

Urban Canopy Surface Description by Using Geospatial Data for Air Quality Modeling and Estimation Tasks

*Alexander V. Gochakov⁽¹⁾, Alexey V. Penenko⁽²⁾,
Pavel N. Antokhin^(1,4), Alexey B. Kolker⁽⁵⁾*

¹ Siberian Regional Hydrometeorological Research Institute³

² Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Novosibirsk, Russia

⁴ V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

⁵ Novosibirsk State Technical University

Abstract. The sensitivity of temperature forecast for the WRF model on the change of external data and horizontal model resolution is estimated. The impact of the refinement of urban canopy categories and urban parameterization scheme on temperature forecast is studied. The possibility of taking into account the heat island in the simulation of urban meteorological regime is shown.

Keywords: WRF urban parametrization, heat island

**Описание урбанизированной поверхности с использованием
геопространственных данных для задач моделирования и оценки качества
воздуха**

Гочаков А.В.⁽¹⁾, Пененко А.В.⁽²⁾, Колкер А.Б.^(1,4), Антохин П.Н.⁽⁵⁾

⁽¹⁾Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Новосибирск

⁽²⁾Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск

⁽³⁾Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

⁽⁴⁾Институт оптики атмосферы имени В.Е. Зуева СО РАН г.Томск

⁽⁵⁾Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Произведена оценка чувствительности прогноза температуры модели WRF к изменению внешних данных и горизонтального разрешения модельной ячейки. Исследовано влияние уточнения характеристики городской подстилающей поверхности и схемы городской параметризации на прогноз температуры. Показана возможность учета острова тепла при моделировании городского метеорологического режима.

Ключевые слова: параметризация городской подстилающей поверхности WRF, остров тепла

Введение. Успешность прогноза качества атмосферного воздуха в пространственном масштабе мегаполиса является комплексной задачей и зависит от сети наблюдений, сложности используемой модели численного прогноза погоды и её химико-транспортного блока. Возможности моделей, в том числе, зависят от качества описания задаваемых внешних данных (высота поверхности с учетом естественного рельефа, маска воды, учет категорий землепользования и городской подстилающей поверхности, источников эмиссий и пр.). Источники внешних данных должны иметь пространственное горизонтальное разрешение, не ниже заданного для расчетного домена. Для описания подстилающей городской поверхности и источника эмиссий, оправдано разрешение от 1 километра и выше. Хотя современные мезомасштабные модели не способны полностью описать моделируемые процессы в таком масштабе, в настоящее время интенсивно развиваются параметризации, переходные между конвективным и LES масштабами.

Для учета и описания процессов влияния городской застройки и человеческой деятельности на климатический режим города используется класс моделей городской подстилающей поверхности [1]. Для модели WRF [2] это параметризация, требующая задания параметров, связанных с городской застройкой.

Целью работы является изучить чувствительность прогноза температуры при переходе к высокому разрешению горизонтальной сетки (460 метров) с использованием дополнительных внешних модельных данных (категории землепользования, городская застройка). Оценки температуры на уровне 2 метра

выбрана как характеристики острова тепла, влияющей на качество прогноза загрязнения атмосферы.

Описание городской подстилающей поверхности в доступных наборах внешних данных для современных мезомасштабных моделей имеют грубое пространственное разрешение и только для общей категории городской застройки. Существует несколько дополнительных источников (NUDAPT, WUDAPT) подробного описания категорий застройки, городских каньонов, а также характеристик материалов, но, преимущественно, для территории Европы и Северной Америки. База данных WUDAPT позволяет получить классификацию локальных климатических зон (LCZ) для любого мегаполиса, основываясь на обработке спутниковых данных. Но первоначально, для создания классификаций, требуется экспертный анализ спутниковых снимков.

Другой источник информации с географической привязкой объектов и участков - проект OSM. В том числе данные проекта включают описание и городской, и естественной среды, земель сельскохозяйственного назначения и пр. Так как данные общедоступны и классифицированы, они могут быть адаптированы на расчетную сетку модели (см. [3]). Внешние модельные данные, которые могут быть получены из OSM уступают по детализации NUDAPT и WUDAPT, но достаточны для использования в относительно простой и вычислительно эффективной модели городской подстилающей поверхности UCM. Для территории Российской Федерации только Москва имеет необходимые классифицированные данные для получения WUDAPT - категорий без экспертного анализа участков спутниковых снимков. А данные NUDAPT доступны только для территории Северной Америки. Поэтому оправдано использование интерпретации данных OSM в качестве внешних данных WRF для моделирования метеорологического режима города, качества атмосферного воздуха.

Описание вычислительного эксперимента. Произведена оценка чувствительности температуры на уровне 2 метра модели WRF к изменению внешних модельных данных - категорий землепользования, включая 3 категории городской застройки, а также использованию городской параметризации UCM для горизонтального разрешения модельной сетки 460 x 460 метров. Произведены сравнения с расчетами для разрешения модельной ячейки 1380 и 6900 метров. При моделировании был использован прямоугольный домен D1 в проекции Ламберта, ограниченный по горизонтали координатами 67,8-70,8° с.ш. и 84,1-92,1° в.д. и по высоте уровнем давления 50 гПа. Число узлов расчётной области составило 100x100x30 по долготе, широте и высоте, соответственно. Шаг сетки по горизонтали составил 6.9 км, по времени - 60 с, по высоте задавался ETA-координатой, учитывающей орографическую поверхность. Домен D1 включал два вложенных домена - D2 с шагом 1380 м и домен D3 совпадающий с территорией агломерации г. Новосибирска с шагом горизонтальной сетки 460 метров. Для D3 использована схема перехода к высокому горизонтальному разрешению, вертикальные уровни оставались постоянным. Использовалась параметризация пограничного слоя YSU PBL [4]

Начальные и граничные условия для полей метеорологических величин задавались с использованием данных модели FNL (NCEP) с 6-часовым разрешением по времени. Поля метеорологических данных FNL получены на основе данных GFS. Вычислительный эксперимент был выполнен для зимнего периода с 11.12.2018 по 28.01.2019 г., для летнего периода с 10.06.2018 по 29.07.2018 г.

Параметры, чувствительность к которым изучалась:

- Разрешение модельной ячейки
- Категории землепользования, с использованием стандартного набора данных - по результатам снимков со спутника Modis, 21 категория.
- Категории землепользования, полученные в результате обработки данных проекта OSM, 33 категории, включая 3 категории городской застройки.
- Использование параметризации городской подстилающей поверхности UCM
- Процентная составляющая соответствующей категории городской подстилающей поверхности в модельной ячейке

Сравнительные оценки приведены для трех синоптических станций (рис. 1): Огурцово (29638), Учебная (29637) и Обская ГМО (29635). Все станции расположены на левом берегу Новосибирска. Метеоплощадка Учебная расположена в черте города, окружена плотной городской застройкой. Станция Огурцово размещена на фактической границе интенсивной городской застройки, участков малоэтажной застройки и земель сельскохозяйственного назначения. Метеостанция Обская находится вблизи обского водохранилища, на территории удаленного городского микрорайона.

Сценарные расчеты проводились для категорий MODIS Modified (21 категория) полученных категорий OSM (33 категории, включая 3 категории городской застройки). Для различных симуляций проводились расчеты для сценариев (в скобках приведено горизонтальное разрешение модельной ячейки), результаты приведены в Таблице 1:

- Mod1:** D3, категории землепользования Modis, без UCM (460м)
- Mod2:** D3, UCM включена, категории землепользования Modis (460м)
- Mod3:** D3, UCM включена, категории землепользования OSM, информация о категориях городской застройки (460м)
- Mod4:** D2, категории землепользования Modis, без UCM (1380м)
- Mod5:** D1, категории землепользования Modis, без UCM (6900м)

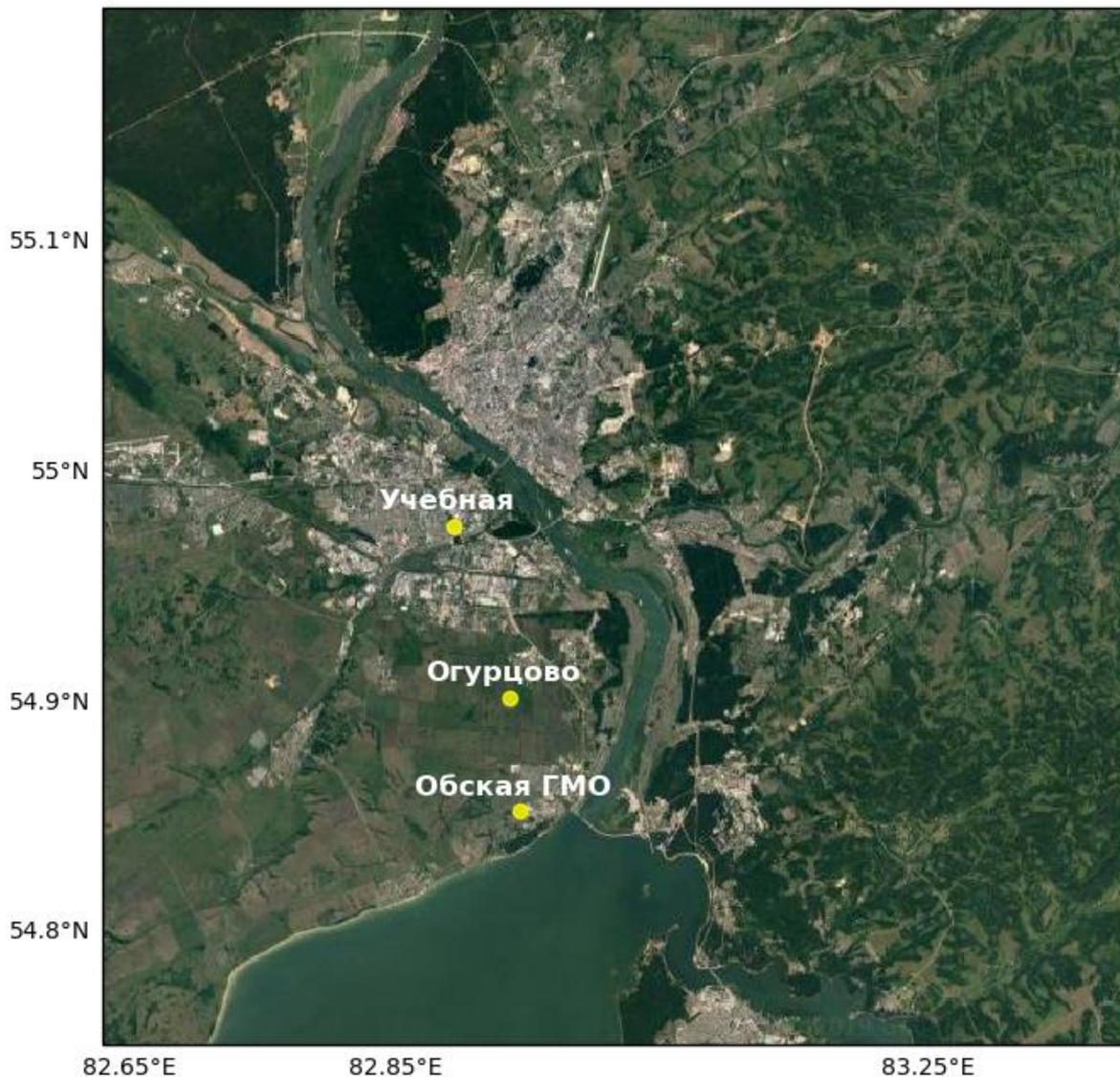


Рис. 1. Расположение метеорологических станций в пределах г. Новосибирск.

Анализ полученных результатов позволяет сформулировать следующие выводы:
 Ошибка модели в зимний период превышает летние ошибки для всех сценариев.

Для летних сценариев наименьшее отклонение для всех сценариев показала модельная ячейка, соответствующая станции Учебная, для зимних - станции Обская ГМО.

Летом лучший результат по среднеквадратическому отклонению для станций Обская ГМО и Учебная показал сценарий Mod4 (разрешение ячейки 1380 м, без городской параметризации). Для станции Огурцово - Mod1 (разрешение ячейки 460 м, без городской параметризации).

Для зимнего периода наименьшая СКО получена для сценария Mod3 (460 м, подготовленные данные застройки, городская параметризация)

Для разрешений модельной ячейки 1380 и 6900 метров тренд к занижению температуры для всех рассмотренных случаев. Использование городской

параметризации в зимний период уменьшает отрицательный сдвиг модельных значений температур.

Таблица 1. Результаты оценок вычислительного эксперимента для сценариев с двумя вариантами подстилающей поверхности и тремя разрешениями модельной ячейки для летнего и зимнего периодов для синоптических станций Огурцово (29638), Обская ГМО (29635), Учебная (29637). Оценки для среднесуточной ошибки, СКО, коэффициента корреляции.

сезон станция	<i>лето</i>			<i>зима</i>			
	29638	29635	29637	29638	29635	29637	
Mod1	<i>смещение</i>	0.01	-0.32	0.28	-1.14	-0.45	-2.14
	<i>СКО</i>	1.74	1.85	1.67	3.26	2.73	3.32
	<i>корреляция</i>	0.92	0.90	0.93	0.92	0.93	0.94
Mod2	<i>смещение</i>	0.04	-0.38	0.33	-0.99	0.08	-0.95
	<i>СКО</i>	1.77	1.92	1.72	3.22	2.65	2.47
	<i>корреляция</i>	0.92	0.90	0.93	0.92	0.93	0.94
Mod3	<i>смещение</i>	0.36	0.08	0.26	-0.30	0.50	-0.11
	<i>СКО</i>	1.78	1.93	1.72	2.81	2.55	2.26
	<i>корреляция</i>	0.92	0.89	0.93	0.93	0.94	0.95
Mod4	<i>смещение</i>	-0.37	-0.43	-0.21	-1.93	-0.24	-2.97
	<i>СКО</i>	1.78	1.65	1.56	3.96	2.91	4.51
	<i>корреляция</i>	0.92	0.92	0.94	0.90	0.91	0.91
Mod5	<i>смещение</i>	-0.50	-0.93	-0.76	-1.95	-1.21	-2.91
	<i>СКО</i>	1.81	2.14	1.73	3.98	3.05	4.44
	<i>корреляция</i>	0.92	0.90	0.94	0.90	0.92	0.91

На рисунке 2 приведен пример среднесуточных ошибок между различными сценариями WRF и данными наблюдений на станции Огурцово.

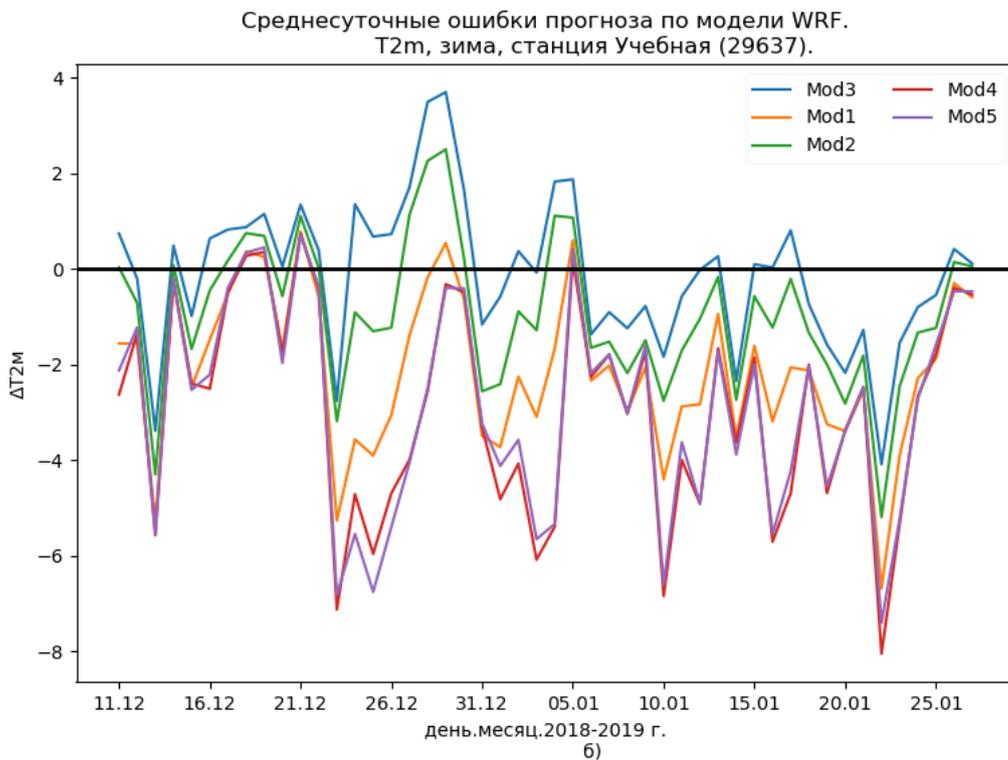
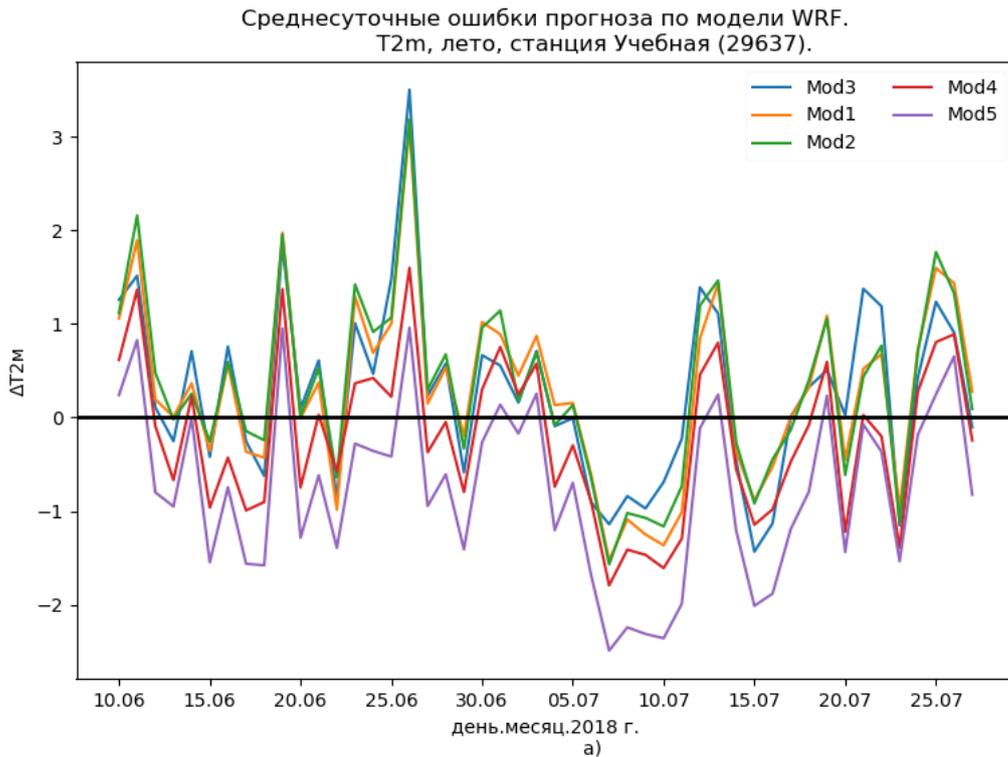


Рисунок 2. Среднесуточные ошибки прогноза по модели WRF с двумя вариантами подстилающей поверхности и тремя разрешениями модельной ячейки для летнего (а) и зимнего (б) периода

Станция Огурцово показывает наибольший положительный сдвиг для временного ряда температуры в сценарии Mod3 для зимнего периода времени, что

согласуется с её расположением внутри плотной городской застройки. Для летнего периода, явно выраженного различия для одного разрешения модельной ячейки нет, ход температуры имеет зависимость от горизонтального масштаба расчетного домена.

Заключение. По данным проекта OSM созданы категории землепользования, включая три категории городской застройки. Изучено влияние внешних модельных данных и горизонтального разрешения модельной сетки на прогноз температуры на уровне 2 метра. Результаты вычислительного эксперимента показали нецелесообразность использования вычислительно дорогостоящих расчетов высокого разрешения для летнего периода и физических параметризаций конвективного масштаба.

Для зимнего периода времени модельный прогноз оказывается чувствителен как к разрешению модельной ячейки, так и к качеству информации о городской подстилающей поверхности, показана чувствительность к городскому острову тепла в высоком разрешении, с использованием параметризации и полученных категорий городской подстилающей поверхности. Остров тепла оказывает значительный эффект на качество воздуха в условиях климатических особенностей Западной Сибири, развитием работы может стать изучение моделирование качества атмосферного воздуха в зимний период. Отдельно представляет интерес использование более сложных схем численного прогнозирования в пограничном слое, для которых качественное описание подстилающей поверхности является необходимым условием описания природных и антропогенных процессов в атмосфере.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Правительством Новосибирской области (проект 19-47-540011 p_a)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kusaka H, F Kimura 2004 Coupling a single-layer urban canopy model with a simple atmospheric model: Impact on urban heat island simulation for an idealized case // *J. Appl. Meteor.* V. 43 P.1899-1910
- [2] Grell G A, Peckham S E, Schmitz R, McKeen S A, Frost G, Skamarock W C, Eder B 2005 Fully coupled online chemistry within the WRF model *Atmospheric Environment* V.39 P.6957-75
- [3] Gochakov A V, Penenko A V, Antokhin P N and Kolker A B 2018 Air pollution modelling in urban environment based on a priori and reconstructed data // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, V.211
- [4] Hong S Y, Noh Y, Dudhia J A 2006 New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes *Monthly Weather Review* V.134 P.2318-41