

Секция 5. Моделирование процессов в атмосфере и гидросфере

УДК 551.80

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНВЕРСИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЕМЕРА МТП-5 И ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ WRF В РАЙОНЕ Г. ТОМСКА

Ахметшина А.С.

*Томский государственный университет
г. Томск, пр. Ленина, д. 36, e-mail: aSamuta@mail.ru*

PECULIARITIES OF FORMATION AND SOCIO-ECONOMIC CONSEQUENCES OF TEMPERATURE RISKS IN TOMSK REGION

Akhmetshina A.S.

National Research Tomsk State University, e-mail: aSamuta@mail.ru

Keywords: temperature profile, atmospheric boundary layer, Tomsk, temperature profiler MTP-5, WRF model

Abstract

In the paper, the possible use of a WRF mesoscale model for the detailed restoring of a temperature profile in the atmosphere boundary layer (ABL) during winter anticyclone is studied. The correctness of air temperature modeling as well as the possible use of a WRF model for predicting a vertical temperature distribution was shown.

Важной характеристикой пограничного слоя атмосферы является наличие инверсий температуры воздуха [1, 2]. Большинство работ посвящено изучению характеристик неустойчивости атмосферы на территории Томской области и г. Томска [3–6], в случае устойчивой атмосферы таких работ значительно меньше.

В данной работе использовалась прогностическая система WRF (Weather Research and Forecasting, версии 3.4.1) [7–8]. Модель основана на численном решении системы уравнений гидротермодинамики атмосферы с учетом теплообменных процессов, протекающих в верхнем слое суши или воды. Точность прогноза приземных значений по разным оценкам колеблется 0,85–1,5 °С [9]. В модели WRF рассматриваются различные схемы представления процессов подсеточного масштаба, которые учитываются с помощью параметризаций. Заблаговременность прогноза по модели WRF составляет 24 часа.

Расчеты выполнялись на трех вложенных областях с общим центром в 56°,5 с.ш., 85° в.д. (г. Томск). Первая область – Западная Сибирь, шаг сетки – 9 км; вторая – Томская область, шаг сетки – 3 км; третья вложенная область – южная часть Томской области с размерами 50×50 км, шаг сетки – 1 км [10]. Для первой области выбрано временное разрешение 10 минут, для двух других – привязка с разрешением в 30 секунд. Рассчитывался слой атмосферы от поверхности земли до высоты 30 км, в котором использовалась неравномерная вертикальная сетка из 34 уровней, сгущающихся к земной поверхности.

На заключительном этапе из массива рассчитанных характеристик были отобраны необходимые для исследований данные: температура воздуха на σ -уровнях модели в пограничном слое атмосферы. В итоге, на основе выполнения моделирований получены прогнозы температуры воздуха на разных уровнях ПСА для территории аэропорта Богашево за моделируемые даты.

Для проведения численных экспериментов с использованием мезомасштабной модели высокого разрешения WRF и для демонстрации её адекватности были выполнены расчеты для трех дат, характеризующихся различными погодными условиями. В работе проанализированы данные 4 сроков (00, 06, 12, 18 ч местного времени). Прогностический профиль сравнивался с фактическим на данный срок, полученным по температурному профилюмеру МТР-5 (точность прибора составляет 0,5 °С).

Для периода аномально холодной погоды модель в отдельные сроки достаточно хорошо воспроизводила характер распределения температуры воздуха с высотой и фиксировала наличие приземной инверсии от поверхности Земли до уровня 300–1000 м. Наибольшее расхождение (Δt) между фактическими и смоделированными профилями наблюдалось на высотах 200–450 м. В приземном слое (до 150 м) модель, как правило, завышала температуру. Наименьшие значения абсолютной разности для всех сроков в течение 13 декабря 2012 г. были отмечены на высотах 600–1000 м.

В случае оттепели (26.01.2013 г.) модель в срок 00 ч очень реалистично смоделировала распределение температуры воздуха, но только до высоты 450 м. Она смогла адекватно воспроизвести приподнятую инверсию с нижней границей на уровне 200 м. Выше 450 м температура, рассчитанная по модели, начала очень медленно убывать и разность между измеренной и смоделированной температурой стала незначительно увеличиваться.

Анализ профилей температуры за срок 12 и 18 ч показал, что график температуры линейно убывал с высотой, как следует из результатов расчетов и измерений. Модель повторяла ход фактического распределения температуры воздуха, значения температуры по модели были занижены. Максимальные значения абсолютной разности отмечены выше 800 м. Минимальные значения Δt пришлось на слой 400–450 м в 00 и 12 ч, для срока 06 ч – на высоты 200–250 м.

В период, когда среднесуточная температура воздуха находилась в пределах климатической нормы, модель во все сроки наиболее реалистично воспроизводила профиль температуры воздуха в ПСА. По данным профилюмера, 26 февраля 2013 г. в исследуемые сроки температурных инверсий отмечено не было. Модель смогла смоделировать те же тенденции изменения температуры по высоте. И фактические и прогностические данные отражают понижение температуры в слое. Наибольшие количественные совпадения между прогностической и измеренной температурой воздуха во все исследуемые сроки наблюдались на высоте выше 500 м.

Оценка точности прогностических значений температуры на высотах в ПСА производилась путем сравнения данных численного прогноза с данными фактических измерений. Оценка была выполнена с использованием Руководящих документов [9, 11, 12]. В таблице 1 представлены погрешности расчета температуры воздуха на высотах.

Таблица 1
Погрешности расчета температуры воздуха с использованием модели WRF

Дата	Характеристики точности	Срок			
		00	06	12	18
13.12.2012 г.	средняя арифметическая ошибка	1,1	1,3	0,5	0,9
	средняя квадратическая ошибка прогноза	1,9	1,9	1,5	1,8
	средняя абсолютная ошибка прогноза	1,7	1,7	1,3	1,6
26.01.2013 г.	средняя арифметическая ошибка	-0,3	-1,0	-2,1	-2,6
	средняя квадратическая ошибка прогноза	0,7	2,1	2,1	2,6
	средняя абсолютная ошибка прогноза	0,6	2,0	2,1	2,6
26.02.2013 г.	средняя арифметическая ошибка	-0,7	0,0	-0,2	-1,0
	средняя квадратическая ошибка прогноза	1,0	0,5	0,4	1,3
	средняя абсолютная ошибка прогноза	0,8	0,3	0,3	1,1

Анализ погрешностей расчета для случая аномального холода показал, что их значения не превышали 2°C . Ошибки указали на завышение температуры во все сроки относительно фактической. В случае оттепели ошибки прогноза температуры в основном были выше 2°C . Средняя арифметическая ошибка, указала на занижение фактической температуры во все сроки.

Анализ ошибок расчета температуры воздуха показал, что во все сроки, кроме 06 ч, отмечалось занижение прогностических значений температуры воздуха. В целом, в период, когда среднесуточная температура воздуха была в пределах климатической нормы, погрешности не превышали $1,3^{\circ}\text{C}$ (вечерние и ночные сроки). В утренние и дневные сроки ошибки не превышали $0,5^{\circ}\text{C}$. Это указывает на хороший количественный результат прогноза (таблица 1).

Для оценки связи между профилями температуры по профилюмеру и по модели WRF были рассчитаны коэффициенты корреляции (r) [13, 14], представленные в таблице 2.

Таблица 2
Коэффициенты корреляции (r) между рядами прогностических и фактических данных

Дата	Сроки			
	00	06	12	18
13.12.2012	0,84	0,83	0,89	0,88
26.01.2013	0,58	-0,10	0,98	1,00
26.02.2013	0,99	0,55	0,99	0,99
Жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции				

Анализ таблицы показал, что в целом между двумя рядами данных наблюдалась существенная связь.

Выводы:

1. В случае климатической нормы сравнение результатов расчетов по мезомасштабной модели WRF с данными измерений, показало корректность моделирования температуры воздуха в пограничном слое атмосферы;
2. В период температурных аномалий (выше или ниже нормы) модель показала несколько большие погрешности;
3. В период аномального холода модель во все сроки завышала прогностические значения температуры воздуха. В период аномально теплой погоды и климатической нормы, модель занижала полученные по расчетам данные;
4. Абсолютная разность (Δt) между высотными профилями температуры воздуха, построенными по данным МТП-5PE и на основе расчётов по модели WRF, по модулю не превышала 3°C ;
5. Наиболее близкие к реальности результаты прогноза температуры воздуха в ПСА были получены в слое выше 600 м.

Полученные результаты позволяют использовать модель WRF для прогноза температурного профиля в пограничном слое атмосферы г. Томска.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России (№ 5.628.2014/К).

Литература

1. Кижнер Л.И., Барашкова Н.К., Ахметшина А.С., Барт А.А., Старченко А.В. Прогноз осадков в районе аэропорта Богашево с использованием модели WRF // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26. – № 12. – С. 1098–1105.

2. Старченко А.В., Барт А.А., Деги Д.В., Зуев В.В., Шелехов А.П., Барашкова Н.К., Ахметшина А.С. Численное и экспериментальное исследование состояния атмосферного пограничного слоя вблизи аэропорта Богашево // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – №6 (94). – С. 3–8.
3. Горбатенко В.П., Константинова Д.А., Золотухина О.И., Тунаев Е.Л. Термодинамические условия формирования мезомасштабной конвекции в атмосфере Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. № 11/3. С. 148-155
4. Константинова Д.А., Горбатенко В.П. Условия образования шквала над юго-восточной территорией Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета, 2010. №337. С. 189-193
5. Константинова Д.А., Горбатенко В.П. Результаты регистрации молний над юго-восточной территорией Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. № 11/3. С. 156-162
6. Горбатенко В.П., Ершова Т.В., Константинова Д.А. Пространственное распределение плотности разрядов молнии в землю над территорией Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета, 2009. № 329. С. 251-256
7. Кижнер Л.И., Нахтигалова Д.П., Барт А.А. Использование прогностической модели WRF для исследования погоды Томской области // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – Т. 358. – С. 219–224.
8. ARW Version 3 Modeling System User's Guide [Электронный ресурс]. – URL: http://www.mmm.usar.edu/wrf/users/docs/user_guide_v3/ (дата обращения 20.12.2010).
9. Кижнер Л.И., Барашкова Н.К., Кужевская И.В. Атмосферные процессы: динамика, численный анализ, моделирование. – Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2010. – 310 с.
10. Зуев В.В., Шелехов А.П., Шелехова Е.А., Старченко А.В., Барт А.А., Богословский Н.Н., Проханов С.А., Кижнер Л.И. Измерительно-вычислительный комплекс для мониторинга и прогноза метеорологической ситуации в аэропорту // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26. – № 08. – С. 695–700.
11. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Введ. 01.011992. – Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200068360>
12. РД 52.27.724- 2009 «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения». – Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. – 50 с.
13. Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Статистические методы в метеорологии. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1990. – 111 с.
14. Груза Г.В., Рейтенбах Т.Г. Статистика и анализ гидрометеорологических данных.– Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 215 с.