

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОКЛИМАТА МОСКВЫ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XXI ВЕКА ПРИ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА И РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЯХ ЗАСТРОЙКИ МЕГАПОЛИСА

П. И. Константинов,

научный сотрудник, географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, kostadini@mail.ru

В статье продемонстрировано применение технологии моделирования термического режима Москвы и ближайшего Подмосковья на микроклиматическом масштабе. Дан климатический прогноз температуры в пределах Москвы для середины XXI века в зависимости от сценария застройки мегаполиса. Показано, что изменение характера застройки может быть успешно использовано для коррекции средней температуры мегаполиса.

The paper demonstrates application of the technology of temperature conditions simulation for Moscow and for the nearest localities on the microscale. The climatic forecast of temperature in Moscow in the middle of 21th century depending on the building scenario was made. It was shown that changes in the building character can be successfully used for correction of megapolis mean temperature.

Ключевые слова: микроклиматология, городская метеорология, моделирование климата, глобальное изменение климата.

Key words: urban climate, climate modeling, global climate change.

Введение. Согласно мнению ведущих современных специалистов [1, 2], масштабы и интенсивность глобальных изменений природной среды, будь то потепление климата, вызванное парниковыми газами, опустынивание, уменьшение площади, покрытой лесами или уменьшение биоразнообразия, в определенной степени вызваны быстрым ростом населения Земли

Принимая во внимание значительную и всевозрастающую долю населения, проживающего в городах, и непропорциональное расходование ресурсов, используемых этими гражданами, особенно в северных районах Земли, города и их обитатели являются одной из основных движущих сил глобальных изменений природной среды. Четко выраженные городские типы климата на этих пространственных масштабах известны с давних времен (еще с работ Говарда, датированных 1833 г.). В пределах определенного района изменения локального климата имеют большее значение, нежели прогнозируемые глобальные изменения, и увеличивают уязвимость городских жителей перед будущими глобальными изменениями природной среды.

Статья посвящена изменению климата летних месяцев Московского мегаполиса в первой половине XXI века и насколько повлиять на этот процесс с помощью городского планирования.

Методика моделирования современного климата Московского мегаполиса. В настоящее время наиболее надежным инструментом прогнозирования климата является метод численного моделирования физических процессов, происходящих в пределах географической оболочки Земли. Современные модели общей циркуляции атмосферы и региональные модели позволяют воспроизводить метеорологические поля с пространственным разрешением около 50—100 и 5—20 км, соответственно. Ясно, что этого недостаточно для описания особенностей мозаичных особенностей городского климата.

Поэтому был применен так называемый метод микроскопизации (или даунскейлинга — от англ. downscaling), то есть физически грамотного переноса данных о температуре глобальной модели на сетку размером 500×500 м. Понятно, что такой перенос требует хорошего понимания процессов теплообмена в различных видах городского ландшафта и обмена теплом между ними.

Поскольку интенсивность процессов теплообмена на подобном масштабе сильно зависит от структуры поверхности [3], был проведен анализ ее особенностей. Согласно данным департамента Мосархитектуры, было выделено 6 типов подстилающей поверхности Москвы и области: 1) асфальтовые поверхности (крупные площади, летные поля аэропортов); 2) городские парки, луга, лесные массивы, с/х поля; 3) водные поверхности (Москва-река, водохранилища); 4) промзоны (гаражные поселки, пустыри, свалки); 5) участки со стандартной застройкой; 6) участки с плотной и высотной застройкой.

Моделирование современного климата Московского мегаполиса

Верификация упомянутой методики была подробно рассмотрена в работе [4], и производилась она непосредственно путем сравнения данных моделирования с климатическими параметрами за период с 1960 по 1990 год.

Было отмечено, что при сравнении средней июльской приземной температуры воздуха с данными измерений столичных метеостанций, расхождение не превышает десятых долей градуса [5]. Это свидетельствует, что методология моделирования и основной набор теплофизических характеристик подстилающей поверхности выбраны правильно. Так, водные объекты заметно охлаждают прилегающую территорию, а центральные районы нагреваются сильнее других. Было показано, что модель реалистично воспроизводит термический контраст между полностью заасфальтированным центром города и ближайшим Подмосковьем. Среднесуточные температурные градиенты между различными городскими

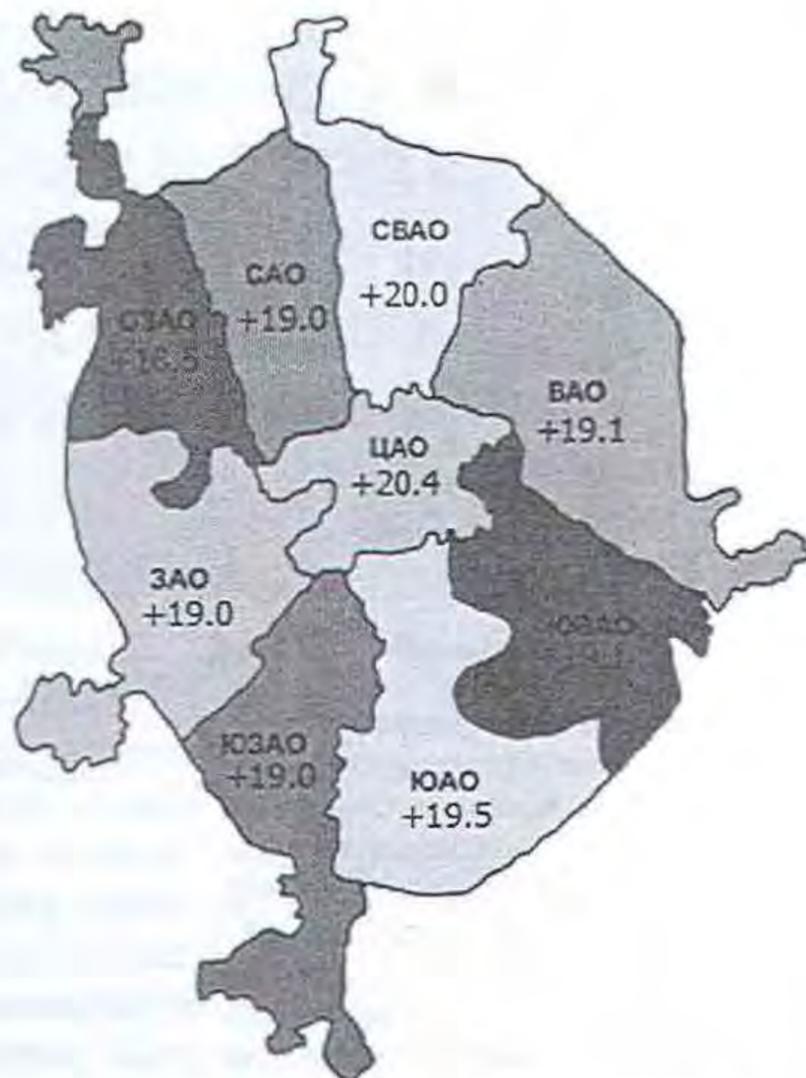


Рис. 1. Средняя суточная температура июля для Московских округов по данным моделирования

районами не превышают полутора-двух градусов, что соответствует данным по другим городам [2, 6].

Как видно на рисунке 1, самым жарким является Центральный административный округ, в котором доля зеленых насаждений сведена к минимуму, а общий процент застройки максимален.

Наиболее прохладным является Северо-Западный округ, который известен большим процентом лесных и озерных массивов (Строгино). Не лишним будет вспомнить, что и экологическая ситуация здесь одна из самых благоприятных на территории столицы.

Методика проведения численных экспериментов с климатом будущего (2050 год). Поскольку проведенные эксперименты с воспроизведением современного климата показали хорошее качество воспроизведения пространственного распределения температуры внутри Московского региона, стало возможным провести подобные эксперименты с климатом будущего. Однако для того чтобы получить данные глобальной модели атмосферной циркуля-

ции для летних месяцев 2050 г., необходимо было учесть изменения содержания парниковых газов в атмосфере и распределения среднемесячной температуры океана. Для определенности был выбран климатический сценарий А2, как один из наиболее «жестких» сценариев, обеспечивающий этим преимущество в интерпретации результатов моделирования с точки зрения большей статистической значимости аномалий. Информация о распределении температуры воды в океане была получена из результатов международного проекта СМIP3, путем осреднения отклонений среднесуточной температуры летних месяцев середины XXI века от современных значений, воспроизводимых 13-ю климатическими моделями, участвовавшими в эксперименте. Модельный климат XX века (1961—1989 гг.) оценивался по результатам эксперимента 20С3М (20th Century Climate in Coupled Models). Значения будущего состояния климата взяты для интервала 2046—2065 гг., которые условно отнесены к 2050 г.

Результаты моделирования климата Москвы в середине XXI века (2050 год)

1. Неизменность текущего типа застройки.

В рамках этого эксперимента при проведении расчетов проектные изменения в городской планировке Москвы не принимались во внимание. Поэтому пространственное распределение очагов тепла, как мы видим на рисунке 2, в основном осталось прежним.

По-прежнему наблюдаются очаги тепла в центре и на севере Москвы, а самым прохладным округом столицы остается северо-западный. Однако средний фон температуры заметно вырос — на 2,5—3 градуса как в «холодных», так и более теплых районах. Это приводит, в частности, к тому, что вероятность возникновения экстремальных значений еще более повысилась. Однако средние значения пока еще остаются в пределах изменчивости — известны годы, когда в столице среднесуточная температура июля месяца пре-

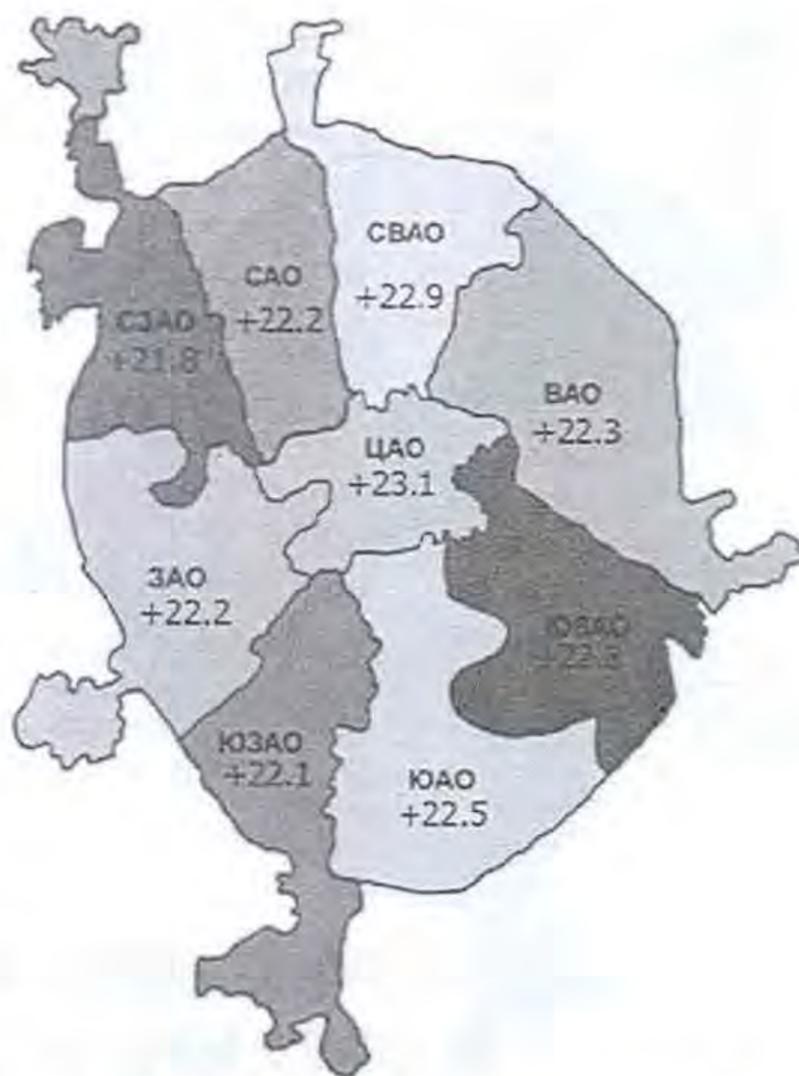


Рис. 2. Средняя температура июля для Московских округов по данным моделирования для середины XXI века

вышла +23°, и составляла +23,4° в 2002 г. и 23,3° в 1938 г. соответственно. Сопоставляя модельные аномалии с данными о состоянии московского климата за последние 100 лет можно отметить, что прогнозируемые на середину XXI века температуры июля соответствуют тем, которые случались один раз в 15 лет. Поэтому следует констатировать, что до середины XXI века даже при наиболее жестком сценарии глобального изменения климата, локальный климат Москвы не станет «сверхэкстремально» жарким, однако вероятность возникновения катастрофической жары заметно повысится.

2. Моделирование изменений климата при уменьшении площади зеленого пояса столицы на 50%.

В рамках этого эксперимента была принята гипотеза, что к 2050 г. половина площади, занимаемой сейчас зелеными насаждениями, будет равномерно отдана под застройку.

В этом случае средняя температура июля для разных столичных округов изменится следующим образом (рис. 3)

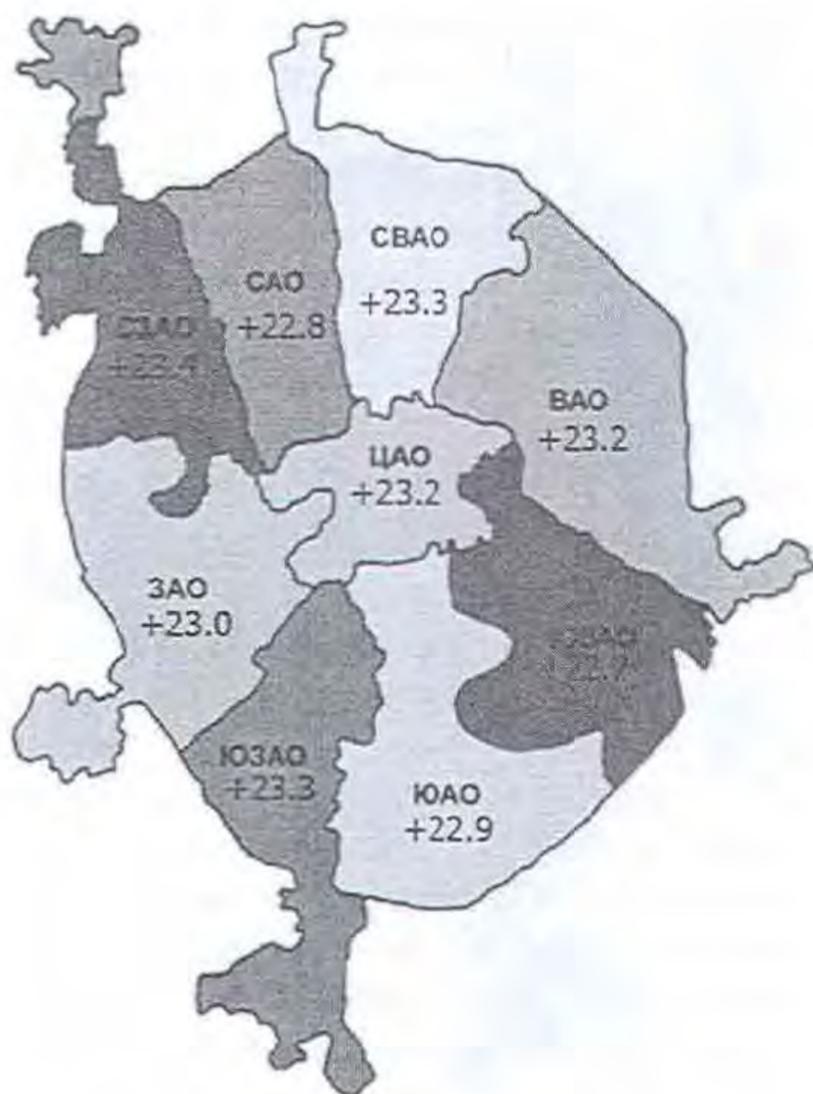


Рис. 3. Средняя температура июля для Московских округов по данным моделирования для середины XXI века при уменьшении площади зеленых насаждений вдвое

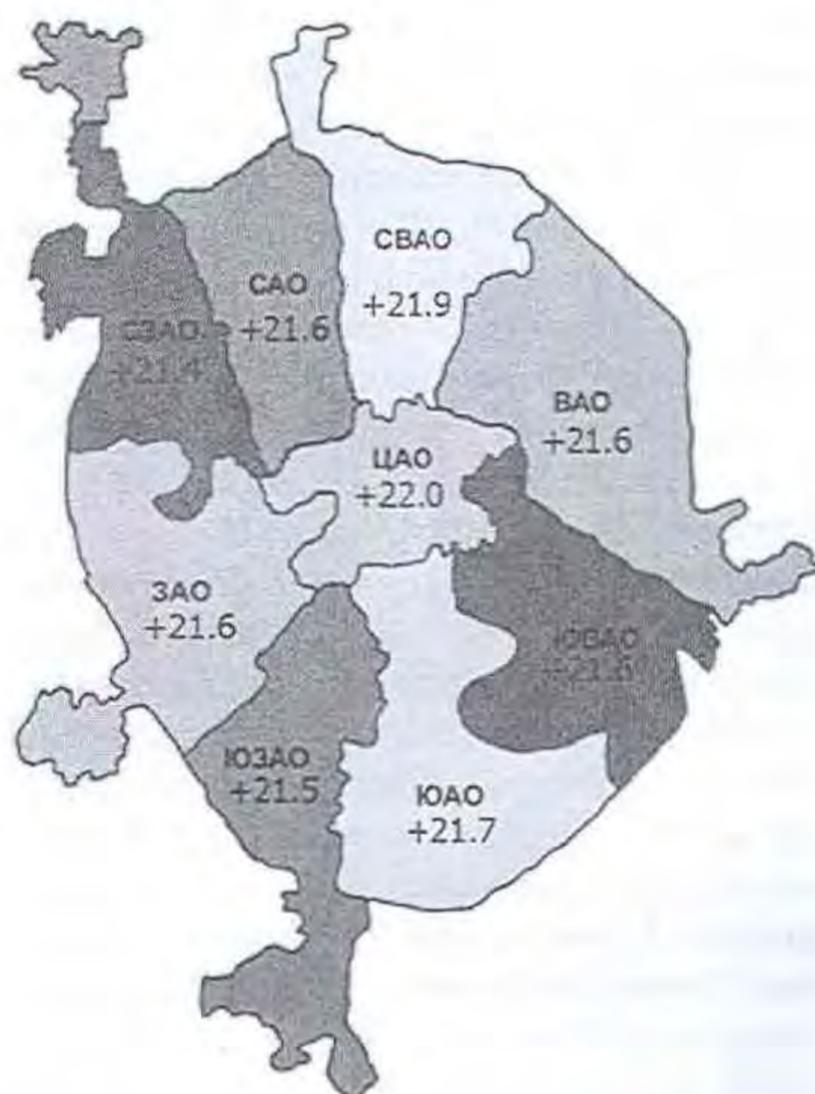


Рис. 4. Средняя температура июля для Московских округов по данным моделирования для середины XXI века при уменьшении площади застроенных территорий вдвое

В этом случае, как мы видим, температура воздуха практически во всех округах будет гораздо меньше отличаться друг от друга. Амплитуда средней температуры по округам не будет превышать $0,6^{\circ}$. Самым жарким станет северо-западный округ столицы, а самым «свежим» — северный. Причем в отдельных районах нормой станет небывало жаркий июль — температура приблизится к рекордной для современного климата отметке $+23,4^{\circ}$. То есть та температура, которая сейчас считается экстремально высокой для июля, станет нормой при данном типе застройки уже через 40 лет.

3. Моделирование изменений климата при увеличении площади зеленого пояса столицы на 50%.

В рамках последнего эксперимента, ради контраста, была принята гипотеза, что к 2050 г. половина площади, занимаемой сейчас антропогенно изме-

ненными ландшафтами, будет отдана под лесопарковую зону.

В этом случае распределение температуры воздуха по округам столицы будет следующим (рис. 4):

Подобное увеличение озеленения территории г. Москвы приведет к серьезному улучшению столичного климата. В отдельных округах температура ожидается ниже на $0,5-1^{\circ}$, что серьезно уменьшит вероятность возникновения экстремально жарких условий на фоне потепления климата. Этот факт наглядно демонстрирует роль зеленых насаждений в климатической карте города только на примере теплового эффекта, не говоря о таких параметрах, как содержание кислорода в воздухе, относительной влажности и пр.

Таким образом, при сохранении текущей застройки в ближайшем будущем климат российской столицы в летний период будет еще более жарким.

Это повлечет за собой соответствующие экологические проблемы и скажется на энергопотреблении из-за увеличения потребляемой электроэнергии системами кондиционирования жилых и промышленных объектов.

Библиографический список

1. Cleugh H. A., Grimmond C. S. Modelling regional scale surface energy exchanges and CBL growth in a heterogeneous, urban-rural landscape // *Boundary-Layer Meteorology*, 2001. Vol. 98. P. 1—31.
2. Oke T. R.: City Size and the Urban Heat Island // *Atmos. Environ.* 1973. Vol. 7. P. 769—779.
3. Братсерт У. Х. Испарение в атмосферу Л., 1985.
4. Кислов А. В., Константинов П. И. Моделирование летнего температурного режима Московского региона // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2007. № 1, стр. 45—48.
5. Справочник эколого-климатических характеристик Москвы (по наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ). Т. 2 // Под ред. А. А. Исаева. М., 2005.
6. Hu'seyn Toros, Mete Tayanc. Urbanization effects on regional climate change in the case of four large cities of Turkey // *Climatic Change* 1997. Vol. 35. P. 501—524.

УДК 551.49:551.351.2

ИССЛЕДОВАНИЯ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ПРОБЛЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

В. А. Иванов,

академик НАН Украины, Морской гидрофизический институт НАН Украины, vaivanov@alpha.mhi.iuf.net

А. В. Прусов,

академик НАН Украины, Морской гидрофизический институт НАН Украины, vaivanov@alpha.mhi.iuf.net

В. М. Шестопапов,

ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт НАН Украины, vaivanov@alpha.mhi.iuf.net

Рассмотрены результаты натурных наблюдений процессов смешения морских вод с подземными водами (субмаринная разгрузка) на Южном берегу Крыма (мыс Айя). Дано сравнение оценок дебита источников субмаринной разгрузки для конца гидрологического лета 2007 и 2008 годов, полученное по данным натурных наблюдений гидрологических и гидрохимических параметров.

In situ data of sea-water with groundwater mixing (submarine discharge) on the South coast of the Crimea (Cape Aya) is considered. Using hydrological and chemical *in situ* data the comparison of estimations of submarine discharge sources output for the late hydrological summer in 2007 and 2008 is given.

Ключевые слова: водные ресурсы, подземные воды, субмаринная разгрузка, Украина, Крым, мыс Айя.

Key words: water resources, groundwater, submarine discharge, Ukraine, the Crimea, Cape Aya.

Введение. Дефицит пресной воды в Крыму существенно тормозит поступательное экономическое развитие региона, снижает качество жизни местного населения, подрывает престиж крымских курортов. В монографии [1] справедливо отмечается, что «...существует много проблем, связанных с решением задач устойчивого круглогодичного обеспечения населения питьевой водой высокого качества и в соответствии с международными нормами. В большей степени они объясняются просчетами в управлении водными ресурсами, чем фактической нехваткой воды». Например, Северо-Крымский канал вместе с дополнительной водой сомнительного качества принес на Крымский полуостров и дополнительную проблему: большие утечки из канала повысили уровень грунтовых вод, превратив большие площади плодородных земель в солончаки.

Качество днепровской воды, собирающей по пути в Крым промышленные, бытовые и ливне-