

**КОНФЕРЕНЦИЯ D**

**ФИЗИКА ТРОПОСФЕРЫ**

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ В Г. ТОМСКЕ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ CAMx

Стребкова Е.А., Барт А.А., Старченко А.В.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

e-mail: [kateks93@mail.ru](mailto:kateks93@mail.ru), [bart@math.tsu.ru](mailto:bart@math.tsu.ru), [starch@math.tsu.ru](mailto:starch@math.tsu.ru)

Представлены результаты численного моделирования концентраций малых составляющих загрязняющих веществ атмосферного воздуха в городе Томске, полученные с помощью модели CAMx. Для отдельных дат представлены результаты сравнения моделирования с использованием модели CAMx с данными измерений, выполненными на ТОР-станции ИОА СО РАН.

## 1. Введение

Процессы, протекающие в атмосферном пограничном слое, оказывают существенное влияние на жизнь и деятельность человека. Особо следует выделить ухудшение качества приземного воздуха, обусловленное изменением его химического и аэрозольного состава в процессе интенсивной деятельности человека на крупных урбанизированных территориях. Химические и фотохимические реакции, протекающие в атмосфере в черте города, могут приводить к образованию смога, некоторые компоненты которого характеризуются высокой токсичностью и ослабляют видимость. Поэтому вопрос обеспечения мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы над населёнными пунктами и их близлежащими территориями актуален. В настоящее время создан ряд отечественных и зарубежных программных комплексов в основе которых лежат сложные математические модели, которые помогают в исследованиях атмосферных погодных явлений и качества атмосферного воздуха.

## 2. Модель CAMx (Comprehensive Air Quality Model with extensions)

Это некоммерческая система с открытым программным кодом для проведения наукоёмких исследований, которая является вычислительно эффективной, гибкой и публично доступной [1]. Fortran-код модели имеет модульный характер и хорошо документирован. Система требует адаптации и настройки под условия расчётной области и подготовки входных данных с помощью пользовательских препроцессорных программ или готового вспомогательного программного обеспечения. Именно поэтому CAMx используют при моделировании качества воздуха за рубежом [2,3].

Основу CAMx представляет фотохимическая дисперсная модель качества атмосферного воздуха, которая позволяет, по рассчитанным значениям концентраций, проводить оценки

загрязнений озонном, мелкими частицами, аэрозолями и другими вредными веществами в масштабах города или континента.

Как и для любой модели, для САМх нужно задавать условия моделирования, среди них следующие: (рис. 1)

- точечные и сеточные источники выбросов загрязнителей воздуха включаются в модель с помощью внешних (пользовательских) предпроцессорных программ, учитывающих качество загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, в том числе и дыма, информацию с измерительных приборов, информацию об антропогенных источниках выбросов и др.;

- метеорологические исходные данные для расчёта с помощью САМх получаются с помощью моделей численного прогноза погоды: мезомасштабных или региональных;

- в САМх используются многокомпонентные газовые механизмы химических реакций, для применения которых нужна информация об общем атмосферном озоновом слое;

- так же САМх учитывает географические особенности расчётной области, такие как физическое описание поверхности Земли и индекс растительного покрова;

- при проведении расчётов по модели САМх начальные значения для определения фоновых концентраций загрязняющих веществ выбирают из следующих соображений: анализа расчётной области с учётом данных наблюдений и измерений в зоне расчётной области.



Рисунок 1 - Схема входных данных модели прогнозирования качества воздуха САМх

Важной особенностью модели является поддержка расчетов на вложенных сетках, что обеспечивает высокое разрешение для решения мелких воздействий в отдельных локальных областях.

### 3. Аprobация модели САМх на условиях, свойственных г. Томску

При проведении расчётов рассматривалась область 50х50 км с горизонтальным разрешением сетки 1 км и 17-ю вертикальными уровнями, совпадающими с вертикальными уровнями, используемыми для получения метеорологических полей. Нижний уровень расположен на высоте 28м от земной поверхности.

Для проведения достоверного прогноза и анализа качества воздуха необходимы метеорологические данные. Для их получения использовалась современная мезомасштабная метеорологическая модель WRF (Weather Research & Forecasting), адаптированная к условиям

г. Томска. С помощью вспомогательного программного обеспечения исходные файлы WRF преобразуются в метеорологические входные файлы для запуска расчёта по модели CAMx.

В данных по антропогенным источникам выбросов предполагается, что интенсивность поступления примеси от автомобилей изменяется в течении суток, а при моделировании влияния точечных источников используются параметры крупных дымовых труб (местоположение, высота и диаметр) и характеристики выбросов (температура, скорость истечения, состав).

В качестве фоновых концентраций загрязняющих веществ учитываются измерения ТОР-станции с учётом её положения относительно города.

В качестве доступных опций модели CAMx был выбран механизм химических реакций Carbon Bond 6.

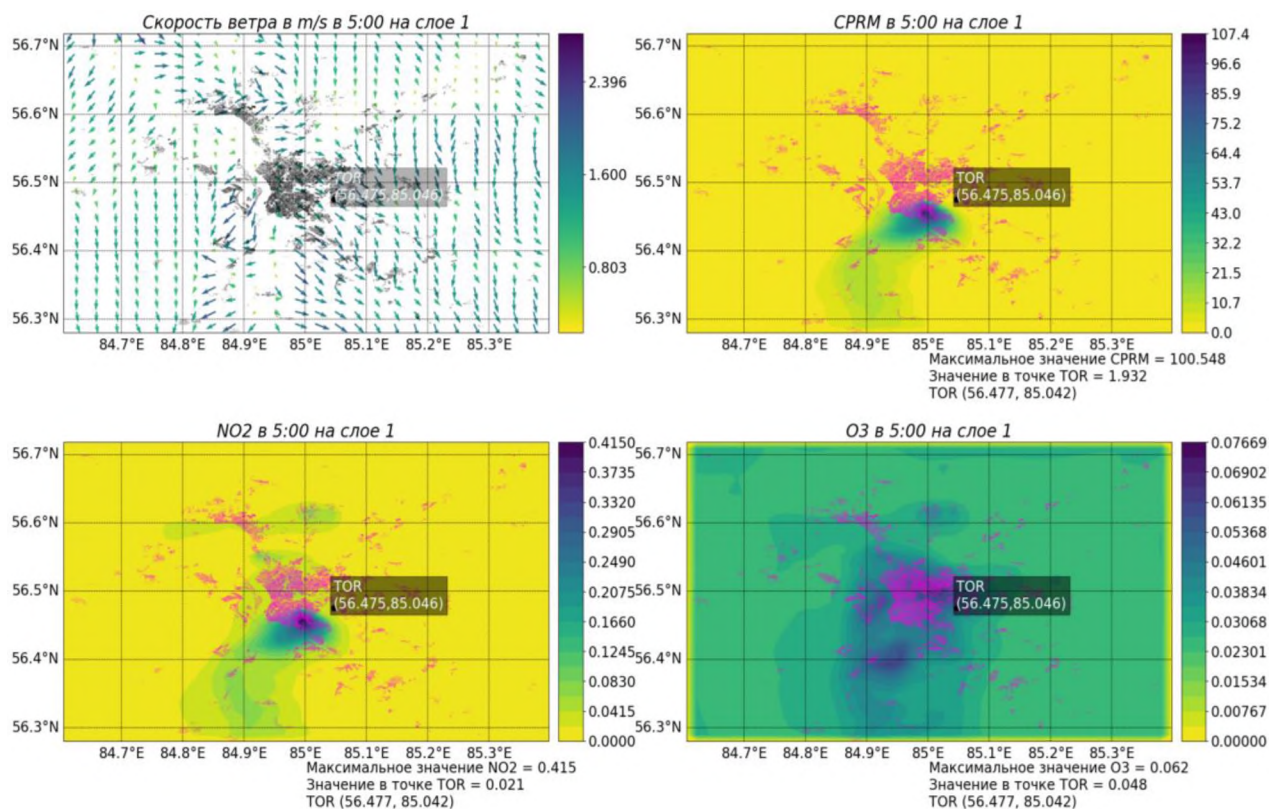


Рисунок 2 – Распространение приземного ветра и концентраций CPRM(мкг/м<sup>3</sup>), NO<sub>2</sub>(ppm) и O<sub>3</sub>(ppm) 23.08.2012 в момент времени 5:00 на 1-ом расчётном слое на высоте 28м

Ни рис. 2 приведены результаты расчётов, выполненных с помощью модели WRF и системы CAMx: поле приземного ветра, изменение концентраций CPRM (первичных аэрозолей 10мкм), диоксида азота и озона для выбранной даты 23.08.2012 г. в 5:00 местного времени. Центр города имеет координаты (56,5° с.ш. и 85° в.д.). Из рисунка видно, что южнее центра г. Томск имеет место повышенный уровень загрязнения приземного воздуха как частицами пыли

(сажи), так и газообразными примесями. Уровень концентрации приземного озона не превышает предельно допустимых значений.

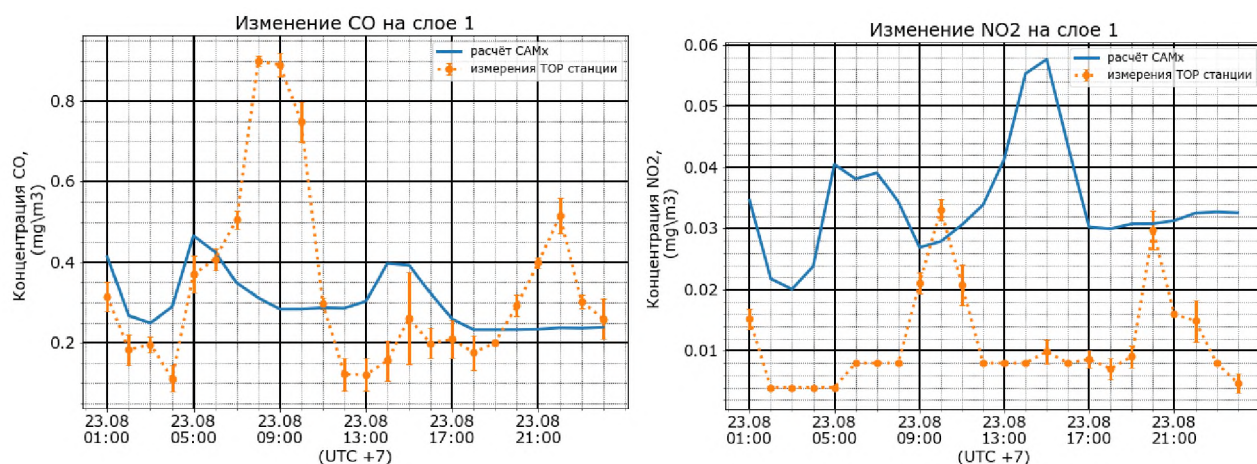


Рисунок 3 - Сравнение расчётов CAMx и измерений TOP-станции ИОА СО РАН для выбранной даты 23.08.2012 г.

На рис. 3 приведено сравнение результатов расчётов, выполненных с помощью системы CAMx с результатами измерений TOP-станции ИОА СО РАН для выбранной даты 23.08.2012 г.

Несмотря на то, что измерения проводятся в некоторой точке рассматриваемой области, а рассчитанные значения концентрации представляют собой значения, осреднённые по ячейке размером 1x1 км, имеет место неплохое соответствие численного прогноза и наблюдений, хотя некоторые измеренные TOP-станцией всплески концентраций модели уловить не удалось. Это, по-видимому, связано с неучтенным источником загрязнения воздуха, влияние которого при слабом ветре с 4 до 10 утра 23.08.2012г. оказало заметное влияние на уровень загрязнения воздуха в районе TOP-станции.

1. Ramboll Environ. CAMx usersguide v6.50 [электронный ресурс]. URL://[http://www.camx.com/files/camxusersguide\\_v6-50.pdf](http://www.camx.com/files/camxusersguide_v6-50.pdf)

2. Ruoming L., Cheng H., Qi Y., Li H., Yan Zh., Weichun M. Investigating the influence of the implementation of an energy development plan on air quality using WRF-CAMx modeling tools: a case study of Shandong province of China // Atmosphere 2019, Vol.10, Issue 10, P. 660.

3. Duncer A., Koo B., Yarwood G. Contributions of foreign, domestic and natural emissions to US ozone estimated using the path-integral method in CAMx nested within GEOS-Chem // Atmos. Chem. Phys., 2017, Vol. 17, P.12553-12571.