

Е.В. Набокова, К.Г. Рубинштейн, д. ф.-м. н., Е.Н. Егорова
ГУ «Гидрометцентр РФ»

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С МОДЕЛЬЮ ОЦА ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ НА СРЕДНЮЮ ТЕМПЕРАТУРУ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА

Аннотация. В статье проводится анализ чувствительности модели общей циркуляции атмосферы к изменению свойств подстилающей поверхности в регионах крупнейших городах мира. Показано, что на определенной части суши учет особенностей городских территорий приводит к приближению температуры приземного воздуха к климату. В той части, где подобного результата не удалось получить, предполагается в дальнейшем изменить использованную модель города.

Ключевые слова: модель ОЦА, численные эксперименты, чувствительность модели, модель города, температура приземного воздуха, остров тепла

1 Введение

Принято считать, что основными антропогенными факторами влияния на климат являются изменение газового состава атмосферы и интенсивное землепользование [2,3,10]. Наиболее ярким проявлением изменения землепользования являются большие города. В них антропогенное влияние должно проявляться наиболее ярко. С другой стороны изменения климата могут заметно влиять на развитие и экономику городских агломераций.

Хотя в литературе имеется ряд публикаций, посвященных влиянию характера землепользования на вариации климата и численный прогноз погоды [например, 7,8,9], представляется интересным с помощью численного моделирования воспроизвести реалистичное влияние территорий, занятых крупнейшими городами мира, оценить степень возможного воздействия крупнейших городов на характеристики общей циркуляции атмосферы. Эта задача и была поставлена нами в данной работе. Перед описанием условий проведения численных экспериментов, в публикации кратко обсуждается вопрос о том, насколько инструмент исследования (версия модели общей циркуляции атмосферы Гидрометцентра России с относительно невысоким пространственным разрешением) является пригодным инструментом для изучения данного вопроса.

2 Данные и методы

Для исследования возможного влияния особенностей подстилающей поверхности в городах на характеристики циркуляции атмосферы была проведена серия из семи экспериментов с версией модели T42L15 (42 гармоники, 15 уровней по вертикали) Гидрометцентра России [1], три из которых рассчитывались на десятилетие (1979 -1988 гг.), остальные – на 2 года (1979–1980 гг.).

В качестве иллюстрации масштаба влияния города на некоторые метеорологические параметры на рис. 1 мы приводим яркие фотографии со спутника Modis, заимствованные из [11] для Пекина, на которых можно видеть, что пятна особенностей в альbedo и излучательной способности Пекина имеют диаметр порядка 50–100 км.

По аналогичным снимкам острова тепла и для других крупнейших городов мира, выбранных для наших экспериментов, имеют не меньшие, а часто и большие

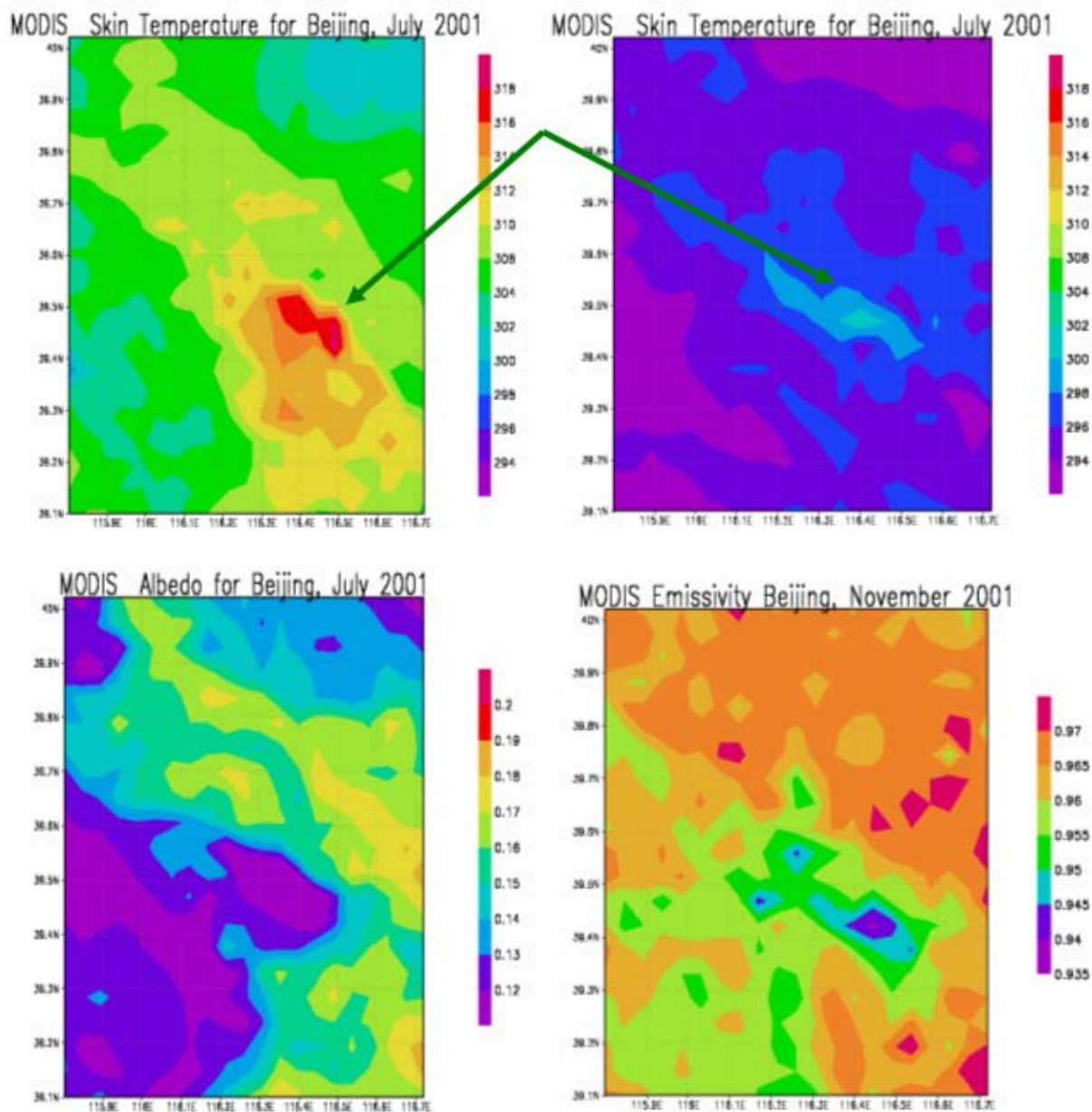


Рис. 1 – Верхний ряд – температура поверхности (К) над Пекином по данным спутника MODIS [11] в дневное время (слева) и в ночное время (справа) в июле 2001 г. Нижний ряд – альbedo поверхности (слева) в июле 2001 г. и излучательной способности (справа) в Пекине в ноябре 2001 г.

масштабы. Следовательно, можно предположить, что с помощью модели с пространственным разрешением приблизительно в 280 км возможно смоделировать подобные особенности. Кроме того, считая, что пространственное разрешение модели все же может быть несколько грубым для задач адекватного описания влияния городов, мы вводили параметры, свойственные подстилающей поверхности городских территорий, не равными их реальным значениям, а меньшими с коэффициентом пропорциональным соотношению между реальной площадью города и площадью соответствующей ему ячейки в модели. В дальнейшем планируется провести серии

экспериментов с региональными прогностическими моделями высокого пространственного разрешения для определения масштабов распространения влияния городов на атмосферу.

Описание модели и основные результаты различных численных экспериментов с ней публиковались в ряде статей [4–6]. Результаты всех экспериментов сравнивались с так называемым «базовым» экспериментом («Б»), в котором отсутствовали возмущения свойств подстилающей поверхности. Характеристики проведенных в данной работе экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физические характеристики подстилающей поверхности в крупных городах для различных экспериментов.

Эксперименты	Шероховатость, (Z0)	Температура поверхности, (Ts)	Температура на глубине 10м, (Td)	Альbedo подстилающей поверхности без снега и альbedo снега, (α_s, α_{ch})
Б	Z0	Ts	Td	$\alpha_s, \alpha_{ch} = 0.8$
T01	Z0 × 2	Ts	Td	$\alpha_s, \alpha_{ch} = 0.8$
T02	Z0 × 2	Ts + 3	Td + 1,5	$\alpha_s, \alpha_{ch} = 0.8$
T03	Z0 + 10	Ts	Td	$\alpha_s, \alpha_{ch} = 0.8$
T04	Z0 + 10	Ts + 1	Td + 0,5	$\alpha_s, \alpha_{ch} = 0.8$
T05	Z0 + 10	Ts	Td	$\alpha_s = 0,18, \alpha_{ch} = 0,4$
T06	Z0 + 10	Ts + 1	Td + 0,5	$\alpha_s = 0,18, \alpha_{ch} = 0,4$

Все эксперименты проводились согласно протоколу AMIP (Atmospheric Intercomparison Model Project) – проекта по сравнению моделей. Во всех экспериментах температура поверхности океана задавалась в соответствии с данными наблюдений, интерполированными на сетку модели, концентрация углекислого газа не менялась и орография соответствовала требовавшимся параметрам.

Для проведения экспериментов по влиянию крупных городов на циркуляцию атмосферы в точках сетки модели, соответствующих 20 крупнейших городов мира (см. табл. 2) в соответствии с табл. 1 менялись физические характеристики подстилающей поверхности.

3 Результаты

При анализе экспериментов основными задачами являлось:

1. определение чувствительности модели к изменению свойств подстилающей поверхности в крупных городах;
2. оценка возможного приближения результатов моделирования к эталонным данным при использовании таких простых схем учета особенностей городов.

Для анализа чувствительности модели к изменению свойств подстилающей поверхности в мегаполисах были рассчитаны осредненные за 10 лет (эксперименты Б, T02 и T07) и за 2 года (остальные эксперименты) разности между температурой приземного воздуха и осадками. Разности были найдены для центральных месяцев сезона (февраль, апрель, июль, октябрь). Отметим, что в средних

полях для всего года характерны весьма обширные области с положительными и отрицательными разностями температуры более 1–2 градусов. Согласно расчетам основная часть разностей статистически не значима уже на 90% уровне. Этот факт не позволяет сделать каких-либо обоснованных выводов касательно их природы, однако оставляет возможность сравнить между собой «базовый» и «возмущенный» эксперименты. Мы не приводим также в статье полей разностей в отдельные годы, но стоит заметить, что их структура заметно менялась.

Поля средних разностей осадков в центральные месяцы сезонов имеют ячеистую структуру, и выделение конкретных областей со значимыми изменениями средних осадков затруднительно. Осадки в Евразии в основном уменьшились, но есть регионы и с увеличением осадков до 5 мм.

Основной задачей работы также был анализ степени приближения модельного климата к наблюдаемому. В качестве оценки наблюдаемого климата был выбран реанализ NCAR/NCEP. Для анализа были рассмотрены области вокруг крупных городов. Область каждого города представлялась как центр квадрата со сторонами, равными приблизительно 300 км. Результаты сравнения приведены в таблице 2. Цветом в таблице выделены наименьшие разности температур между данными, полученными в экспериментах и реанализом.

Таблица 2 – Изменения температуры воздуха в регионах крупных мегаполисов в экспериментах по сравнению с эталоном

Город	Двухлетние эксперименты					Десятилетние эксперименты		
	Б (2 года)	T01	T03	T04	T05	Б (10 лет)	T02	T06
Санкт-Петербург	0,27	0,30	0,34	0,50	0,32	1,87	2,22	2,15
Екатеринбург	0,29	0,29	0,34	0,60	0,31	1,45	1,58	1,46
Москва	0,21	0,26	0,26	0,67	0,30	1,41	1,62	1,74
Новосибирск	0,32	0,21	0,32	0,49	0,21	1,22	1,41	1,33
Лондон	0,23	0,24	0,21	0,30	0,22	0,89	0,99	1,00
Чикаго	0,64	0,56	0,58	0,82	0,68	3,25	3,12	3,16
Ташкент	-0,19	-0,17	-0,13	0,14	-0,10	-0,45	-0,08	-0,10
Стамбул	0,09	0,12	0,15	0,43	0,11	0,29	0,85	0,62
Нью-Йорк	0,25	0,23	0,24	0,43	0,35	1,34	1,30	1,31
Сеул	0,14	0,19	0,13	0,45	0,19	0,64	1,21	1,13
Токио	0,05	0,16	0,10	0,12	0,12	0,54	0,77	0,80
Лос-Анджелес	0,27	0,24	0,31	0,51	0,25	1,97	2,32	2,22
Триполи	-0,48	-0,47	-0,50	-0,36	-0,43	-3,35	-3,04	-3,05
Шанхай	-0,59	-0,57	-0,55	-0,23	-0,50	-3,94	-3,36	-3,26
Калькутта	-0,80	-0,80	-0,81	-0,68	-0,78	-4,48	-4,24	-4,32
Мехико	0,81	0,80	0,79	0,90	0,76	4,77	5,09	5,04
Сан-Паулу	-0,29	-0,25	-0,28	-0,14	-0,25	-1,64	-1,39	-1,55
Претория	0,12	0,04	0,13	0,29	0,01	0,39	0,79	0,71
Сидней	-0,51	-0,54	-0,56	-0,55	-0,49	-2,71	-2,80	-2,70
Буэнос-Айрес	-0,21	-0,18	-0,20	-0,13	-0,22	-1,09	-0,80	-0,98

Основываясь на полученных результатах можно сказать, что учет особенностей подстилающей поверхности не привел к приближению воспроизводимого климата к эталонному в регионах 5 городов согласно двухлетним экспериментам (Санкт-Петербург, Екатеринбург, Москва, Стамбул, Токио) и в регионах 11 городов

согласно десятилетним экспериментам (в добавление к перечисленным городам – Новосибирск, Лондон, Стамбул, Сеул, Токи, Лос-Анджелес, Мехико и Претория). При этом из двух десятилетних возмущенных экспериментов лучшим оказался T02; для Ташкента отличие температуры в данном эксперименте от реанализа составило всего 0,08 градуса. Разница между оценками базового и возмущенных экспериментов не превышает 1 градуса, достигая максимума в 0,68 градуса для Калькутты (эксперимент T06).

4 Выводы и перспективы дальнейших исследований

В работе исследованы некоторые результаты по учету особенностей подстилающей поверхности на территории крупных городов в модели ОЦА. Приведен анализ влияния изменения характеристик подстилающей поверхности в городах на приземную температуру. Показано, что температура в модельной атмосфере чувствительна к изменениям свойств поверхности в городах. По оценкам десятилетних экспериментов также показано, что для 9 из 20 выбранных для исследования территорий наблюдается приближение температуры приземного воздуха к наблюдаемому климату при учете «городских» параметров. В той части, где подобного результата не удалось получить, предполагается изменить модель поверхности города.

Благодарности. Работа проведена при частичной поддержке Грантов РФФИ № 06-05-64104-а, 07-05-13610-ц, 07-08-00491-а, 08-05-13545-офи_ц.

Литература

1. Курбаткин Г.П., Дегтярев А.И., Фролов А.В. Спектральная модель атмосферы, инициализация и база данных для численного прогноза погоды. – СПб, Гидрометеиздат, 1994, 184 с.
2. Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя. – Ленинград. Гидрометеиздат, 1982, 292 с.
3. Левеллин Р.А., Вашингтон У.М. Региональные и глобальные аспекты. В сборнике статей "Энергия и Климат"/ Под ред. Г. В. Грузы, С. С. Хмелевцова. – Ленинград Гидрометеоиздат, 1981, с. 99–226.
4. Рубинштейн К.Г., Егорова Е.Н. Оценка воспроизведения годового хода характеристик атмосферы и суши моделью общей циркуляции атмосферы. – Труды Гидрометцентра России, 2000, вып. 333, с. 41–98.
5. Рубинштейн К.Г., Игнатов Р.Ю., Егорова Е.Н. О связи температуры поверхности океана и характеристик азиатского муссона. – Метеорология и Гидрология, 2001, № 8, с.18–26.
6. Рубинштейн К.Г., Егорова Е.Н. Влияние межгодовой аномалии температуры поверхности океана на изменчивость атмосферы (Результаты численных экспериментов с моделью Общей Циркуляции Атмосферы Гидрометцентра России). – Метеорология и Гидрология, 2002, № 2.
7. Best, M.J. (2005) Representing urban areas within operational numerical weather prediction models. *Boundary-Layer Meteorology*, 114, pp. 91–109.
8. Best, M.J., C.S.B. Grimmond, M. G. Villani (2006) Evaluation of the urban tile in mosses using surface energy balance observations. *Boundary-Layer Meteorology*, 118, pp. 503 -525.
9. Menglin, J., J. Marshall Shepherd (2005) Inclusion of urban landscape in a climate model. How can satellite data help? *American Meteorological Society (BAMS)*, May 2005, pp. 681-689.

10. *Oke, T.R.* (1982) The energetic basis of the urban heat island, Quart. J. R Met. Soc., 1982, 108, pp. 1–24.
11. *Rosenzweig, C., W.D. Solecki* (2001) Climate change and a global city. Learning from New York. Environment, Vol. 43, No. 3, pp. 8–18.

An analysis of the average surface temperature changes in the experiments with the general atmospheric circulation model of the Hydrometcenter of Russia taking into account city surface features

Abstract. *In the paper the general atmospheric circulation model sensitivity to the surface characteristics changes in the urban areas is analyzed. It was shown that surface temperature in the certain areas got closer to the climatic values in the experiments taking into account city surface features. Later on we will change the city parameters in other ways for the areas where no improvement was obtained.*

Keywords: *general atmospheric circulation model, numerical experiments, model sensitivity, urban model, surface atmospheric temperature, heat island.*