

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

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕЗОМАСШТАБНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Старченко А.В.^{1,2}, Кижнер Л.И.¹, Одинцов С.Л.^{2,1}, Данилкин Е.А.^{1,2}, Проханов С.А.¹,
Лещинский Д.В.^{1,2}, Сваровский А.И.¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

e-mail: starch@math.tsu.ru, kdm@mail.tsu.ru, odintsov@iao.ru, ugin@math.tsu.ru,

viking@math.tsu.ru, 360flip182@gmail.com, svarart@yandex.ru

Рассматриваются результаты численного предсказания таких опасных погодных явлений как сильный ветер, туман, интенсивные осадки, высокая пожароопасность для условий г. Томск и Томского района. Численный прогноз проводится с разрешением 1 км с использованием мезомасштабных метеорологических моделей WRF и TSUNM3. Результаты расчетов сравниваются с наблюдениями, полученными для выбранных дат 2020 года с использованием метеорологических приборов ЦКП «Атмосфера» ИОА им. В.Е. Зуева СО РАН.

Одной из актуальных проблем как фундаментальных, так и прикладных наук является создание математического и суперкомпьютерного программного обеспечения для информационных систем мониторинга и прогнозирования состояния приземного слоя атмосферы над населенными пунктами и крупными транспортными узлами. Особое значение такие исследования приобретают в связи с необходимостью обеспечения безопасности жизнедеятельности в крупных аэропортах, где возникновение локальных неблагоприятных атмосферных явлений может привести к чрезвычайным ситуациям [1].

Целью данной работы является применение численных моделей прогноза погоды над локальной территорией WRF (Weather Research & Forecasting) и TSUNM3 (Tomsk State University Nonhydrostatic Mesoscale Meteorological Model) для предсказания опасных погодных условий (сильного ветра, тумана, интенсивных осадков и др.) для территории г. Томск и Томского района, расположенных в Западной Сибири. Для оценки качества предсказуемости моделями рассматриваемых явлений привлекаются наблюдения, полученные с помощью метеорологических приборов ЦКП «Атмосфера» ИОА им. В.Е. Зуева СО РАН [2].

Прогностическая система WRF v4.2 основана на численном решении системы уравнений гидротермодинамики атмосферы с учетом тепломассобменных процессов, протекающих в верхнем слое суши или воды [3]. Область моделирования имеет размеры 450x450 км (координаты центра 56,5° с.ш., 85° в.д. области совпадают с центром г. Томск) и включает две вложенные подобласти размерами 150x150 и 50x50 км. Шаг сеток для областей составляет 9, 3 и 1 км, соответственно. В вертикальном направлении рассматривался 41 уровень. Для расчетов

по модели WRF был выбран следующий набор параметризаций подсеточных физических процессов: микрофизика влаги – схема WSM6 для всех трех областей; длинноволновая радиация – RRTM; коротковолновая радиация – схема Dudhia; поверхностный слой – модель на основе теории подобия Мони́на-Обухова; поверхность земли представляется с помощью NLSM; планетарный пограничный слой – схема Mellor-Yamada-Janjic; облачность – схема Kain-Fritsch для самой большой области, для второй и третьей вложенных областей облачность разрешалась явно; городская поверхность – Urban canopy model. При задании начальных и граничных условий использовались данные NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive (ds084.1).

Модель TSUNM3 также использует систему негидростатических уравнений движения, тепло- и массопереноса в тропосфере и в верхнем слое почвы [4]. TSUNM3 прогнозирует составляющие скорости ветра и температурно-влажностные характеристики в пограничном слое атмосферы на 50 вертикальных уровнях (до 10000 м) над территорией 150×150 км и вложенной в нее области с основанием 50х50км (шаг сетки 1 км с центром в г. Томск). TSUNM3 учитывает протекание следующих атмосферных процессов:

- турбулентное перемешивание в атмосферном пограничном слое, на характер которого оказывает существенное влияние изменение температуры подстилающей поверхности;
- распространение тепла коротковолновой и длинноволновой радиацией в рассматриваемом слое атмосферы с учетом рассеяния и затухания излучения при ясном небе, поглощения излучения водяным паром, поглощения и отражения облаками;
- образование в атмосфере дождевых капель, облачности, снега, ледяных частиц и крупы из присутствующей там атмосферной влаги;
- турбулентный обмен импульсом, теплом, влагой с подстилающей поверхностью;
- нагрев подстилающей поверхности проникающей солнечной коротковолновой радиацией и ее выхолаживание длинноволновой, проявляющейся в темное время суток.

Инициализация модели TSUNM3 и обеспечение ее боковыми граничными условиями проводится на основе результатов численного прогноза погоды оперативной глобальной моделью SL-AV [5] Гидрометцентра РФ.

Для моделирования опасных погодных явлений были выбраны следующие даты 2020 года: 17.01., 16.03., 23.03. (сильный ветер), 4.07., 6.07., 28.08 (туман), 18.01. (сильный снег), 26.06 (гроза, град, сильный ливень, ветер - скорость до 10м/с).

Ниже на рисунках представлены некоторые результаты сравнения предсказанных приземных значений температуры и влажности, а также скорости и направления ветра в отдельные даты.

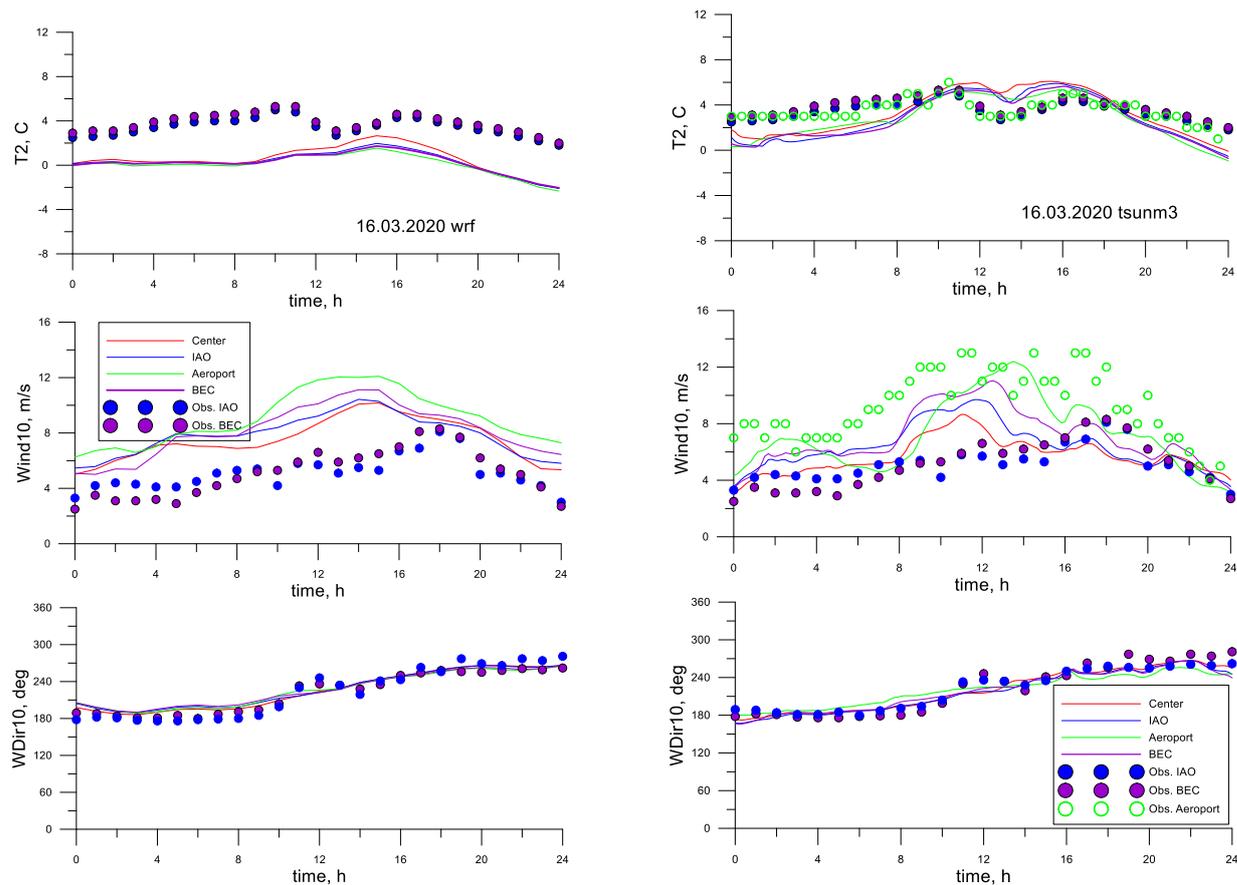


Рисунок 1 – Рассчитанные (линии) и измеренные (кружки) значения приземной температуры T2 на высоте 2м, модуля горизонтального ветра Wind10 и направления WDir10 на высоте 10м в выбранных пунктах. Слева – расчет с использованием модели WRF, справа – TSUNM3

На рисунке 1 представлены результаты численных расчетов и измерений ЦКП «Атмосфера». Расчеты по моделям WRF и TSUNM3 показывают, как изменяются с течением времени 18.03.2020 приземные значения температуры, скорости и направления ветра в пунктах «Center» (совпадает с центром г. Томск), «Аэропорт» (аэропорт г. Томск Богашево, расположенный за городом на расстоянии около 12 км по юго-восточному направлению), «IAO» (совпадает с расположением главного корпуса ИОА СО РАН, на котором установлена ультразвуковая метеостанция (УЗМ) «Метео-2», относится к городской местности, 4 км на восток от центра г. Томск), «BEC» (совпадает с расположением Базового экспериментального комплекса ИОА СО РАН, находится на расстоянии 6 км на восток от центра города, УЗМ «Метео-2» размещена на большой поляне, окруженной лесопосадками). Из рисунка видно, что модели вполне удовлетворительно предсказывают измеренные значения скорости и направления ветра. Заметим, что в этот день наблюдения в аэропорту [6] указывали на значительные порывы ветра до 23м/с с 11 до 18 часов местного времени.

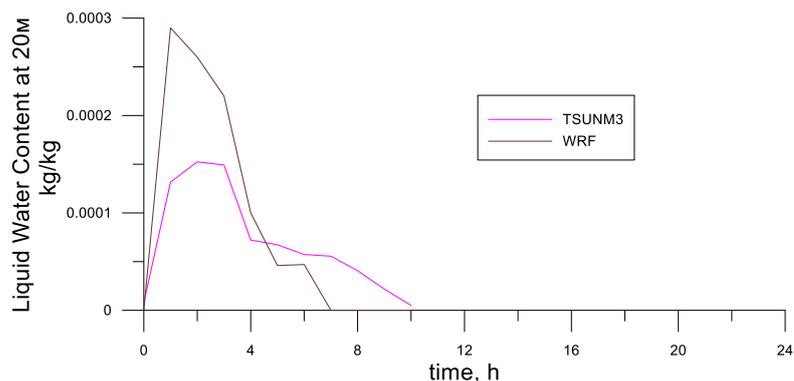


Рисунок 2 – Предсказанные численно значения содержания жидкой воды на уровне около 20м над поверхностью для пункта «Аэропорт» на 1.03.2020

На рисунке 2 представлены рассчитанные значения содержания жидкой воды (водности) в атмосферном воздухе вблизи поверхности земли, от которых зависит горизонтальная и вертикальная видимость. Расчеты выполнены для пункта «Аэропорт» для 01.03.2020. В этот день ночью с 0 до 3 часов в аэропорту Богашево наблюдался переохлажденный туман [6]. Горизонтальная видимость в 2 часа ночи оценивалась как 50м, вертикальная – 30м, что соответствует рассчитанным по моделям значениям водности приземного воздуха

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

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. М., 2014. 94 с.

2. Гладких В.А., Макиенко А.Э., Миллер Е.А., Одинцов С.Л. Исследование параметров пограничного слоя атмосферы в городских условиях с помощью средств локальной и дистанционной диагностики. Часть 2. Температура воздуха и поток тепла // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 11. С. 987-994.

3. Powers J.G., Klemp J.B., Skamarock W.C. et al. The Weather Research and Forecasting Model: Overview, System Efforts and Future Directions // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2017. V. 98. P. 1717–1737.

4. 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.

5. Tolstykh M.A., Fadeev R.Yu., Shashkin V.V. et al. Multiscale Global Atmosphere Model SL-AV: the Results of Medium-range Weather Forecasts // Russ. Meteorol.Hydrol. 2018. V.43. P. 773–779.

6. Сайт <http://rp5.ru>