

PROCEEDINGS OF SPIE

# ***27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics***

**Gennadii G. Matvienko**  
**Oleg A. Romanovskii**  
*Editors*

**5–9 July 2021**  
**Moscow, Russian Federation**

*Organized by*

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Russian Federation)  
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS (Russian Federation)  
M.A. Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics RAS (Russian Federation)  
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS (Russian Federation)  
V.M. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS (Russian Federation)

*Sponsored by*

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Russian Federation)  
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Russian Federation)  
"Atmosphere" an Open Access Journal by MDPI (Switzerland)  
SOLAR LASER SYSTEM (Belarus)  
Photonics Journal (Russian Federation)

*Published by*  
SPIE

**Volume 11916**  
**Part One of Three Parts**

Proceedings of SPIE 0277-786X, V. 11916

SPIE is an international society advancing an interdisciplinary approach to the science and application of light.

**КОНФЕРЕНЦИЯ D**

**ФИЗИКА ТРОПОСФЕРЫ**

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ГОРОДЕ ПРИ СЛАБОМ ВЕТРЕ

Старченко А.В.<sup>1,2</sup>, Шельмина Е.А.<sup>1,3</sup>, Кижнер Л.И.<sup>1</sup>, Одинцов С.Л.<sup>2,1</sup>, Проханов С.А.<sup>1</sup>,  
Стребкова Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

<sup>3</sup>Томский университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

e-mail: starch@math.tsu.ru, eashelmina@mail.ru, kdm@mail.tsu.ru, odintsov@iao.ru,  
viking@math.tsu.ru, kateks@mail.ru

Представлены результаты численного моделирования изменения приземных метеорологических параметров и концентраций газовых и аэрозольных компонент примеси над городом Томск для условий слабого ветра. Для численного моделирования привлекаются разрабатываемые в ТГУ и ИОА СО РАН мезомасштабные модели численного прогноза погоды и качества атмосферного воздуха. Для отдельных дат 2020 года выполнено сравнение результатов расчетов численного моделирования с данными наблюдений за приземными метеорологическими параметрами, концентрациями газовых и аэрозольных компонент примеси, выбрасываемой городскими источниками. Данные наблюдений были получены с использованием приборов ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН.

Процессы, происходящие в атмосферном пограничном слое, оказывают существенное влияние на жизнь и деятельность человека. Опасность для жизнедеятельности представляет и ухудшение качества приземного воздуха, обусловленное вариациями его газового и аэрозольного состава вследствие природных катаклизмов, антропогенных выбросов или аномальных метеорологических условий, приводящих к образованию смога, многие компоненты которого характеризуются высокой токсичностью и ослабляют видимость [1]. Важно подчеркнуть, что дальнейшее развитие городов с их инфраструктурой, значительным увеличением парка автомобилей приводит к росту повторяемости опасных загрязнений приземного воздуха, которые часто наблюдаются при слабом ветре.

Целью данной работы является исследование характерных особенностей загрязнения приземного воздуха города Сибирского региона и его окрестностей газовыми и аэрозольными примесями воздуха при слабом ветре. Для проведения исследования и настройки моделей привлекается приборная база ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН.

Для численного моделирования изменения метеорологических параметров над ограниченной территорией применяется негидростатическая мезомасштабная модель TSUNM3 [2]. Начальные и боковые граничные условия для модели TSUNM3 задаются на основе результатов численного прогноза погоды с разрешением  $0,186 \times 0,225^\circ$  над Томской областью

оперативной глобальной моделью SL-AV [3] Гидрометцентра РФ. Мезомасштабная модель TSUNM3 прогнозирует составляющие скорости ветра и температурно-влажностные характеристики в пограничном слое атмосферы на 50 вертикальных уровнях (до 10000 м) для территории 150×150 км и вложенной в нее области с основанием 50х50 км (шаг сетки 1 км с центром в городе Томск, 85° в.д. и 56,5° с.ш.).

Для расчета концентрации компонентов примеси, поступающих и образующихся в атмосфере города в результате химических и фотохимических реакций, применяется эйлерова континуальная модель турбулентной диффузии, включающая нестационарные уравнения переноса [4]. Эта модель при расчетах использует полученные с помощью модели TSUNM3 поля скорости ветра, температуру, влажность и турбулентные характеристики атмосферного пограничного слоя. Кроме того, модель переноса учитывает сухое и влажное осаждение компонент примеси, а также поступление первичных загрязнителей воздуха и химические взаимодействия между компонентами примеси. Поступление первичных загрязнителей атмосферного воздуха рассматривается от наземных источников – автомобильного транспорта, движущегося по автомобильным дорогам города, и от приподнятых источников – труб промышленных предприятий и объектов теплоэнергетики. Для описания химических и фотохимических реакций в данной работе предлагается использовать кинетическую схему, полученную с использованием двух хорошо апробированных сокращенных химических механизмов реакций [4]. Полученная модифицированная кинетическая схема позволяет моделировать генерацию аэрозольных частиц размером 2,5 мкм и 10 мкм в атмосфере города, а также образование приземного озона. В расчетах характеристик качества приземного воздуха рассматривается область размером 50 х 50 км с шагом 500 м, в центре которой находится г. Томск.

На рисунке 1 представлены результаты численных расчетов и измерений ЦКП «Атмосфера». Расчеты по моделям WRF и TSUNM3 показывают характер изменения с течением времени 1.03.2020 приземных значений температуры, скорости и направления ветра в пунктах «Center» (совпадает с центром г. Томск), «Аеропорт» (аэропорт г. Томск Богашево на расстоянии около 12 км от центра по юго-восточному направлению), «IAO» (расположение лабораторного корпуса ИОА СО РАН, на крыше которого установлена ультразвуковая метеостанция (УЗМ) «Метео-2», относится к городской местности, 4 км на восток от центра г. Томск), «ВЕС» (совпадает с расположением Базового экспериментального комплекса ИОА СО РАН, находится на расстоянии 6 км на восток от центра города, УЗМ «Метео-2» размещен на большой поляне, окруженной лесопосадками). В течение суток 1 марта на фоне повышенного давления отмечалась ночью преимущественно ясная погода, утром облака нижнего яруса с

нижней границей до 240 м. Наблюдаемые температура и ветер даны на рисунке 1. Из рисунка видно, что модели вполне удовлетворительно предсказывают измеренные значения скорости и направления ветра. Несколько более заметное влияние на эти характеристики оказывает влияние города при применении модели TSUNM3. Последнее можно объяснить в использовании в этих моделях различного поверхностного распределения городской категории землепользования для г. Томск. По этой же причине модель TSUNM3 численно прогнозирует различие приземной температуры в городе и за городом в ночные и утренние часы 01.03.2020, которое также было отмечено и в наблюдениях ЦКП «Атмосфера».

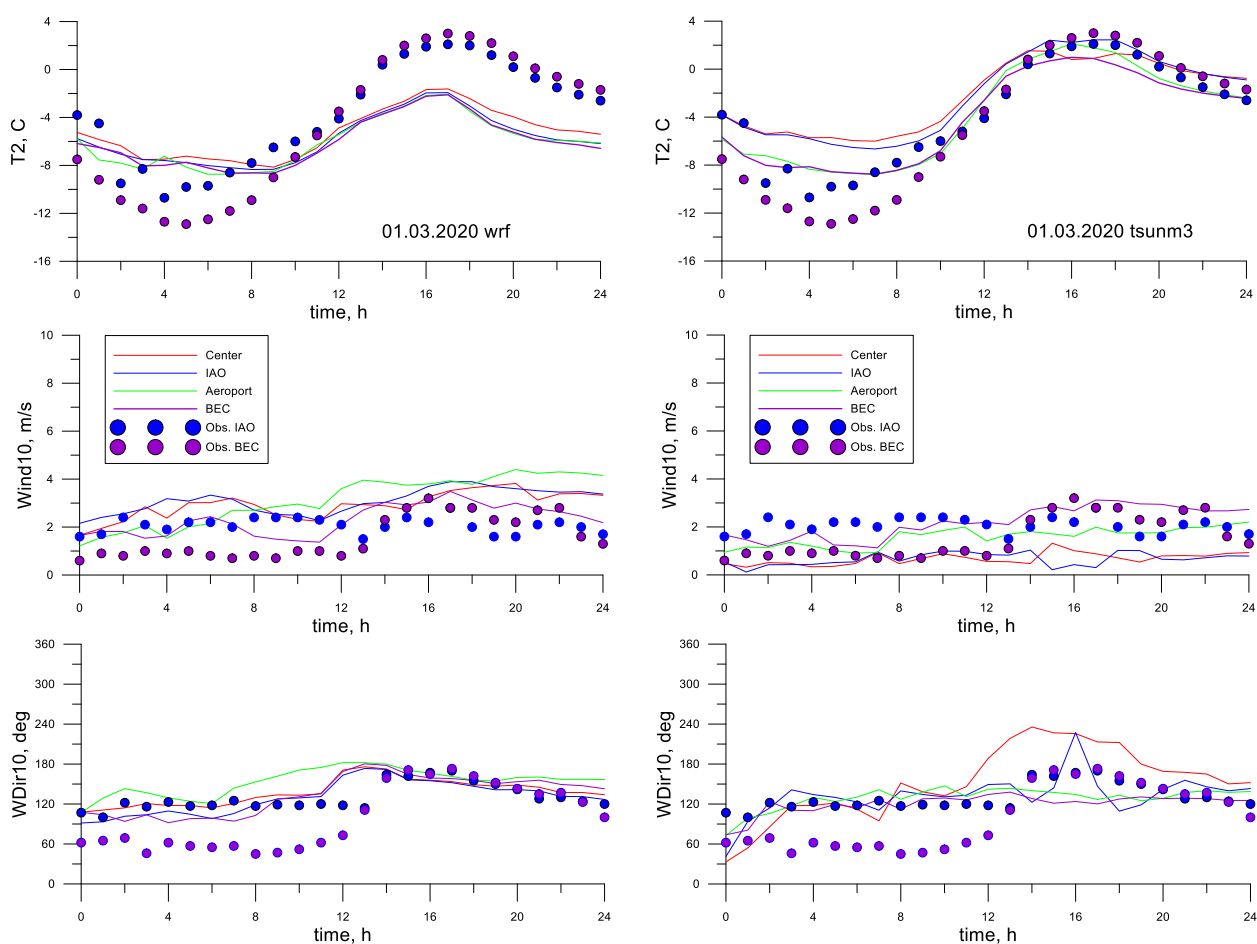


Рисунок 1 – Рассчитанные (линии) и измеренные (кружки) значения приземной температуры на высоте 2 м T2, модуля горизонтального ветра Wind10 и направления WDir10 на высоте 10м в некоторых пунктах. Слева – расчет с использованием модели WRF, справа – TSUNM3

На рисунке 2 изображены рассчитанные с помощью модели TSUNM3 и разрабатываемой модели качества воздуха и измеренные на TOP-станции ИОА СО РАН [5] значения приземных концентраций газовых (оксида углерода CO, озона O3, диоксида азота NO2) и аэрозольных (частиц размером не больше 2,5 мкм PM2.5) компонент примеси.

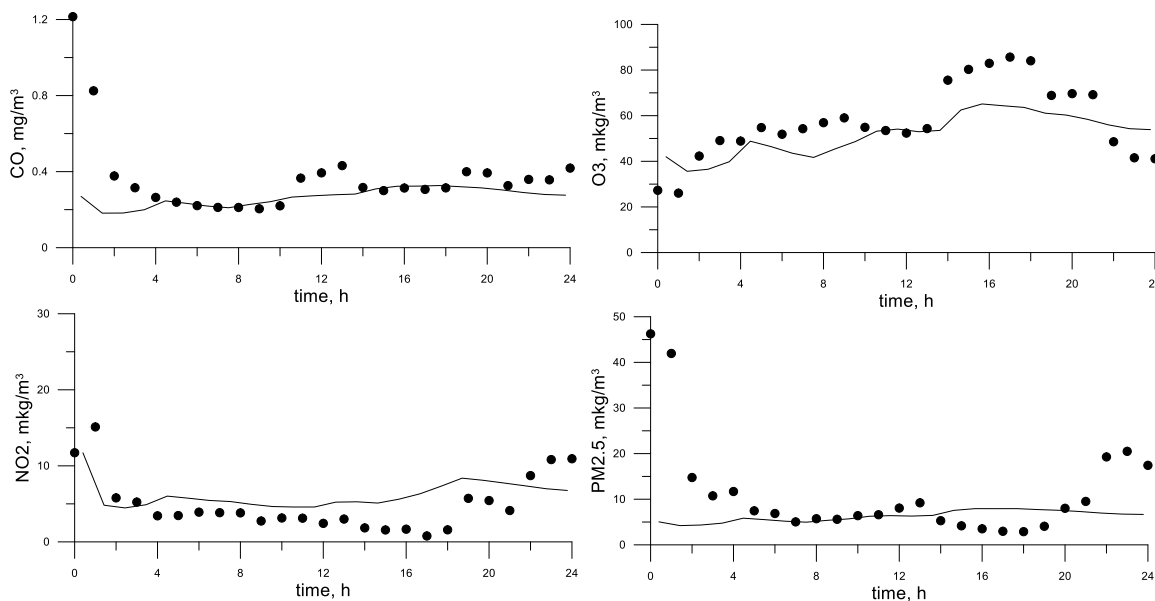


Рисунок 2 – Рассчитанные (линии) и измеренные (значки) приземные значения газовых и аэрозольных компонент примеси в районе ТОР-станции ИОА СО РАН на 01.03.2020

При имеющейся неопределенности интенсивности выбросов наземных источников и фоновых значений компонентов примеси имеет место удовлетворительное согласование. Временные изменения примесей в течение суток рассчитаны с приемлемой точностью. Однако повышенные значения концентрации оксида углерода и частиц размером 2,5мкм в самом начале суток (0-1ч) не были отражены в модельных расчетах. В целом слабо меняющиеся с течением времени рассчитанные значения приземных концентраций могут быть обусловлены преобладающим юго-восточным направлением приземного ветра, при котором воздушные массы поступают с территорий с небольшой антропогенной нагрузкой.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-71-20042).

1. Пененко В.В., Цветова Е.А. Математические модели для изучения рисков загрязнения природной среды // ПМТФ. 2004, Т. 45. № 2. С. 136-146.

2. Старченко А.В., Барт А.А., Кижнер Л.И., Данилкин Е.А. Мезомасштабная метеорологическая модель TSUNM3 для исследования и прогнозирования состояния метеопараметров приземного слоя атмосферы над крупным населенным пунктом // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2020. № 66. С. 35-55.

3. Tolstykh M.A., Fadeev R.Yu., Shashkin V.V., Goyman G.S., Zariyov R.B., Kiktev D.B., Makhnorylova S V, Mizyak V.G., Rogutov V.S. Multiscale Global Atmosphere Model SL-AV: the Results of Medium-range Weather Forecasts // Russ. Meteorol.Hydrol. 2018. V.43. P. 773–779.

4. Starchenko A., Shelmina E., Kizhner L. Numerical Simulation of Meteorological Conditions and Air Quality above Tomsk, West Siberia // Atmosphere. 2020. Vol. 11, № 11. P. 1-15.

5. Аришинов М.Ю., Белан Б.Д., Зуев В.В., Зуев В.Е., Ковалевский В.К., Лиготский А.В., Мелешкин В.Е., Панченко М.В., Покровский Е.В., Rogov A.H., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н. ТОР-станция мониторинга атмосферных параметров // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 08. С. 1085-1092.