

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В Г. ТОМСК С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ WRF И CAMX

Стребкова Е.А.¹, Старченко А.В.^{1,2}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

e-mail: kateks93@mail.ru, starch@math.tsu.ru

Представлены результаты численного моделирования метеорологических параметров и концентраций малых составляющих загрязнителей приземного атмосферного воздуха в городе Томск, полученные с использованием моделей Weather Research & Forecasting (WRF) и Comprehensive Air quality Model with eXtensions (CAMx). Для отдельных дат результаты моделирования с использованием моделей WRF и CAMx сравниваются с данными наблюдений, полученными с помощью измерительной аппаратуры ИОА СО РАН.

Ухудшение качества приземного воздуха над крупными урбанизированными территориями за счёт антропогенного воздействия на атмосферу может послужить причиной возникновения неблагоприятных экологических условий. Поэтому вопрос обеспечения мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы над населёнными пунктами и их близлежащими территориями актуален [1].

В данной работе для исследования качества воздуха в г. Томск привлекались мезомасштабные модели – численного прогноза погоды WRF и качества атмосферного воздуха CAMx [2]. CAMx запускалась по метеорологическим полям, рассчитанным с использованием моделирующей системы WRF для области 50x50км, в центре которой располагался г. Томск. В качестве химического механизма в CAMx выбирался Carbon Bond6 с моделированием образования аэрозольных частиц, включающий в себя 216 разнообразных реакций химии и фотолиза газов, а в качестве химии аэрозолей — CF-схема — схема, которая рассматривает первичные аэрозоли как мелкие (до 2,5 мкм) и крупные (до 10 мкм) частицы, а вторичные (образовавшиеся в результате химических и фотохимических реакций) моделируются только как мелкие частицы. При проведении расчётов параметров качества атмосферного воздуха рассматривалась область 50x50 км с горизонтальным разрешением сетки 1x1 км и 17-ю вертикальными уровнями, совпадающими с вертикальными уровнями метеорологических полей. Нижний расчётный слой в рассматриваемых моделях находится на высоте 10м, что соответствует уровню измерений метеопараметров и концентраций компонентов примеси. В качестве фоновых концентраций загрязняющих веществ учитываются измерения TOR-станции с учётом её положения относительно города, когда набегающие потоки воздуха поступают с территорий с малой антропогенной нагрузкой. В таблице 1 представлены фоновые значения

основных загрязнителей атмосферного воздуха. Ввиду отсутствия покомпонентных наблюдений по аэрозолю, а также для других малых составляющих загрязнителей атмосферного воздуха, их фоновые концентрации задаются нулевыми.

Таблица 1. Пример задания фоновых значений концентраций

CO, ppm	SO ₂ , ppm	NO ₂ , ppm	O ₃ , ppm	NO, ppm
0,15	0,0045	0,0014	0,026	0,0004

В данных по антропогенным источникам выбросов предполагается, что интенсивность поступления примеси от наземных источников (автомобилей, движущихся по автомагистралям) изменяется в течение суток с максимумом в дневное время, а при моделировании влияния точечных источников используются параметры выбросов крупных дымовых труб промышленных предприятий, отмеченных значками на Рис. 1.

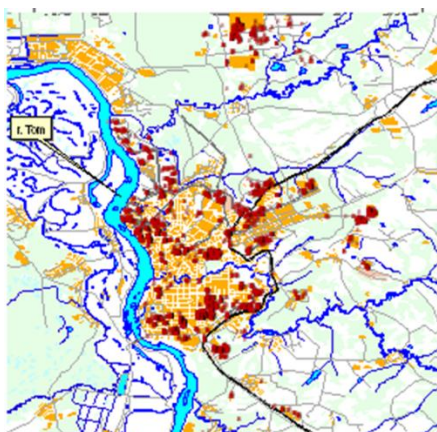


Рисунок 1 – Стационарные источники загрязнения атмосферы в г. Томск и его окрестностях

Проанализировав имеющиеся наблюдения за первые десять месяцев 2020 года, полученные с помощью метеорологических приборов на крыше лабораторного корпуса ИОА СО РАН - для метеорологических данных, и наблюдения TOR-станции - для концентраций газов, были выбраны несколько периодов для анализа, каждый из которых характеризовался повышенными концентрациями оксида углерода, диоксида азота и диоксида серы: с 9 по 16 января, с 22 по 24 января, с 16 по 18 февраля и с 29 февраля по 2 марта. Для этих исторических дат были проведены расчеты по комплексу мезомасштабных моделей с целью проведения их настройки, проверки достоверности численных прогнозов и изучения влияния метеорологической ситуации на качество приземного атмосферного воздуха в г. Томск.

Графический метод сравнения рассчитанных и наблюдаемых значений исследуемых величин даёт лишь качественный анализ и определяет согласованность численной модели с экспериментом. Для количественной проверки, помимо графического метода применяется статистический метод, который используется для оценки эффективности разномасштабных метеорологических моделей [3,4] и состоит из следующих показателей:

$$NMSE = \frac{\overline{(O - P)^2}}{\bar{O}\bar{P}}; \quad FB = \frac{\bar{O} - \bar{P}}{0,5(\bar{O} + \bar{P})}; \quad R = \frac{\overline{(P - \bar{P})(O - \bar{O})}}{\sigma_P\sigma_O}$$

$$FAC2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i, f_i = \begin{cases} 1, & \text{if } 0,5 \leq \frac{P_i}{O_i} \leq 2,0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}; \quad q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n N_i, N_i = \begin{cases} 1, & \text{if } \left| \frac{P_i - O_i}{O_i} \right| \leq 0,25 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

P_i - рассчитанная моделью величина, O_i - наблюдаемая величина. \bar{P} - среднее по модели, \bar{O} - среднее по наблюдениям. σ_P, σ_O - среднеквадратичное отклонение по модели (по наблюдениям) соответственно.

Чтобы можно было говорить об удовлетворительном качестве результатов модели, величины описанных выше статистических параметров должны принимать следующие значения: $FAC2 \geq 0,5$; относительная ошибка смещения в пределах $\pm 30\%$ от среднего (т.е. $\approx |FB| < 0,3$); $NMSE < 4$; $q \geq 0,66$; $R > 0,5$ [4].

В таблице 2 представлены рассчитанные значения статистических параметров для проверки качества численного прогноза по модели WRF на указанные даты.

Таблица 2. Показатели эффективности WRF модели для выбранных периодов

9-16.01.2020	FB	NMSE	FAC2	q	R	22-24.01.2020	FB	NMSE	FAC2	q	R
Temperature	-0.136744	0.049654	1.000000	0.622754	0.750000	Temperature	-0.149487	0.042217	1.000000	0.645833	0.940000
Wind speed	-0.384935	0.245260	0.790419	0.209581	0.570000	Wind speed	-0.379147	0.233699	0.916667	0.270833	0.870000
Wind direction	-0.141463	0.027054	1.000000	0.844311	0.440000	Wind direction	-0.061884	0.014648	1.000000	0.895833	0.770000
16-18.02.2020	FB	NMSE	FAC2	q	R	29.02-02.03.2020	FB	NMSE	FAC2	q	R
Temperature	-0.035250	0.038670	1.000000	0.693878	0.830000	Temperature	-0.425809	0.402632	0.666667	0.208333	0.810000
Wind speed	-0.434466	0.494416	0.673469	0.387755	0.530000	Wind speed	-0.356417	0.233438	0.875000	0.250000	0.770000
Wind direction	0.008351	0.193372	0.877551	0.653061	0.650000	Wind direction	0.098539	0.099949	0.958333	0.854167	0.710000

Как следует из таблицы 2 модель WRF несколько переоценивает скорость ветра, поэтому относительная ошибка смещения не удовлетворяет критерию. При резкой смене направления ветра или при наличии выбросов (когда наблюдаемое и расчётное значение сильно разнятся между собой) при сравнении наблюдений и расчётов результаты плохо коррелируют. Модель не всегда охватывает весь диапазон наблюдаемой температуры. В целом, можно говорить об удовлетворительном качестве результатов численного прогноза с помощью модели WRF для указанных дат и их пригодности для дальнейшего использования их в модели качества атмосферного воздуха САМх.

Ниже на рисунке 2 представлены поля приземной скорости ветра и приземных концентраций оксида углерода (ppm) и аэрозольных частиц PM10 (мкг/м3), предсказанных с помощью моделей WRF и САМх для 16 февраля 2020 года. 16.02.2020 наблюдалась тихая, безветренная погода. Температура воздуха в течение суток изменялась от -16 до -3 градусов. Периодически облачность полностью закрывала все небо. Осадки не фиксировались. В рассмотренный период времени (16.02.2020 в районе 16-18 часов) наблюдалась резкая смена

направления ветра при его ослаблении до 1 м/с и безоблачное небо. Влажность воздуха была 60-90%.

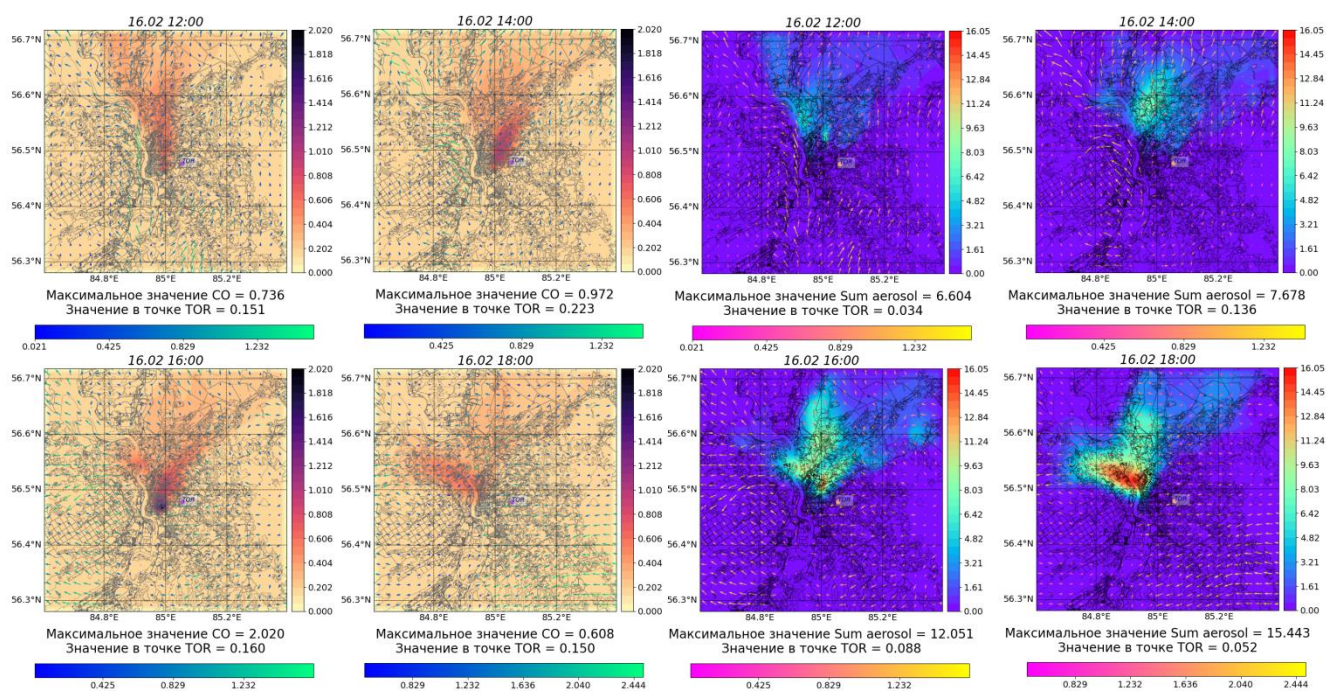


Рисунок 2 – Рассчитанные поля приземного ветра и концентраций CO (слева) и суммы всех аэрозольных компонент (справа) в 12, 14, 16 и 18 часов 16.02.2020 на 1-ом расчётом слое на высоте 10 м. Нижняя шкала на каждом рисунке указывает на диапазон изменения скорости ветра, правая – концентраций

Из рисунка 2 видно, что модель предсказала существенное увеличение концентрации оксида углерода в приземном воздухе в 16 часов. Повышенный уровень концентрации аэрозольных частиц PM10, поступивших от антропогенных источников города и образовавшихся в результате химических трансформаций, наблюдался также и в это время. Но в 18 часов было численно предсказаны максимальные значения концентрации аэрозоля, что подчеркивает важную роль химических реакций в образовании городского аэрозоля.

Работа выполнена при поддержке Министерства Науки и Высшего Образования РФ (бюджет ИОА СО РАН).

1. Sokhi R., Baklanov A., Schlinzen H., et al. Mesoscale Modelling for Meteorological and Air Pollution Applications // New York, NY: «Anthem Press», 2018. 260 p.

2. Ramboll Environ. CAMx usersguide v6.50 [электронный ресурс] URL://http://www.camx.com/files/camxusersguide_v6-50.pdf.

3. Britter R., Schatzmann M. Quality assurance and improvement of micro-scale meteorological models. Hamburg : «COST Office», 2007. 28 p.

4. Chang J.C., Hanna S.R. Air quality model performance evaluation // Meteorol Atmos Phys. 2004. V.87. P.167–196.