

**КОНФЕРЕНЦИЯ D**

**ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТ**

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ WRF ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ Г. ТОМСКА

А.С. Ахметшина<sup>1</sup>, Л.И. Кижнер<sup>1</sup>, И.В. Кужевская<sup>1</sup>, А.А. Барт<sup>1</sup>, В.В. Зуев<sup>1,2</sup>, А.П. Шелехов<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

<sup>2</sup>Институт мониторинг климатических и экологических систем СО РАН,

634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3

E-mail: a8anuta@mail.ru, kdm@mail.tsu.ru, ivk@ggf.tsu.ru, baza@math.tsu.ru,

vvzuev@imces.ru, ash@imces.ru

**Ключевые слова:** температурный профиль, температурный профиломер, Томск, модель WRF

**Аннотация:** В работе исследована возможность применения мезомасштабной модели WRF для детального восстановления температурного профиля в пограничном слое атмосферы в условиях зимнего антициклона. Показана корректность моделирования температуры воздуха и возможность использования модели WRF для прогноза вертикального распределения температуры.

Моделирование термической структуры пограничного слоя атмосферы (ПСА) необходимо для оперативного прогноза неблагоприятных погодных условий – инверсий, оказывающих влияние как на работу авиации (обледенение, туман, низкая облачность), так и на уровень загрязнения атмосферы вредными примесями [1, 2].

В данной работе использовалась прогностическая система WRF (Weather Research and Forecasting, версии 3.4.1) [3]. Модель основана на численном решении системы уравнений гидротермодинамики атмосферы с учетом тепломассобменных процессов, протекающих в верхнем слое суши или воды. Точность прогноза приземных значений по разным оценкам колеблется 0,85–1,5 °С [4]. В модели WRF рассматриваются различные схемы представления процессов подсеточного масштаба, которые учитываются с помощью параметризаций.

Расчеты выполнялись для локальной области в районе г. Томска с размером 50×50 км и шагом сетки – 1 км. Заблаговременность прогноза по модели WRF составляет 24 часа.

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:

–13.12.2012 г. – среднесуточная температура воздуха составляла –37,9 °С и была ниже климатической нормы (аномально холодный период);

–26.01.2013 г. – среднесуточная температура воздуха составляла  $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  и была выше климатической нормы (оттепель);

–26.02.2013 г. – среднесуточная температура воздуха составила  $-17,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и находилась в пределах климатической нормы (климатическая норма).

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 МТП-5 (точность прибора составляет  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Результаты представлены на рисунке 1.

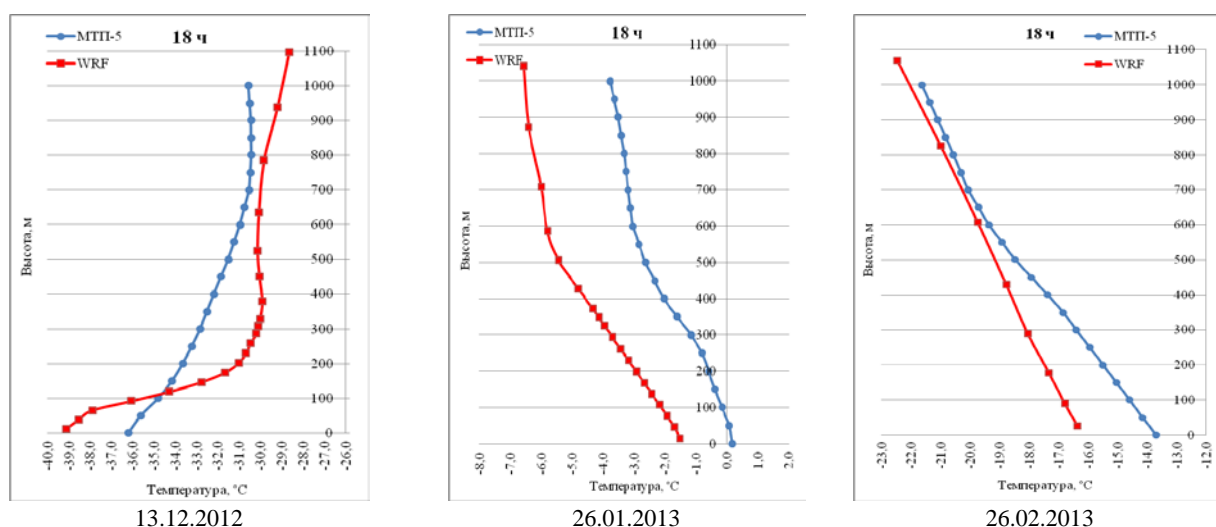


Рисунок 1 – Вертикальные профили температуры на основе данных профилирумера МТП-5PE и расчетов мезомасштабной модели WRF

Из рисунка 1 видно, что 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 ( $\Delta t$ ) 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.) температура 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  $\Delta t$  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. 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 [4–6]. 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 °С, в случае оттепели ошибки прогноза температуры в основном были выше 2 °С. Большая точность модели отмечена 26.02.2013 г., погрешности не превышали 1,3 °С (вечерние и ночные сроки).

Для оценки связи между профилями температуры по профилемеру и по модели WRF были рассчитаны коэффициенты корреляции ( $r$ ) [7, 8], представленные в таблице 2. Анализ таблицы показал, что в целом между двумя рядами данных наблюдалась существенная связь.

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

Дата	Сроки			
	00	06	12	18
13.12.2012	<b>0,84</b>	<b>0,83</b>	<b>0,89</b>	<b>0,88</b>
26.01.2013	0,58	-0,10	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>
26.02.2013	<b>0,99</b>	0,55	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>

*Жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции*

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 превышала прогностические значения температуры воздуха. В период аномально теплой погоды и климатической нормы, модель занижала полученные по расчетам данные;

4. Абсолютная разность ( $\Delta t$ ) между высотными профилями температуры воздуха, построенными по данным МТП-5PE и на основе расчётов по модели WRF, по модулю не превышала 3 °С;

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.

#### 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. ARW Version 3 Modeling System User's Guide [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user\\_guide\\_v3/](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_v3/) (дата обращения 20.12.2010).

4. Кижнер Л.И., Барашкова Н.К., Кужевская И.В. Атмосферные процессы: динамика, численный анализ, моделирование. – Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2010. – 310 с.

5. Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Статистические методы в метеорологии. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1990. – 111 с.

6. Груза Г.В., Рейтенбах Т.Г. Статистика и анализ гидрометеорологических данных.– Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 215 с.

7. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Введ. 01.01.1992. – Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200068360>

8. РД 52.27.724- 2009 «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения». – Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. – 50 с.

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