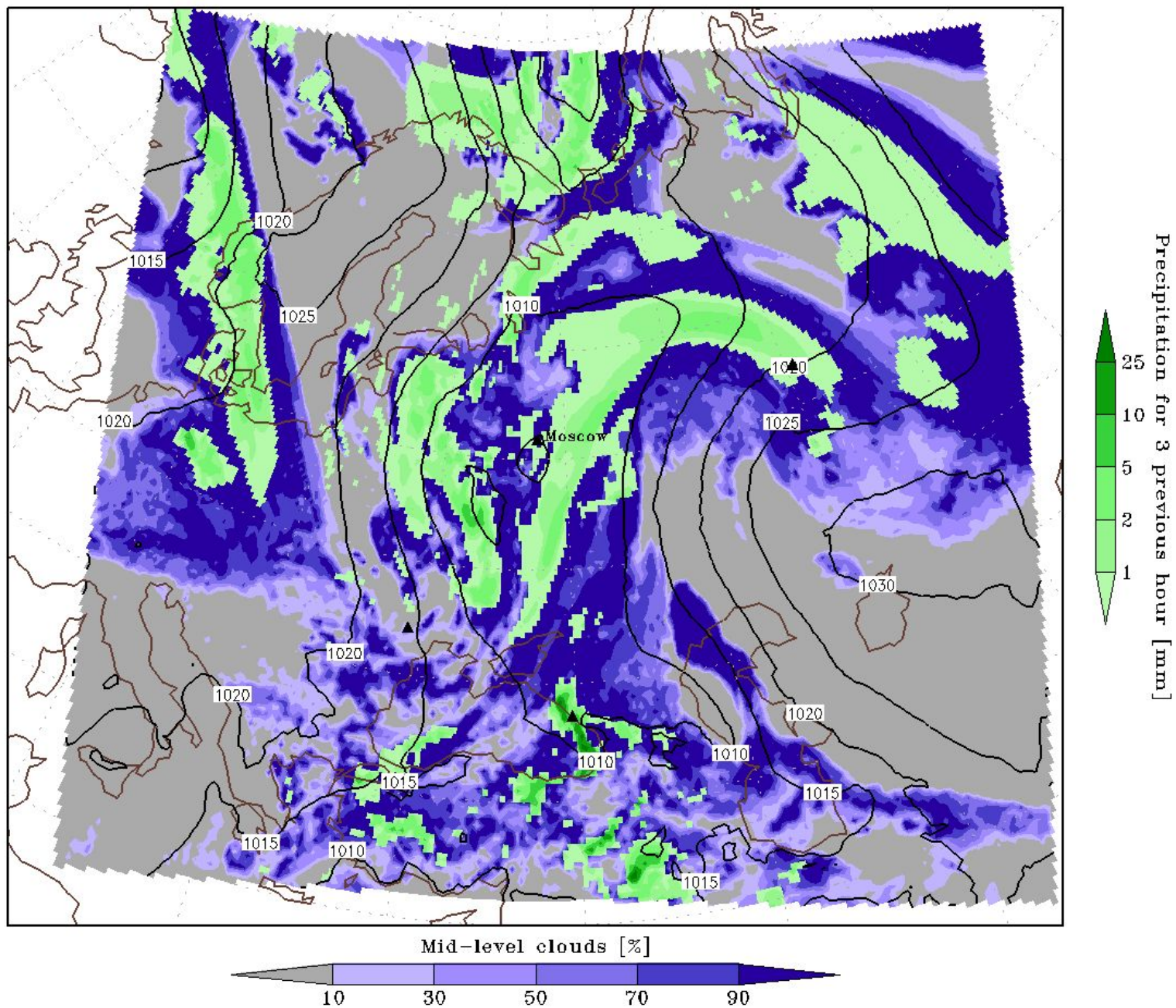
Forecast on 39 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



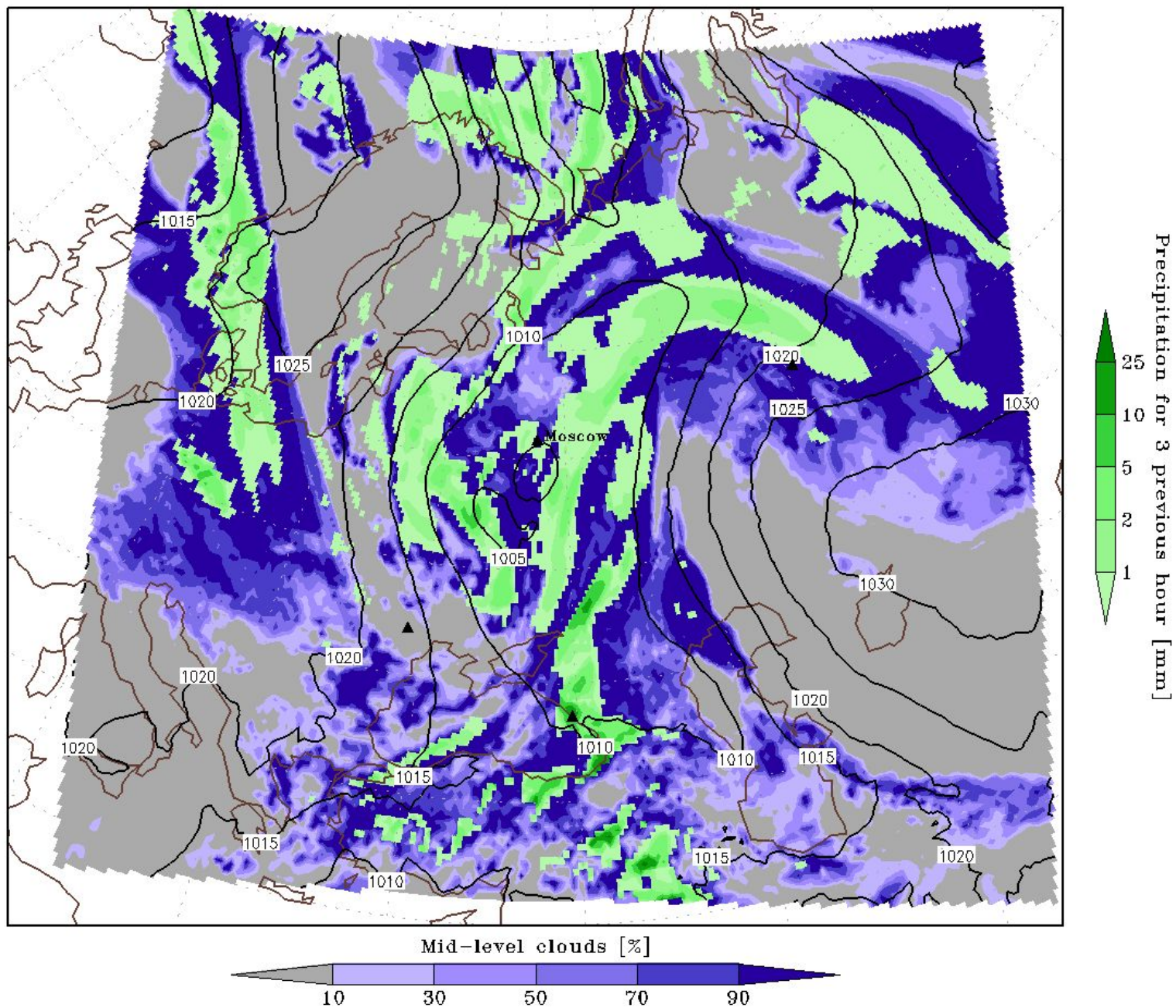
Forecast on 42 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



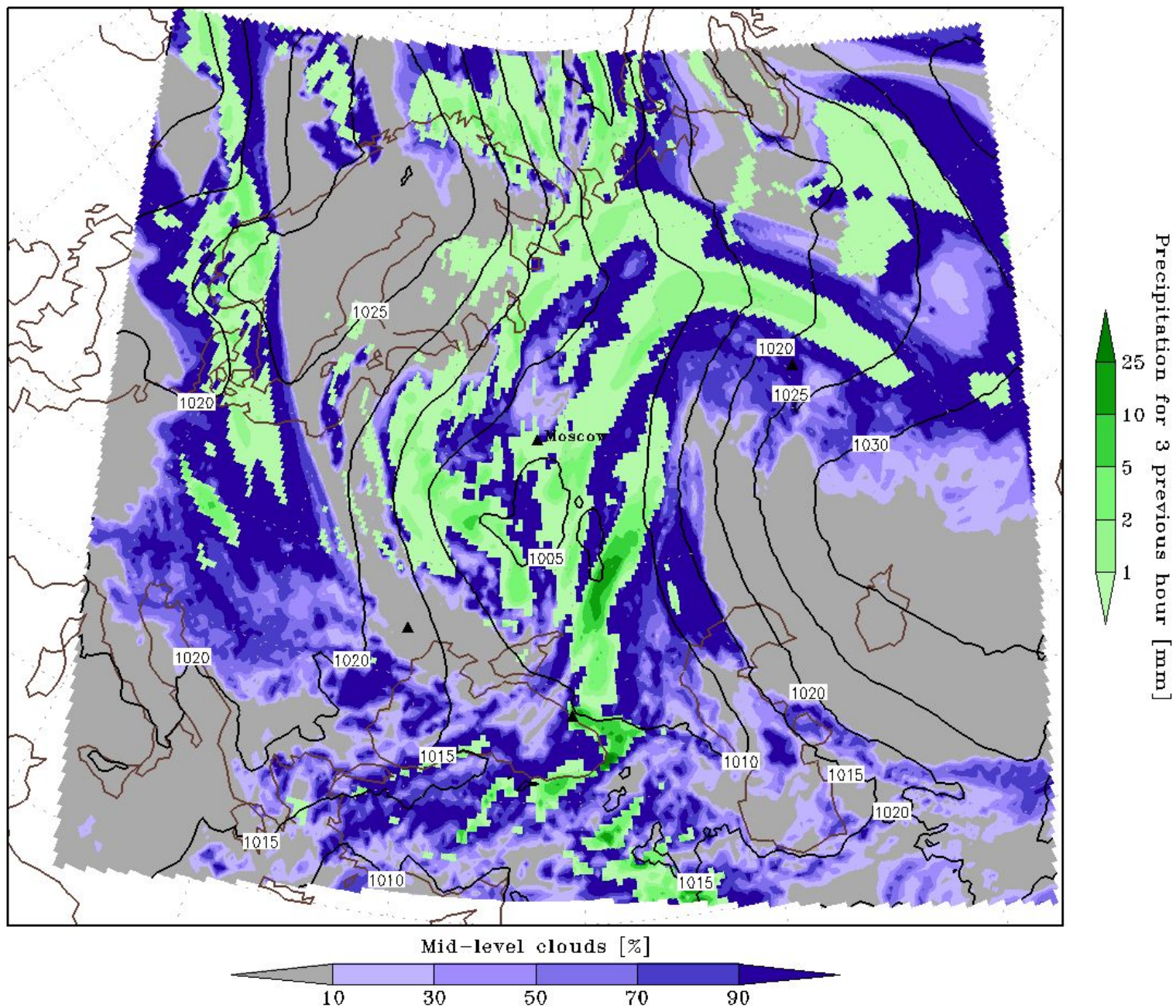
Forecast on 45 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



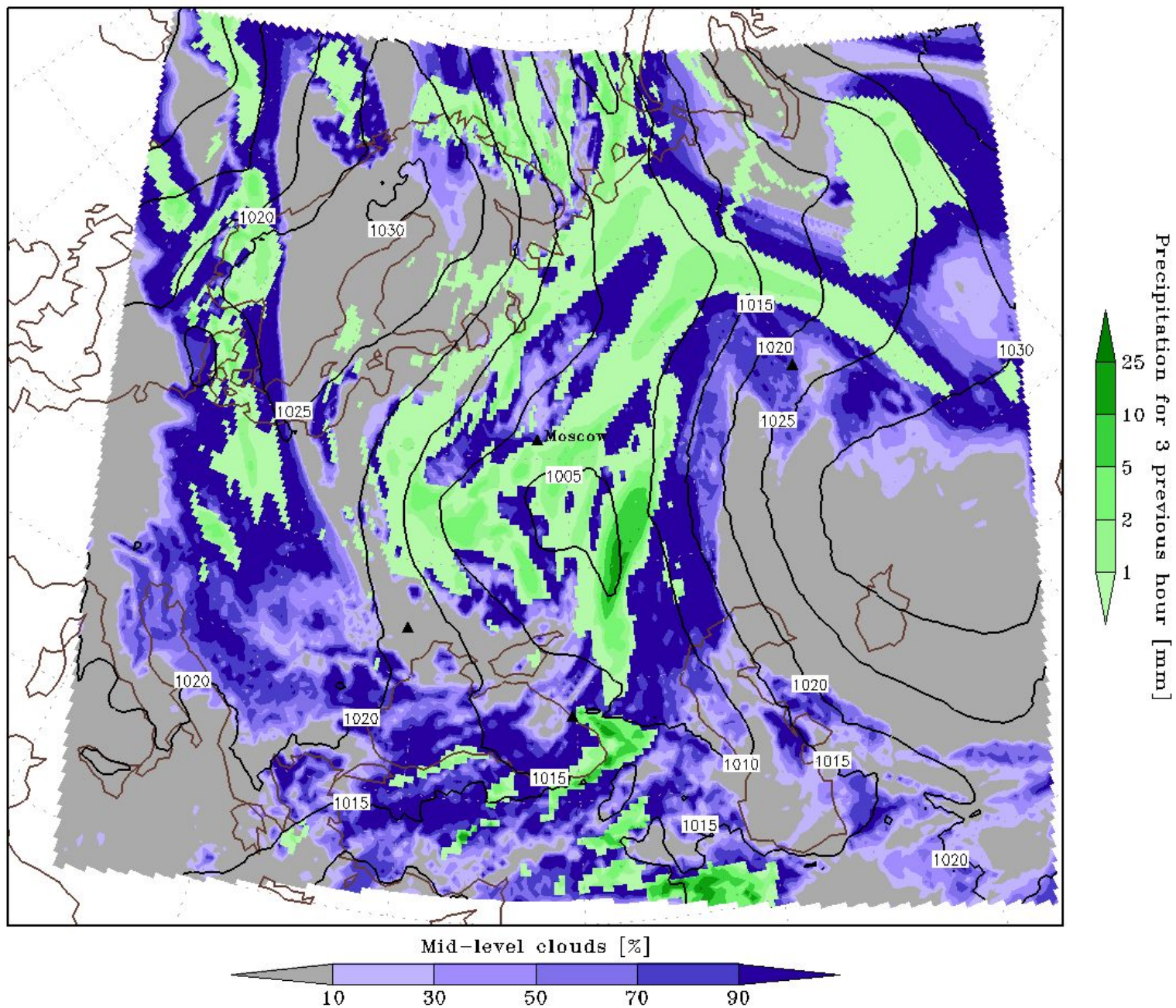
Forecast on 48 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



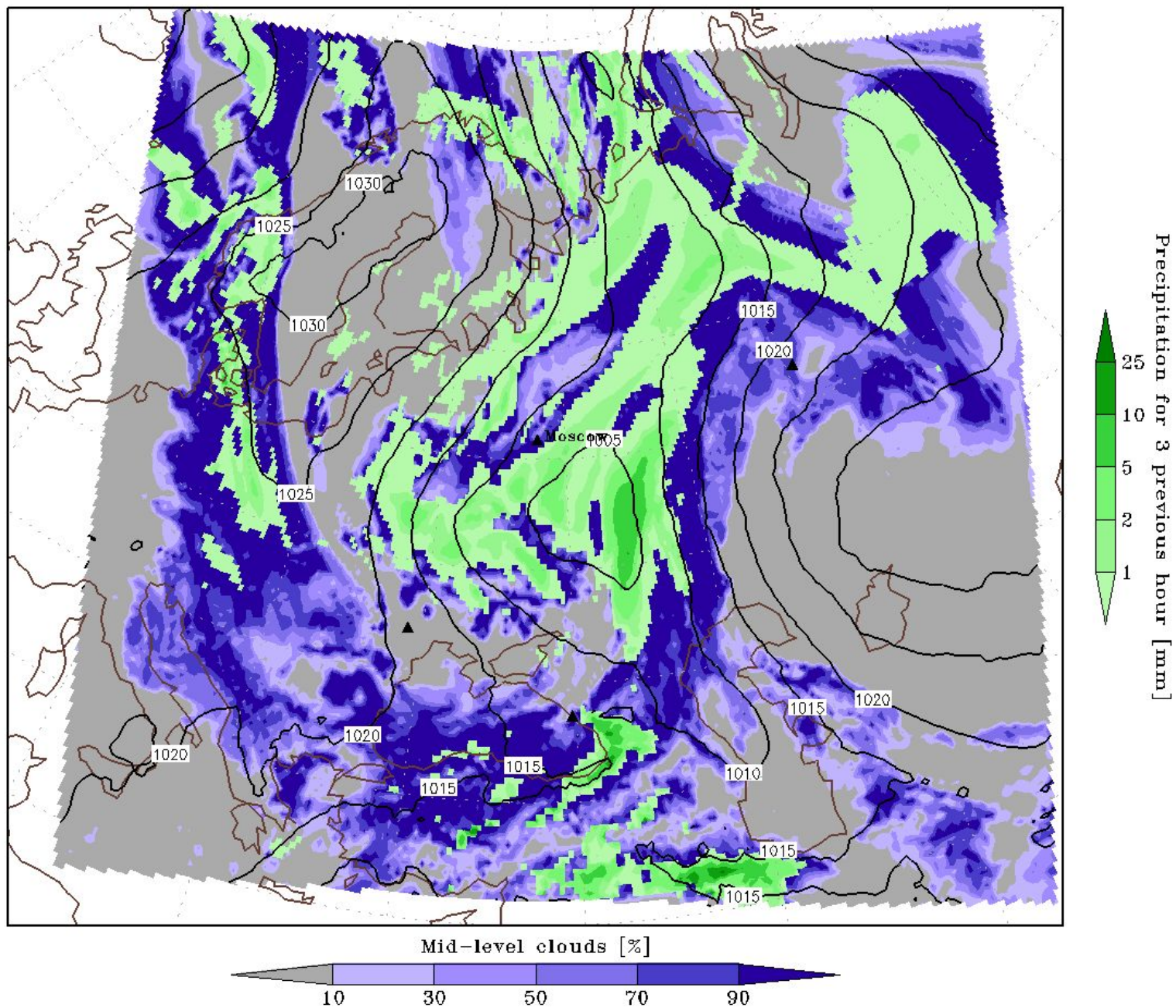
Forecast on 51 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



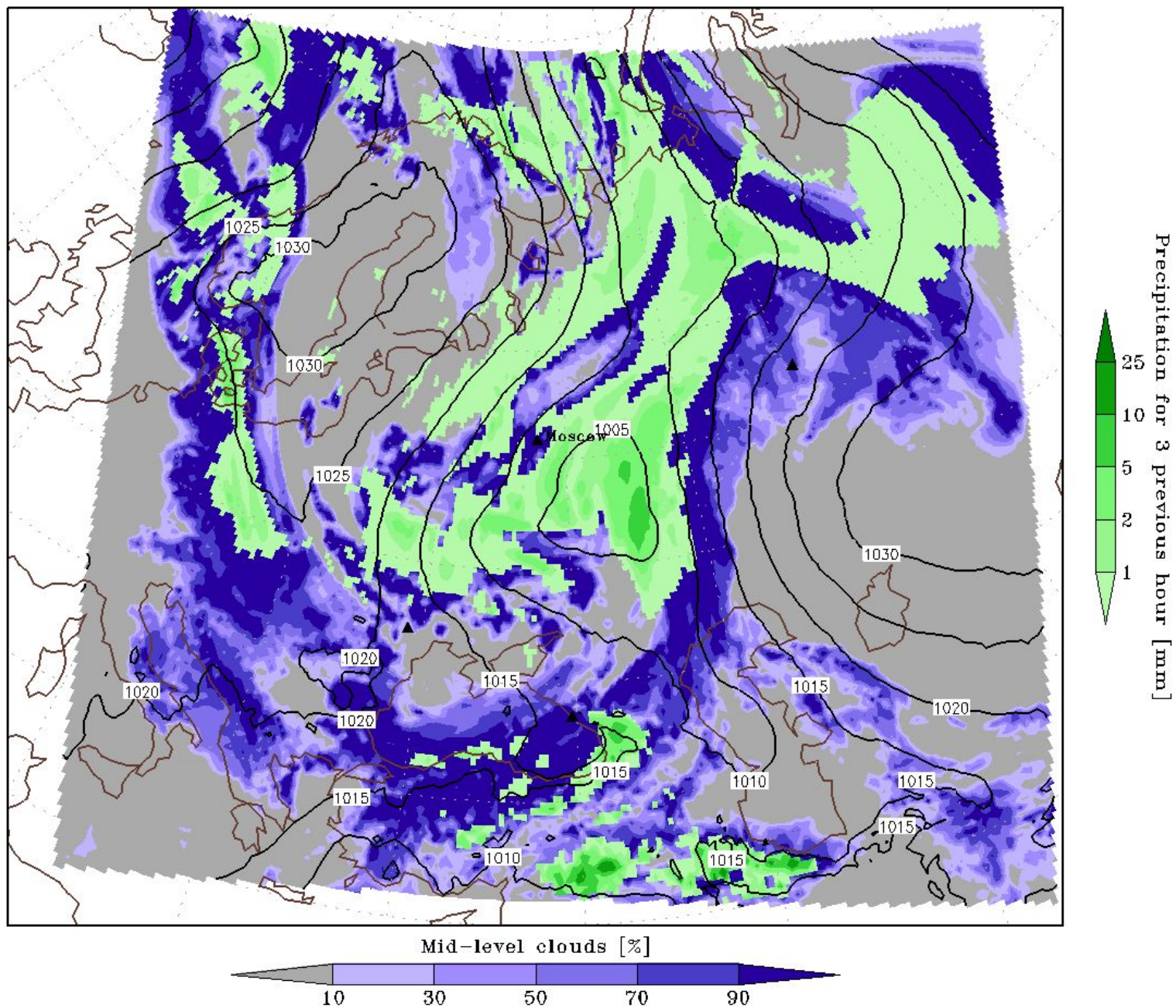
Forecast on 54 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



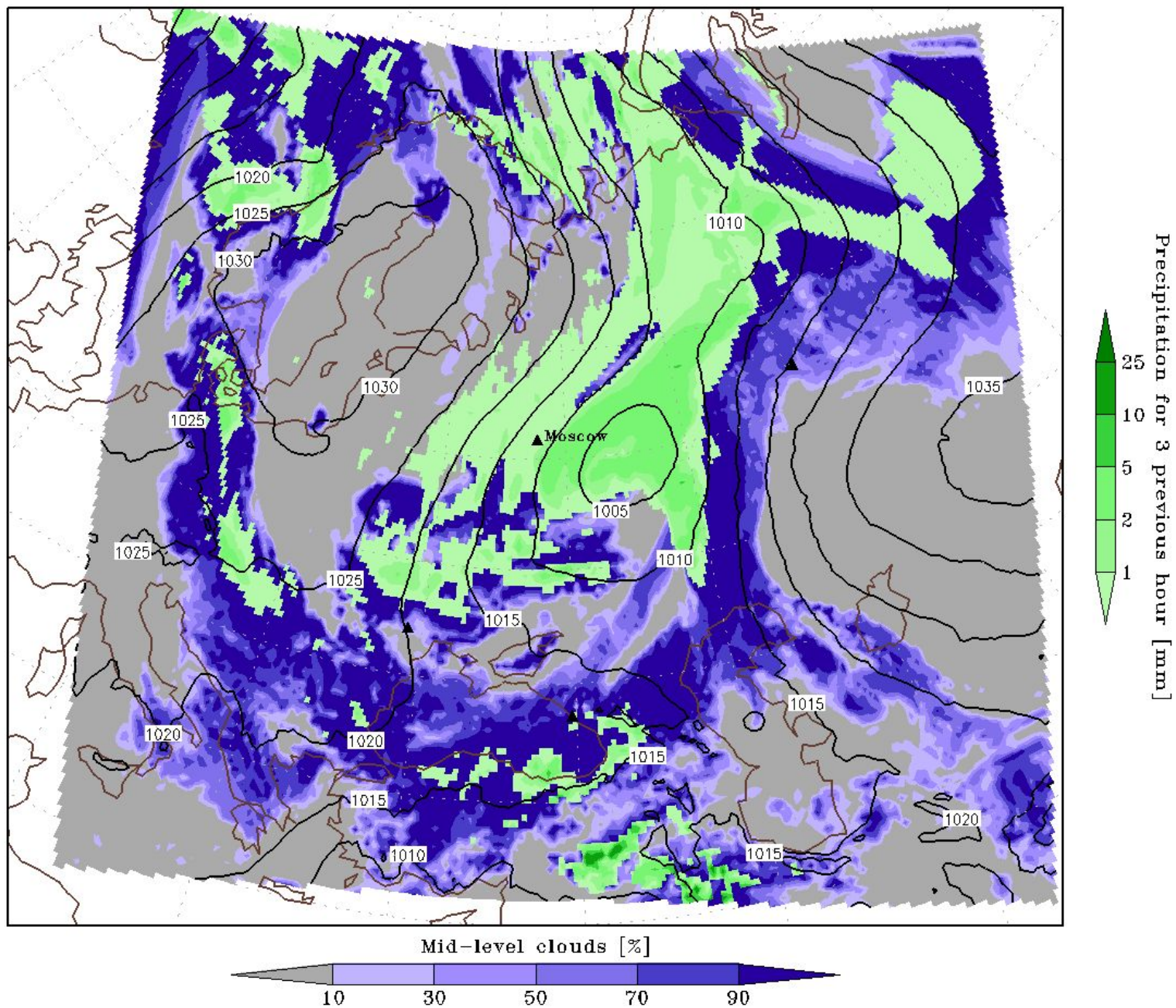
Forecast on 57 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



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



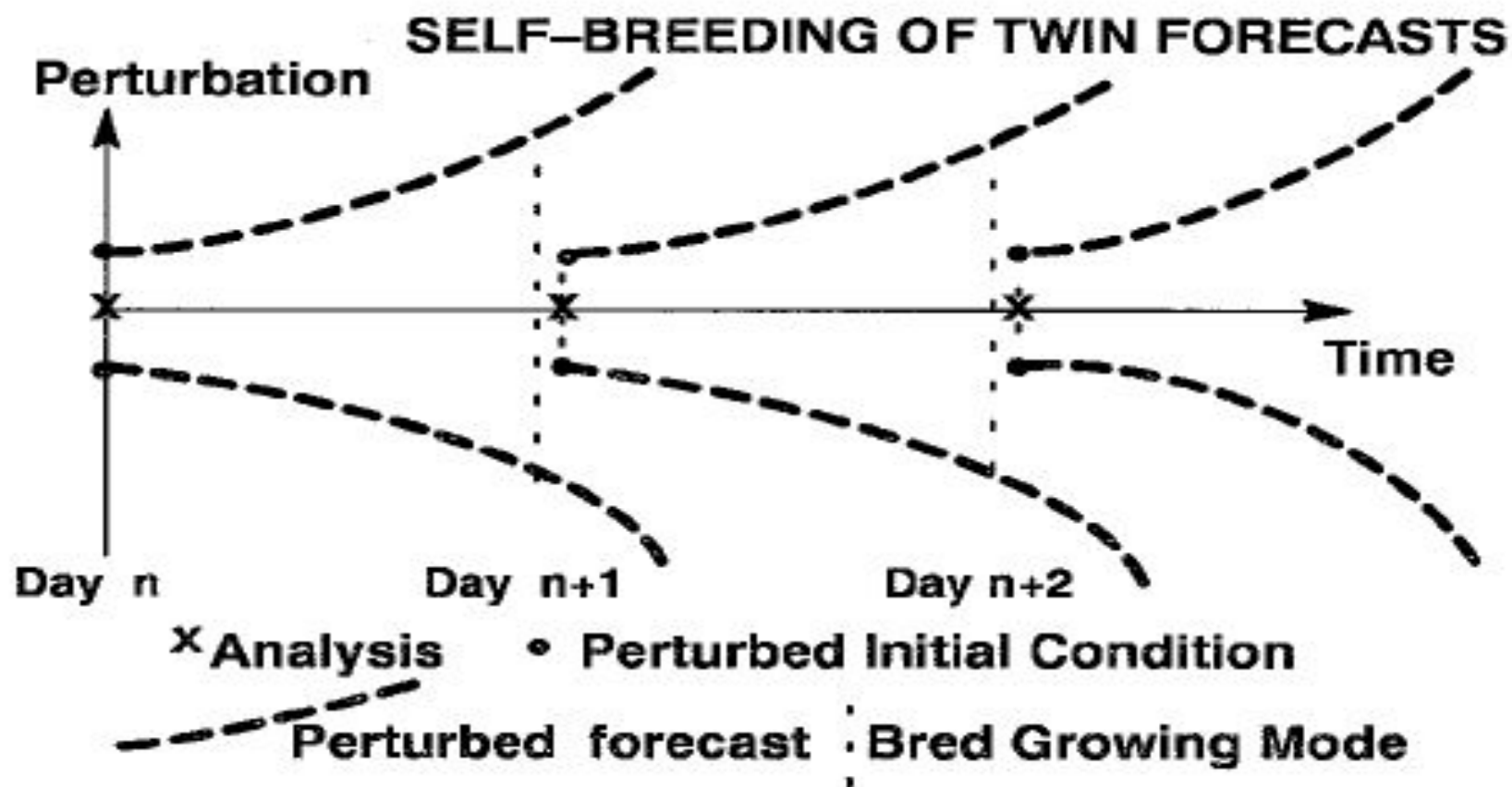
Forecast on 66 hour from 00Z27OCT2009 (UTC)
COSMO-RU 7km



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



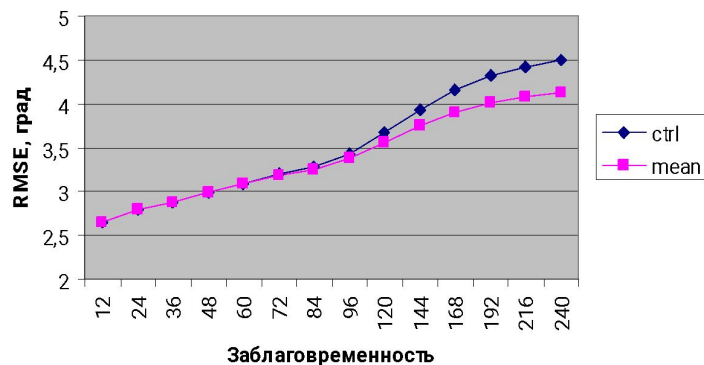
Бридинг-метод



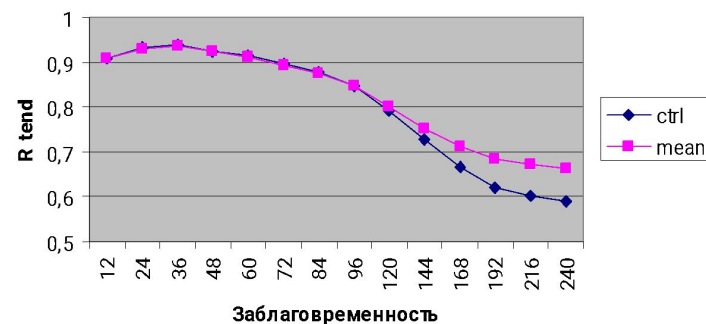
Оценки качества среднего по ансамблю прогноза

Среднее по ансамблю лучше для заблаговременностей более 84 час!

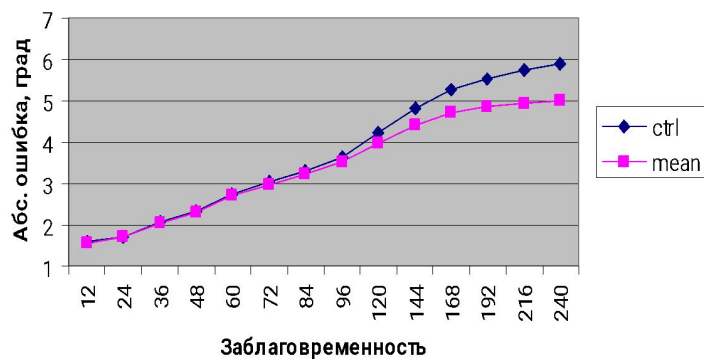
RMSE. T850. 1-31 августа 2009



Корреляция тенденций. H500. 1-31 августа 2009



Средняя абсолютная ошибка.
PMSL. 1-31 августа 2009



S1. H500. 1-31 августа 2009

