

СИСТЕМА **COSMO-RU7-ART** ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Кирсанов Александр Андреевич, Ревокатова Анастасия Петровна,
Ривин Гдалий Симонович, Суркова Галина Вячеславовна

Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным
технологиям для наук об окружающей среде: “CITES-2017”,
28 августа – 4 сентября 2017 г., Звенигород

COSMO-Ru7-ART

COSMO

Consortium for **S**mall-scale
Modelling

ART

Aerosols and **R**eactive
Trace gases

метеорология

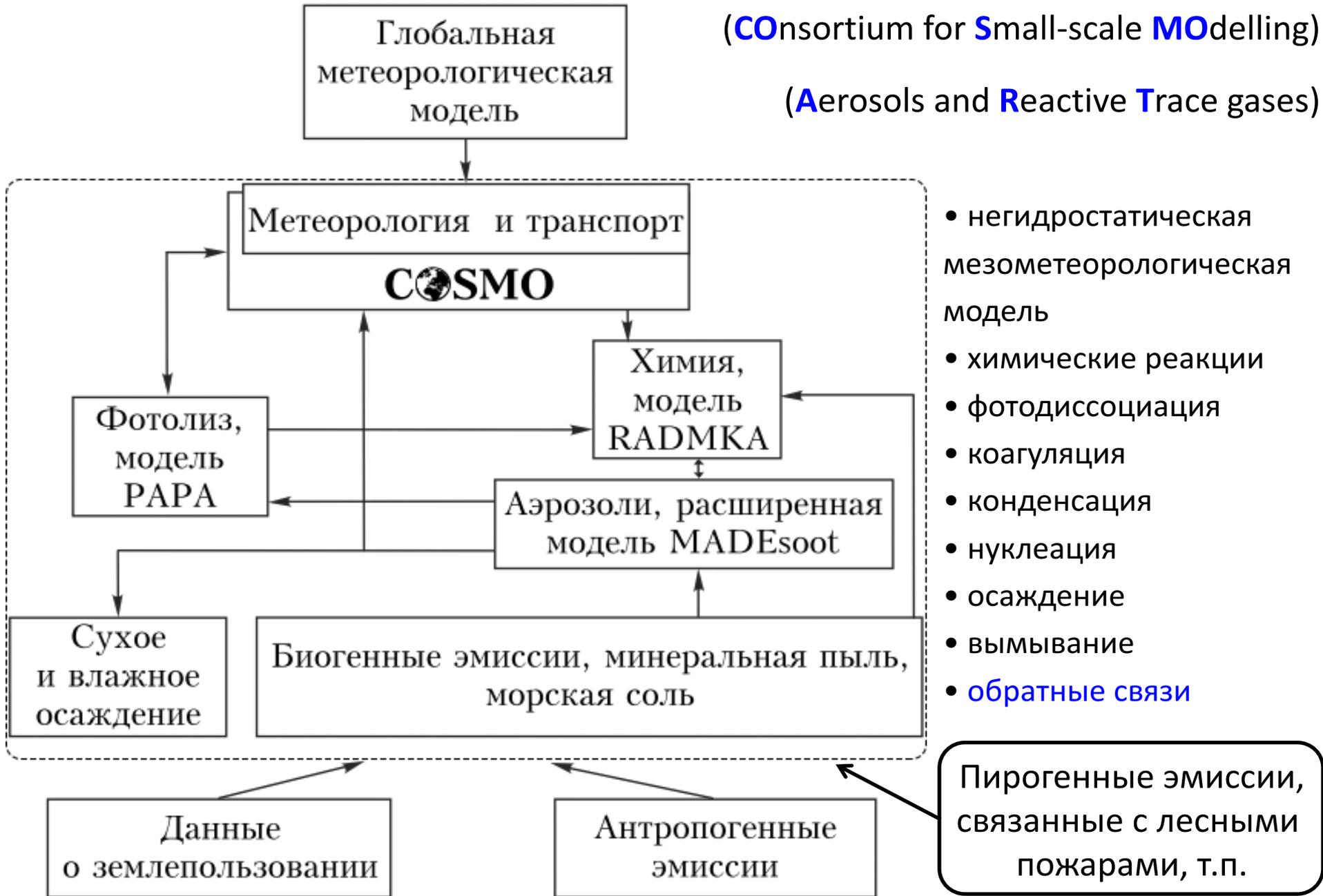
«online» подход

атм. химия

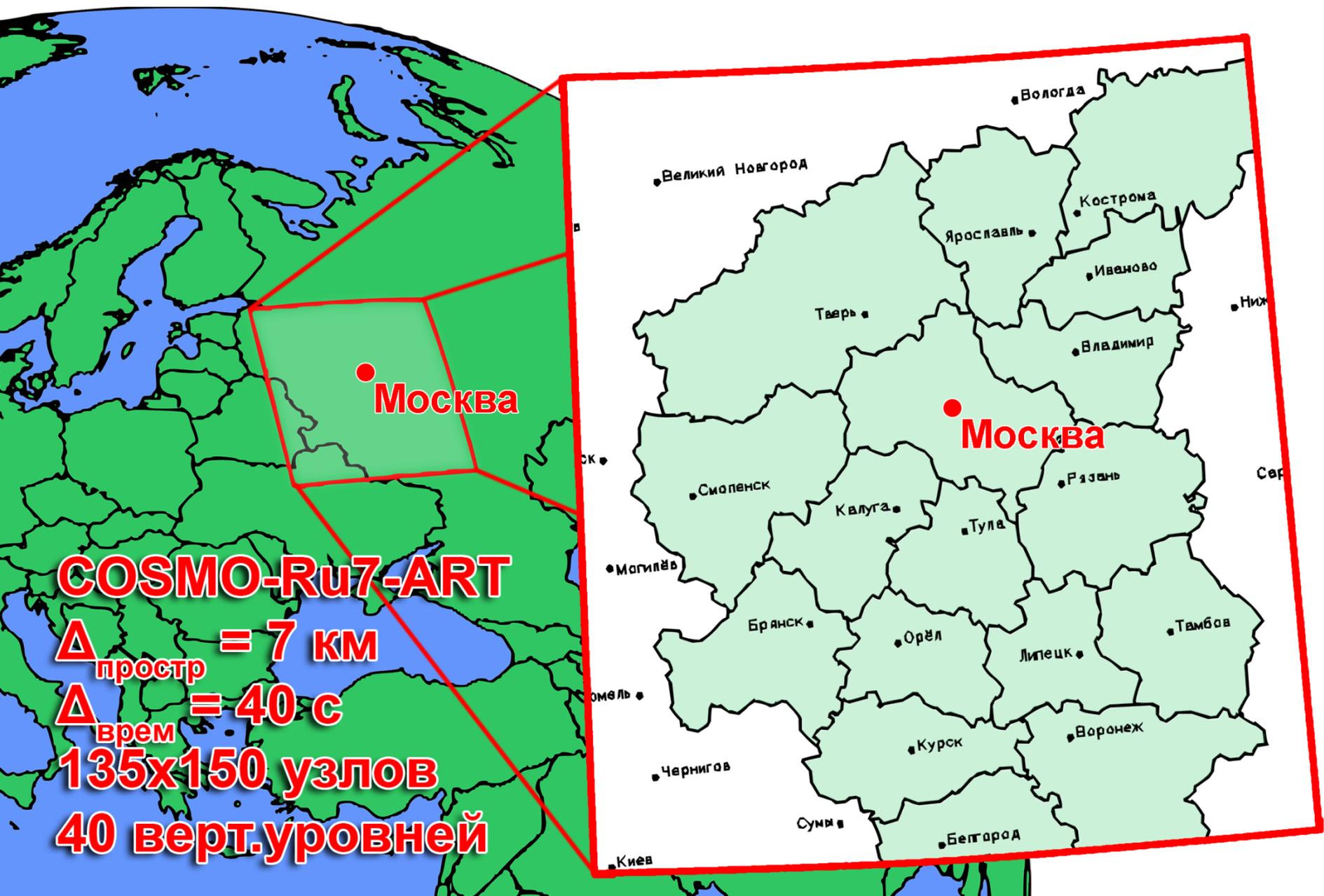
СТРУКТУРА COSMO-ART

(**CO**nsortium for **S**mall-scale **MO**delling)

(**A**erosols and **R**eactive **T**race gases)



COSMO-Ru7-ART



COSMO-Ru7-ART

$\Delta_{\text{простр}} = 7 \text{ км}$

$\Delta_{\text{врем}} = 40 \text{ с}$

135x150 узлов

40 верт.уровней

COSMO-Ru7-ART

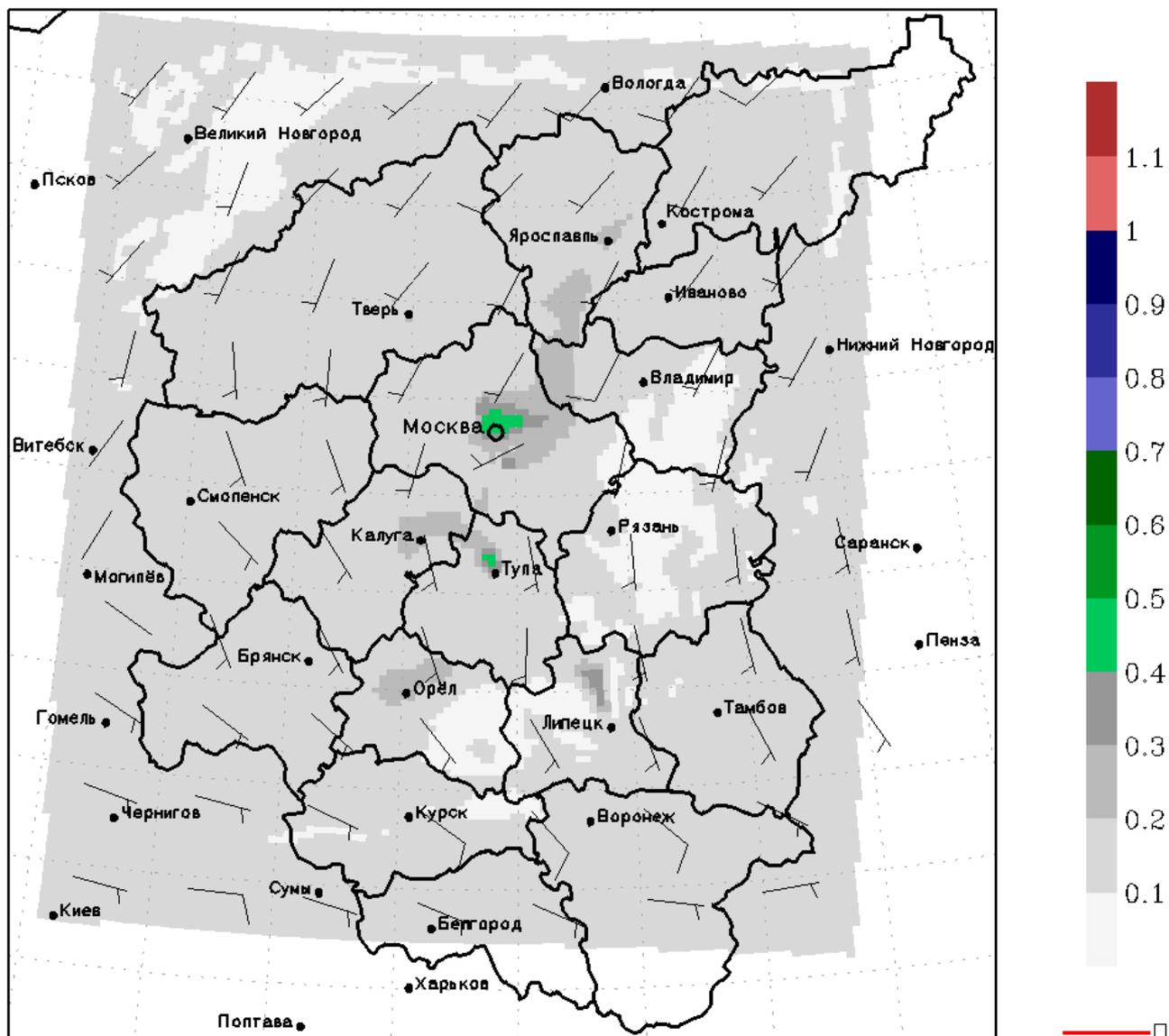


- в 0:00 ВСВ прогноз на 48 ч.
(время счета при использовании 64 ядер ~120 мин., без ART ~9 мин.)
- в 12:00 ВСВ прогноз на 60 ч.
(время счета при использовании 64 ядер ~145 мин.)
- сетка 135x150x40
- ~30-45° в.д., 50-60° с.ш.
- шаг сетки 7 км
- $\Delta t = 40$ с
- начальные и граничные условия **COSMO-RU7** (время счета прогноза на 78 ч. при использовании 360 ядер ~50 мин.)
- антропогенные эмиссии TNO
- CO, NO, NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀

С декабря 2012 года:
SGI Altix 4700 (до сентября 2014),
затем РСК Торнадо Росгидромет

ПРИМЕР ПРОГНОЗА COSMO-Ru7-ART

01:00 05АПР2017 (МСК): Концентрация CO, ppm



Прогноз на 21ч. от 04:00 04АПР2017 (МСК)

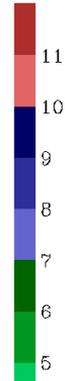
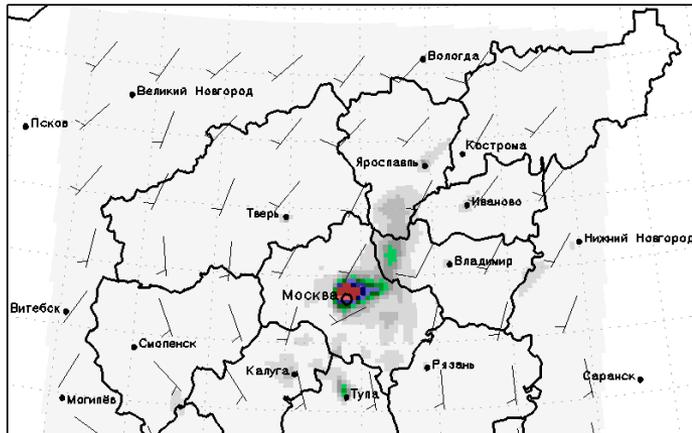
COSMO-RU/ART 7км

— ПДКмр

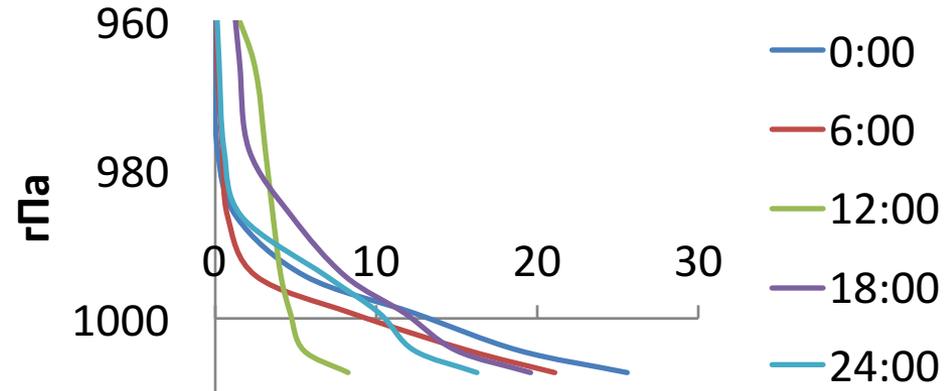
— ПДКсс

ПРИМЕР ПРОГНОЗА COSMO-RU7-ART

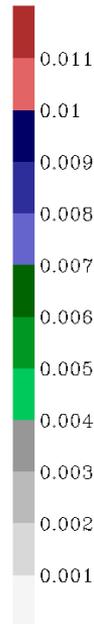
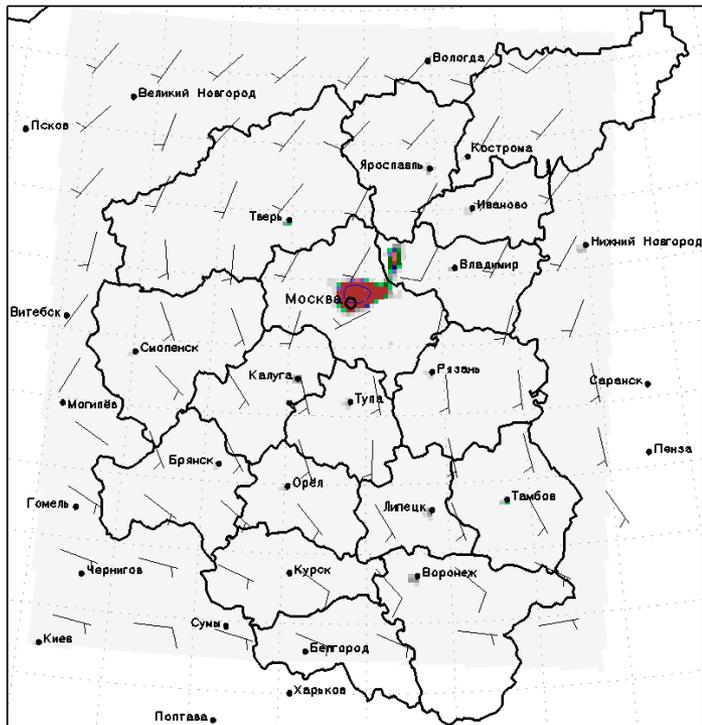
01:00 05АПР2017 (МСК): Концентрация PM2.5, мкг/м³



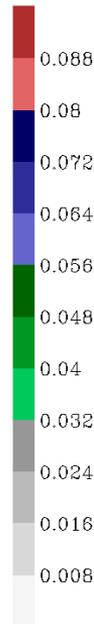
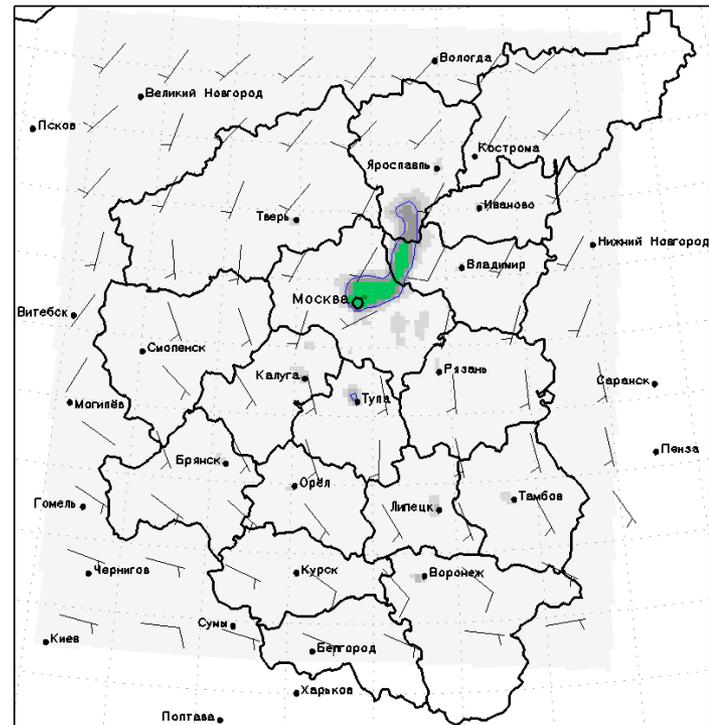
PM₁₀, мкг/м³



01:00 05АПР2017 (МСК): Концентрация NO, ppm



01:00 05АПР2017 (МСК): Концентрация NO2, ppm



Прогноз на 21ч. от 04:00 04АПР2017 (МСК)
COSMO-RU/ART 7км

— ПДК_{мир} — ПДК_{сс} Прогноз на 21ч. от 04:00 04АПР2017 (МСК)
COSMO-RU/ART 7км

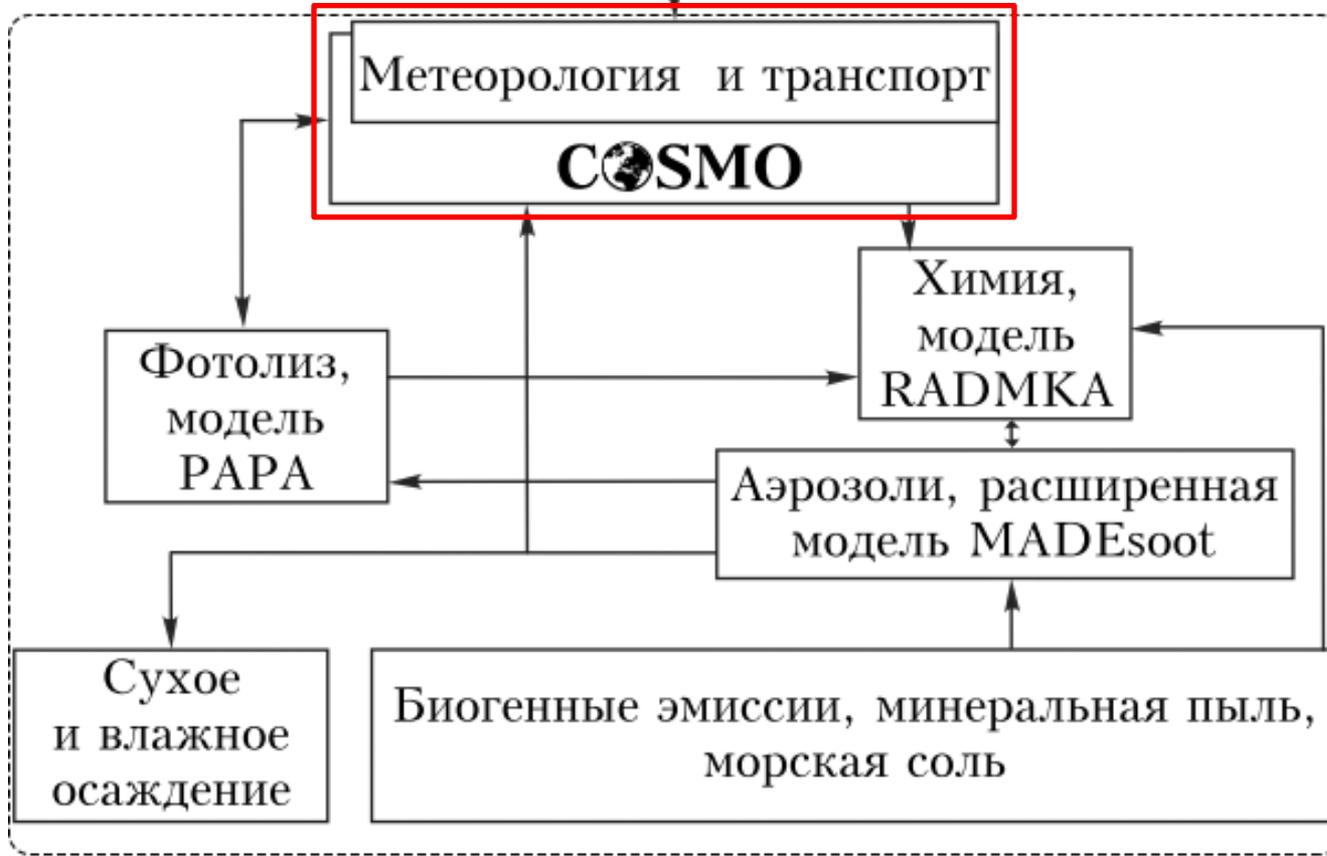
— ПДК_{мир} — ПДК_{сс}

СТРУКТУРА COSMO-ART

Глобальная
метеорологическая
модель

(**CO**nsortium for **S**mall-scale **MO**delling)

(**A**erosols and **R**eactive **T**race gases)



- негидростатическая мезометеорологическая модель

- химические реакции

- фотодиссоциация

- коагуляция

- конденсация

- нуклеация

- осаждение

- вымывание

- **обратные связи**

Пирогенные эмиссии, связанные с лесными пожарами, т.п.

Данные о землепользовании

Антропогенные эмиссии

Биогенные эмиссии, минеральная пыль, морская соль

Сухое и влажное осадение

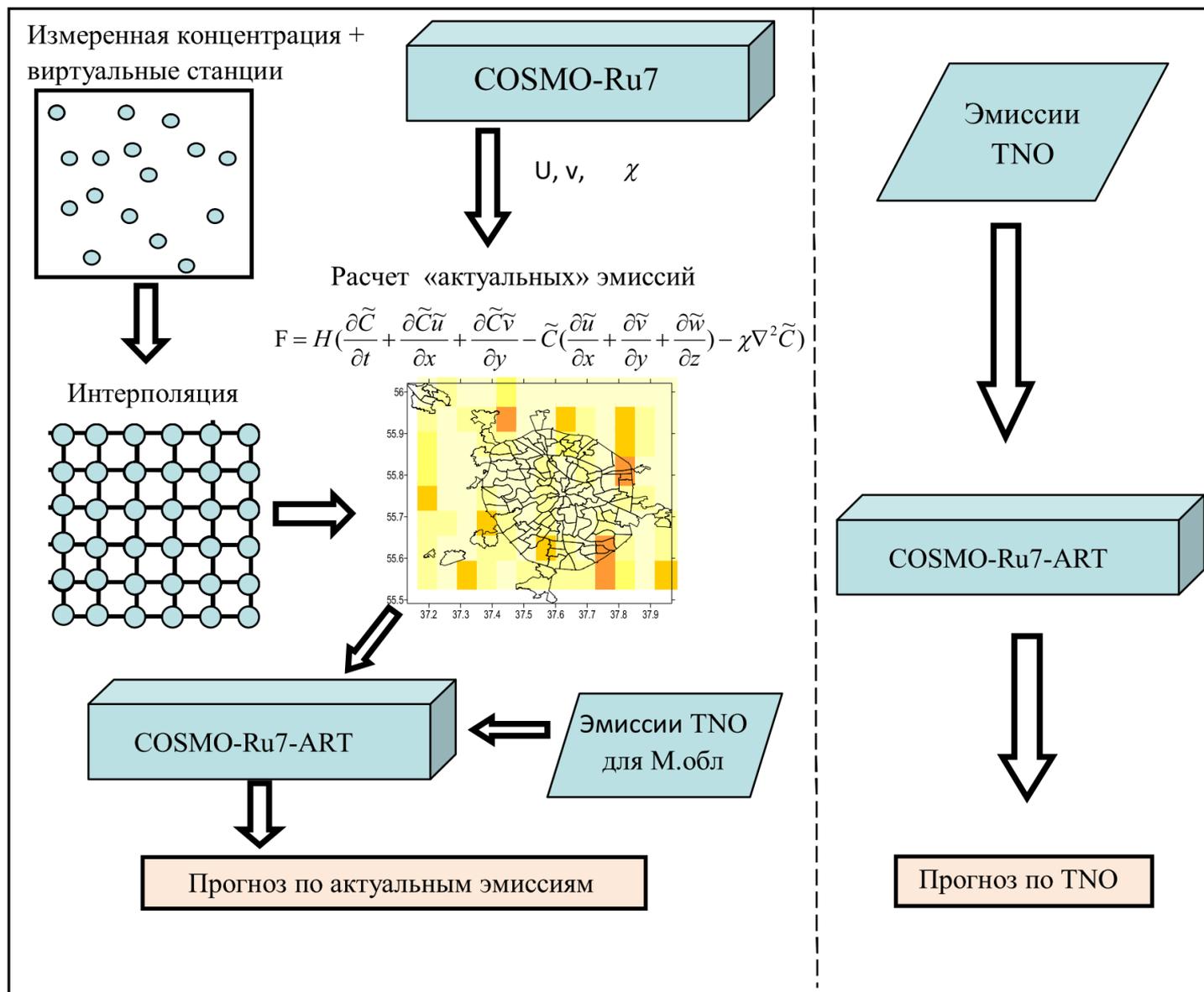
Фотолиз, модель PAPA

Химия, модель RADMKA

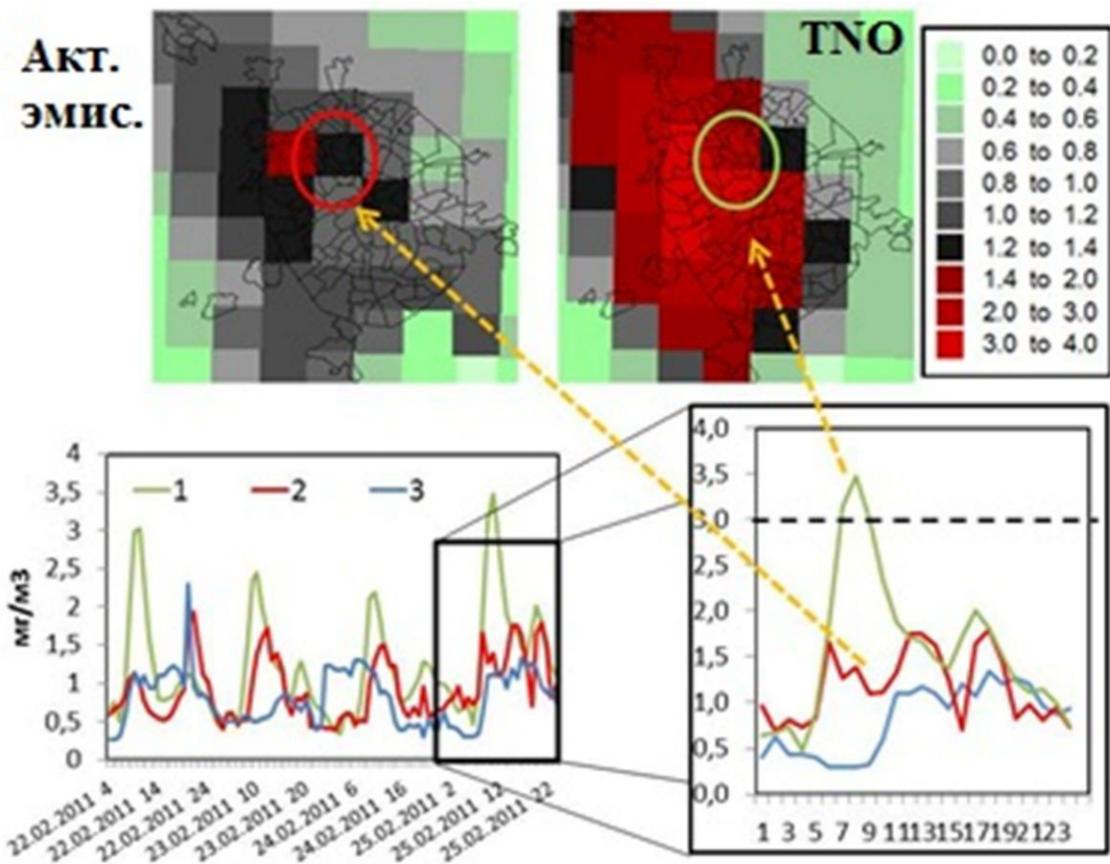
Аэрозоли, расширенная модель MADEsoot

Метеорология и транспорт
COSMO

СХЕМА ПРОГНОЗА КОНЦЕНТРАЦИИ СО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «АКТУАЛЬНЫХ» ЭМИССИЙ

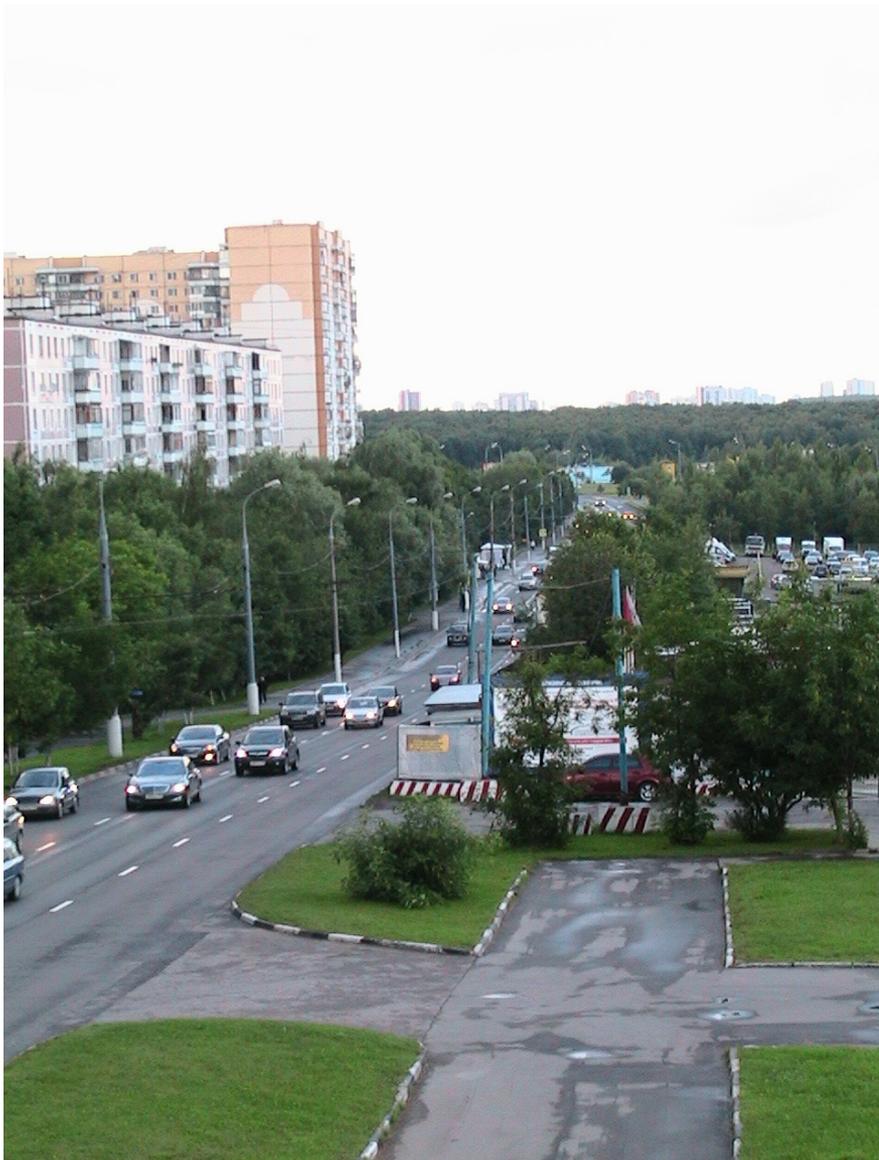


ПРОГНОЗ КОНЦЕНТРАЦИИ СО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «АКТУАЛЬНЫХ» ЭМИССИЙ



Пространственное распределение концентрации СО в 8 ч. 25 февраля (сверху) и особенности суточного хода концентрации СО в районе станции МАДИ в рассматриваемый период по данным прогноза на 1 сутки, осуществленного моделью COSMO-Ru7-ART (снизу) с использованием эмиссий TNO (1-зеленый цвет); актуальных эмиссий (2- красный цвет). (3- синий цвет) - данные наблюдений. 3.0 - ПДК с.с, Мг/м³

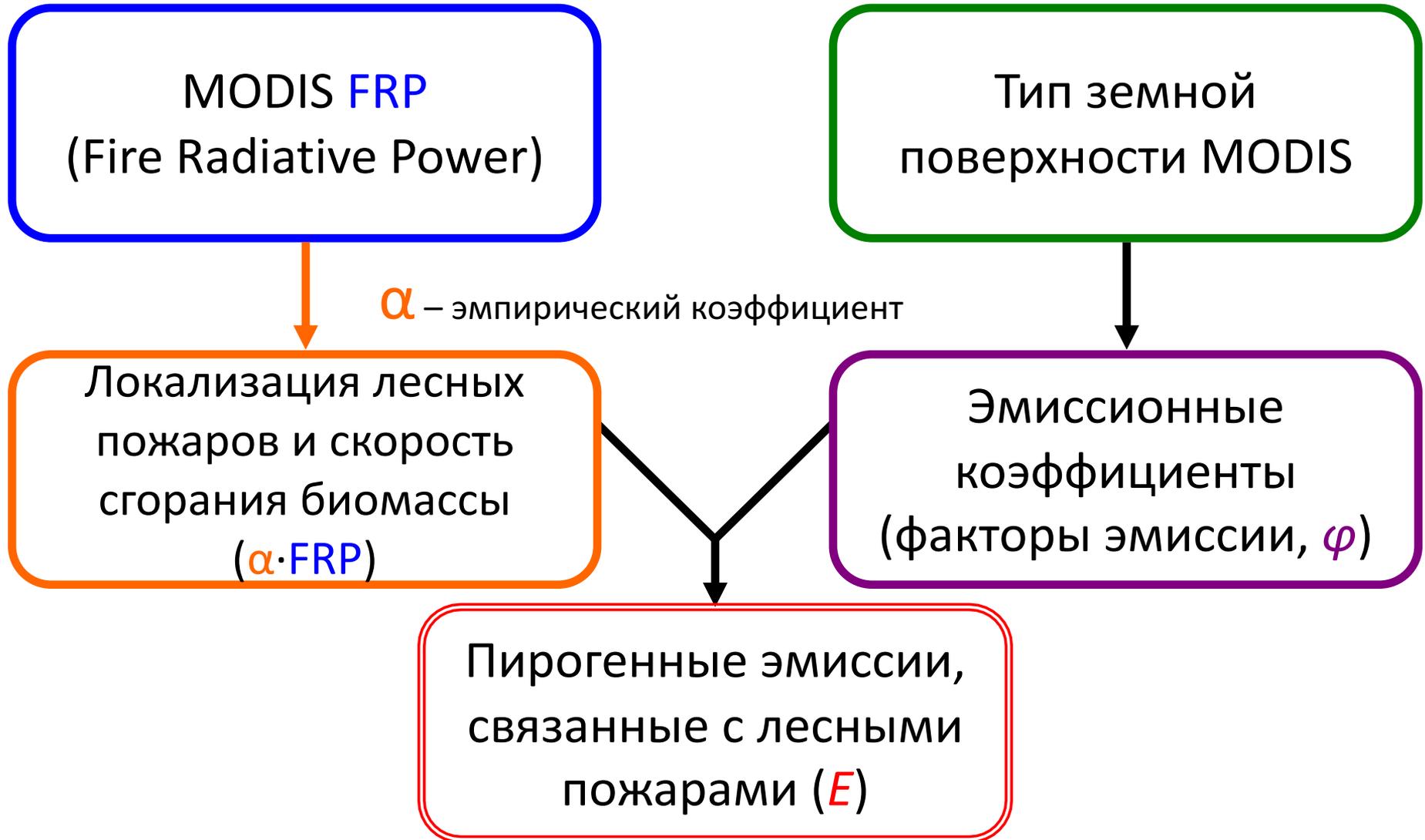
ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ ЛЕТА 2010 ГОДА



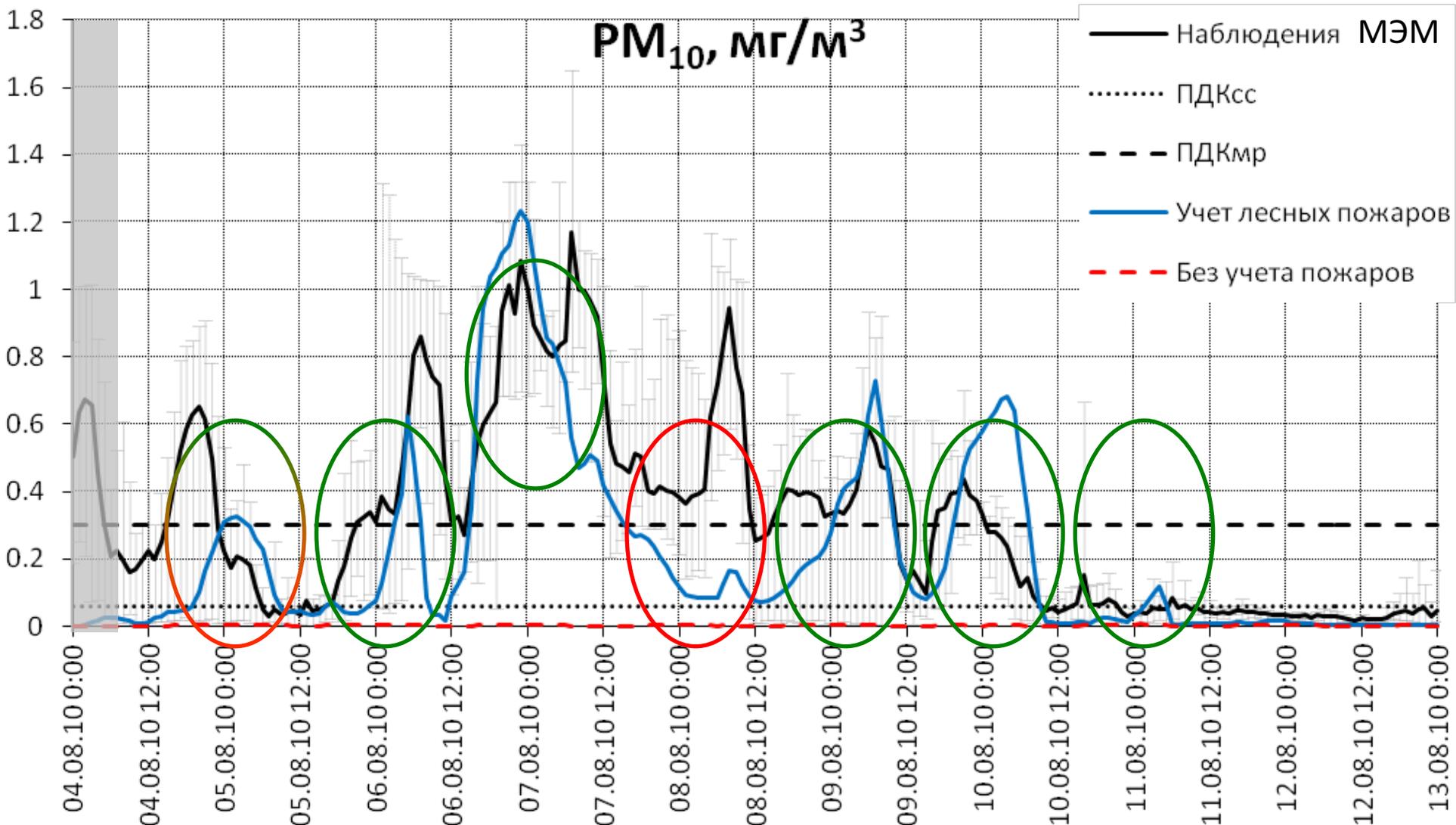
Москва, ул. Айвазовского (слева — 17 июня 2010, 20:22, до начала пожаров; справа — 7 августа 2010, 17:05)

Расчет эмиссий загрязняющих веществ в атмосферу от очагов лесных пожаров с использованием спутниковых данных **MODIS**

$$E = \varphi \cdot \alpha \cdot FRP$$



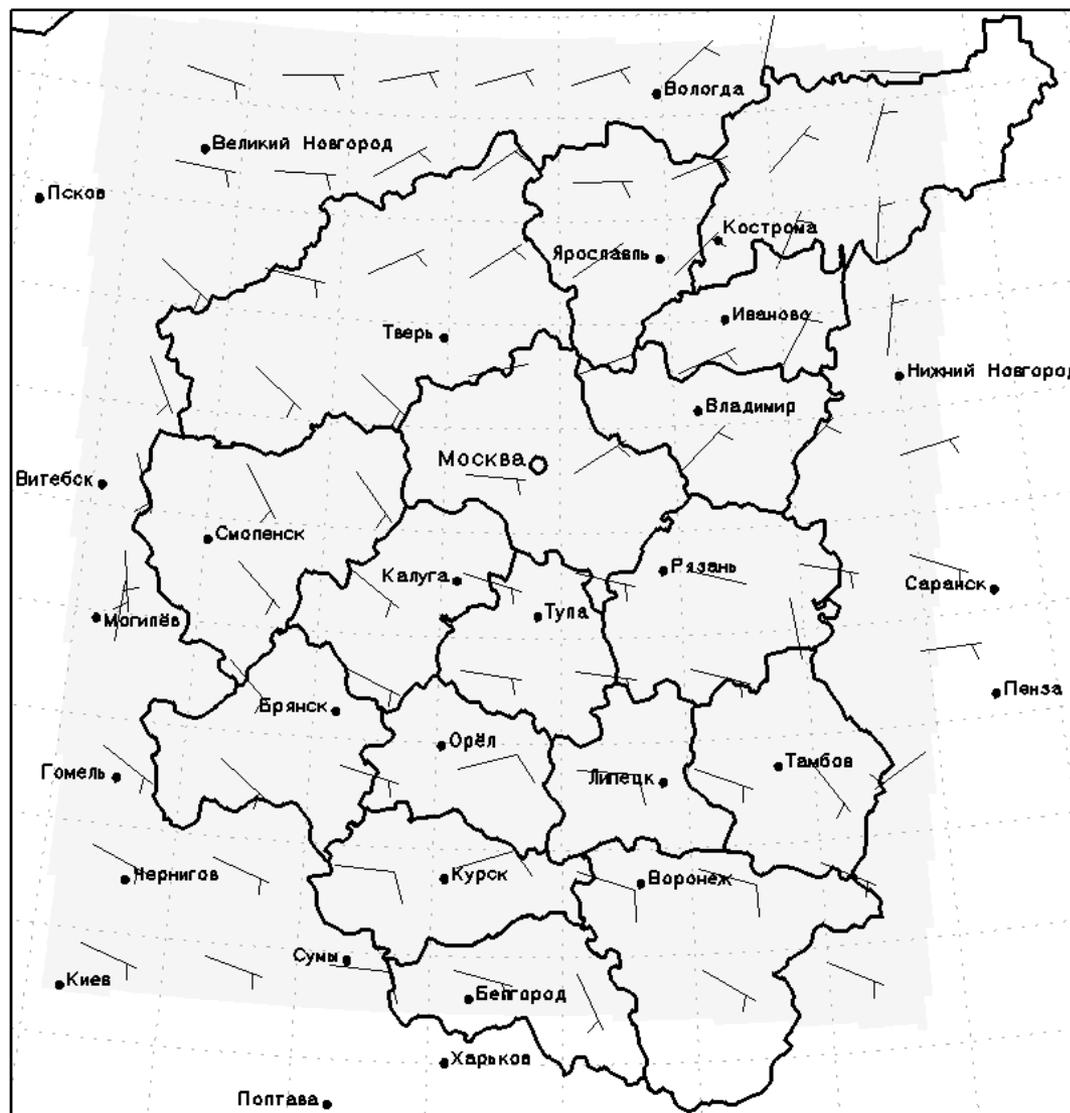
ПРОГНОЗ КОНЦЕНТРАЦИИ PM_{10}



- **без учета лесных пожаров** – только антропогенные эмиссии
- **учет лесных пожаров** – применение метода расчета пирогенных эмиссий
- ПДКмр – предельно допустимая концентрация максимальная разовая = 0,3 мг/м³
- ПДКсс – предельно допустимая концентрация среднесуточная = 0,06 мг/м³

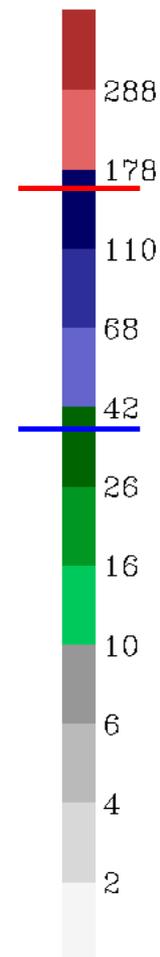
ПРОГНОЗ КОНЦЕНТРАЦИИ PM_{2.5}

00:00 04АВГ2010 (UTC) Концентрация PM_{2.5}, мкг/м³



Можно отметить:

- большую пространственную изменчивость концентраций
- вынос в вышележащие слои в полдень
- наивысшие концентрации при прохождении шлейфа через Москву



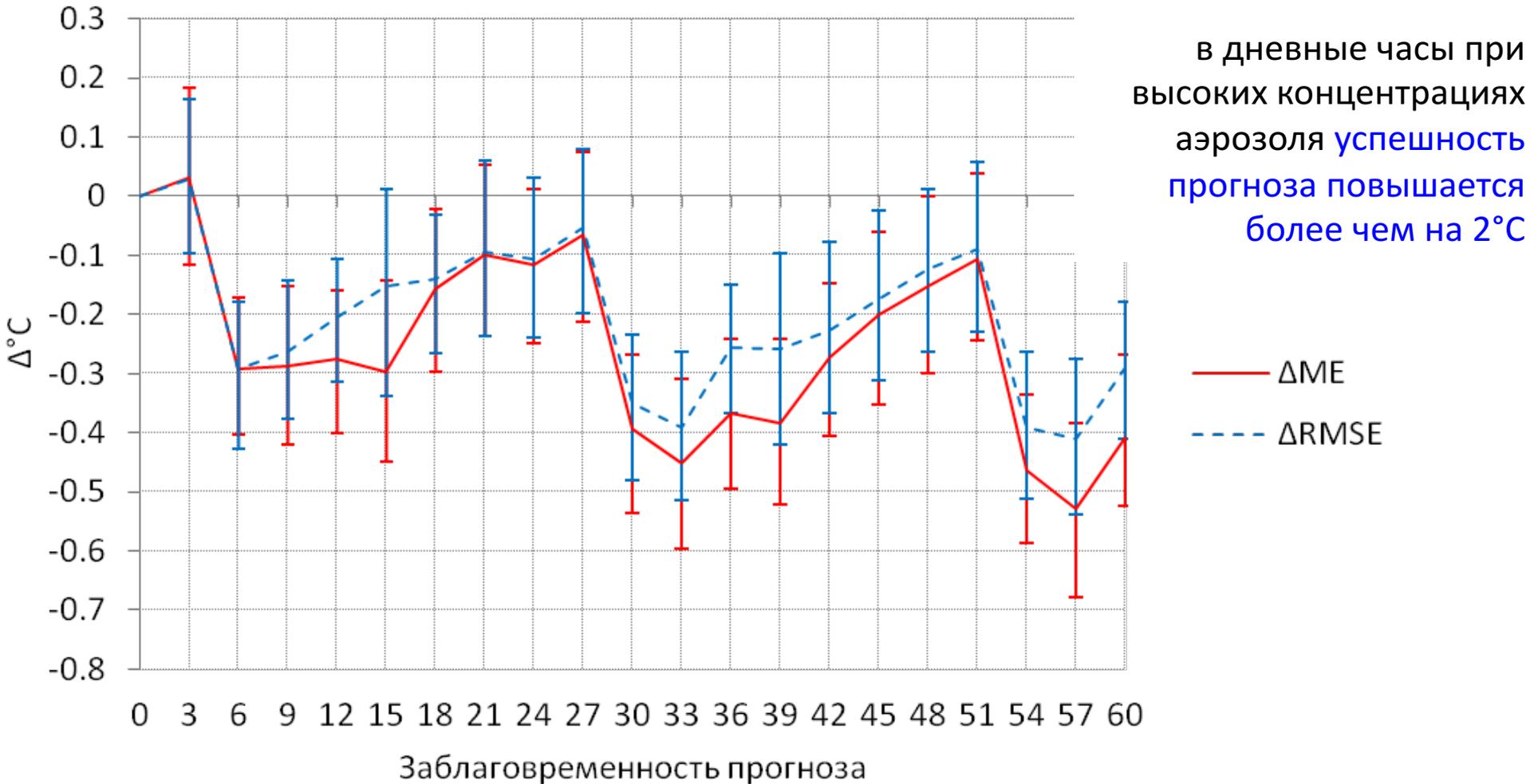
— ПДК_{мр} ПДК_{мр} = 160 мкг/м³

— ПДК_{сс} ПДК_{сс} = 35 мкг/м³

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С УЧЕТОМ ОБРАТНОГО ВЛИЯНИЯ АЭРОЗОЛЯ НА РАДИАЦИЮ И БЕЗ УЧЕТА ОБРАТНОГО ВЛИЯНИЯ

- использован стандартный пакет верификации стран-членов консорциума COSMO – **VERSUS** (**VER**ification **S**ystem **U**nified **S**urvey)
- рассчитаны средние и среднеквадратические ошибки прогноза по сравнению с наблюдениями **164 метеорологических станций** в области от 30° в.д. до 45° в.д., от 50° с.ш. до 60° с.ш. (**по всей области расчета**, Центральный федеральный округ)
- рассчитаны **доверительные интервалы** с уровнем доверия 0,95
- для **контроля качества наблюдений** использован критерий правдоподобия, используемый в консорциуме COSMO: исключаются наблюдения, если их разность с прогнозом превышает 30° для T2m и Td2m, 25 гПа для PMSL, 50 м/с для скорости ветра на высоте 10 м

РАЗНОСТЬ ОШИБОК ПРОГНОЗА Т2М С УЧЕТОМ ОБРАТНОГО ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ВОЗДУХА НА РАДИАЦИЮ И БЕЗ УЧЕТА ОБРАТНОГО ВЛИЯНИЯ



$$ME = ME_{\text{обр.связи}}$$

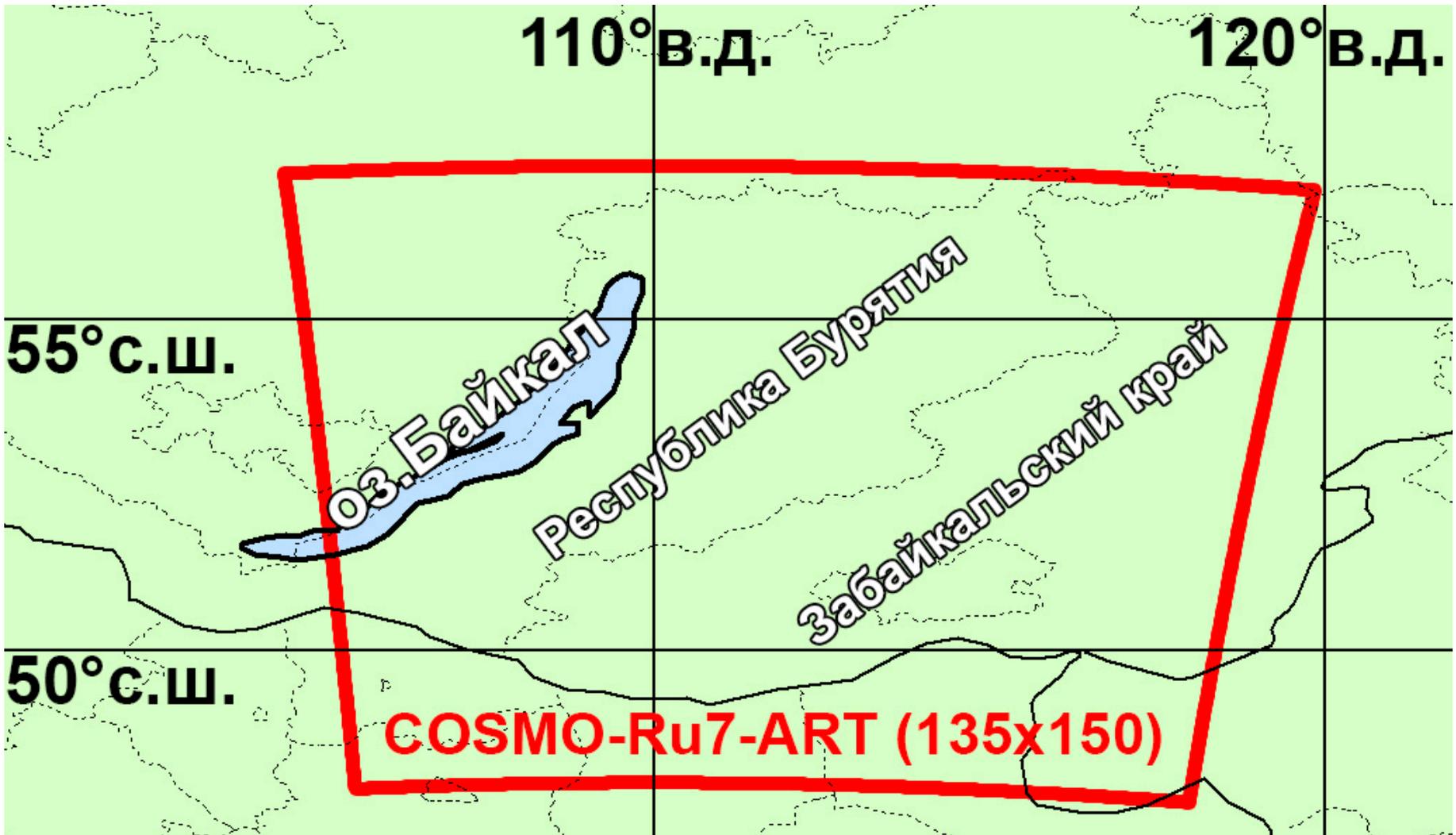
$$ME_{\text{контр.}}$$

$$RMSE = RMSE_{\text{обр.связи}}$$

$$RMSE_{\text{контр.}}$$

Контр. – эксперимент без учета обратного влияния состава воздуха на радиацию
 Обр.связи – эксперимент с учетом обратного влияния состава воздуха на радиацию

ПРОГНОЗ ДЛЯ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ И РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ ¹⁷



- прогноз на 48 часов от 0:00 ВСУ [12.05.2015](#)
- [нет антропогенных эмиссий](#), начальные и граничные условия глобальной модели ICON

ICON-LAM-ART



ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЛАНЫ

- Оптимизация **реакций** для ICON-LAM-ART
- Эксперименты с меньшим **шагом по пространству**
- Исследование влияния состава воздуха на **потоки радиации**
- Уточнение антропогенных **эмиссий**
- Прогноз распространения **пыльцы**

Спасибо за внимание!

Авторы выражают благодарность многочисленным сотрудникам [ФГБУ «Гидрометцентр России»](#), [кафедры метеорологии и климатологии](#) Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова и [Главного вычислительного центра Росгидромета](#), их руководителям Р.М. Вильфанду, А.В.Кислову и С.В.Лубову за внимание к нашей работе и ценным советам при ее выполнении и обсуждении, [ГПБУ "Мосэкомониторинг"](#) за предоставленные данные измерений автоматических станций контроля загрязнения атмосферы, сотрудникам [Технологического института Карлсруэ](#) (KIT, Германия) В. Vogel, Н. Vogel и их коллегам за сотрудничество и ценные консультации в рамках использования блока ART, сотрудникам [Нидерландской организации прикладных научных исследований](#) (TNO) H.D. van der Gon и его коллегам за предоставление данных об эмиссиях и сотруднику [Швейцарской федеральной лаборатории материаловедения и технологии](#) (EMPA) D. Brunner, который перевел эти ежегодные данные в ежечасные на сетке COSMO-Ru7-ART.