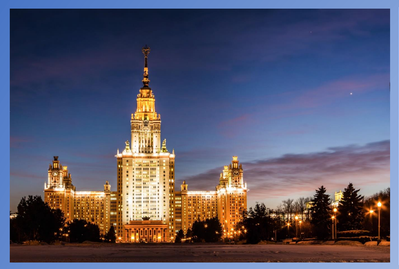

Моделирование климатических сценариев развития Московского мегаполиса в условиях глобального потепления климата XXI века

Автор проекта: аспирант географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Михаил Иванович Варенцов (*mvar91@gmail.com*)

Цели проекта

1) **Прогноз изменений климата Московского мегаполиса и его параметров, значимых для населения и экономики (включая характеристики экстремальных погодных аномалий), для сценариев глобального потепления XXI века и различных сценариев расширения и развития города с высоким пространственным разрешением и детальным учетом локальных климатических особенностей**
2) **Определение оптимального комплекса мер по смягчению негативных последствий ожидаемого потепления климата**

Результаты реализации проекта могут лечь в основу климатической доктрины города Москвы и способствовать его устойчивому развитию в XXI веке.

Предпосылки к реализации проекта

Климатические особенности Московского мегаполиса и их значение для населения и экономики

Хорошо известно, что климат крупного города существенно отличается от климата окружающих загородных территорий. В первую очередь, это связано с эффектом **городского острова тепла,** возникновение которого обусловлено теплофизическими свойствами искусственных материалов, меньшей долей озелененных территорий, выбросами антропогенного тепла от транспорта, зданий и промышленных предприятий (рис. 1).

Московский мегаполис – не исключение. Установлено, что в среднем температура в его центре на 2 градуса Цельсия выше, чем за городской чертой, что, на первый взгляд, не так уж много, однако эквивалентно смещению на юг на сотни километров (рис. 2). Сильнее всего остров тепла выражен в ясные и безоблачные ночи, как летом, так и зимой (рис. 3).

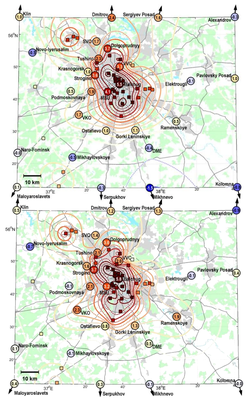

Рис. 3. *Средние значения аномалий температуры по данным метеостанций и станций ГПБУ «Мосэкомониторинг» для выборки ясных и безветренных ночей за зиму 2013-2014 гг. и лето 2014 г.*

Рис. 1. *Основные факторы, приводящие к формированию эффекта городского острова тепла*

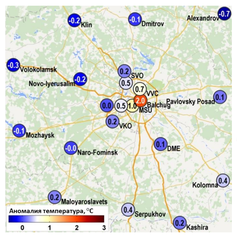

Рис. 2. *Средние многолетние значения аномалии температуры (отклонения от средней загородкой) по данным метеостанций Московского региона за 2005-2015 г.*

Формируемые городами климатические аномалии не могут не сказываться на жизни и самочувствии горожан. И если для зимы можно предположить, что остров тепла позволяет экономить топливо на отоплении зданий, то летом его влияние однозначно негативное и связано в первую очередь с ухудшением метеорологической комфортности и усилением теплового стресса для горожан.

Это наиболее опасно в периоды экстремальной жары, так как в подобных условиях повышение температуры воздуха даже на пару градусов может стоить жизни людям, находящимся в зоне риска (например, пожилым людям). Существует гипотеза, что одной из причин аномального роста смертности в Москве в течение периода аномальной жары 2010 года (рис. 4) был эффект городского острова тепла, за счет которого некомфортные для человека температуры наблюдались непрерывно в течение многих дней (рис. 5). Эта гипотеза также это подтверждается примерами других городов (Buechley et al., 1972; Tan, et al., 2010; Milojevic, et al., 2011).

Другие негативные последствия влияния городов на климат – увеличение энергопотребления летом за счет необходимости более интенсивного кондиционирования воздуха (рис. 6), увеличение повторяемости экстремальных осадков и гроз (Bornstein, et al., 1990; 2000), а также эффект городского бриза – ветра, формирующегося из-за разности температур в городе и пригородах, дующий с окраин в центр города и способствующий повышению концентраций загрязняющих веществ (Lemonsu et al., 2002)

Рис. 4. *Аномалия смертности в июле 2010 года в некоторых регионах субъектах РФ по данным Росстата.*

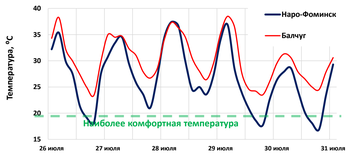

Рис. 5. *Динамика температуры воздуха по данным метеостанций Балчуг в центре Москвы и Наро-Фоминск в Московской области за 26-31 июля 2010 года. Зеленой линией показано значение температуры макс. комфорта (Ревич, 2006)*

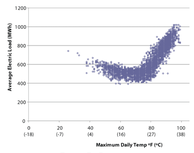

Рис. 6. *Зависимость энергопотребления от температуры воздуха в Новом Орлеане согласно (Sailor, 2002)*

Актуальность проекта

Урбанистическое усиление глобального потепления

Современное глобальное потепление климата (IPCC, 2013) не без оснований считается одной из глобальных проблем человечества. При этом на фоне глобальных климатических изменений, обусловленных выбросами парниковых газов, климат городов также претерпевают изменения в следствие их роста, развития, изменения застройки и планировки.

Для Москвы, население которой выросло с конца 1970-х годов с 8 до почти 13 миллионов человек (т.е. более чем в 1.5 раза), это привело к тому, потепление климата в городе происходило существенно быстрее, за городом – так, за последние 40 лет средние значение интенсивности городского острова тепла Москвы выросло на 0.5 °C (рис. 7), в дополнение к потеплению климата Московского региона в целом более чем на 2°C (рис. 8), т.е. имеет место **урбанистическое усиление глобального потепления**. При этом сильнее всего на рост города реагируют летние значения интенсивности острова тепла, именно с которыми связаны негативные для общества и экономики последствия данного эффекта, которые наиболее опасны во время периодов экстремальной жары.

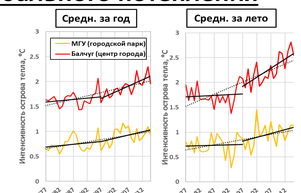

Рис 7. *Динамика средней за год и за летние месяцы интенсивности городского острова тепла (отклонения от фоновой температуры) для двух городских метеостанций за 1977-2015 гг.*

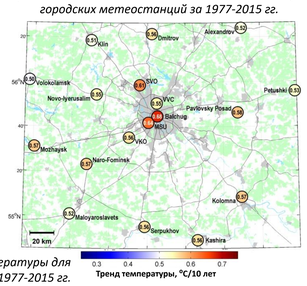

Рис 8. *Коэффициенты линейного тренда изменения температуры для метеостанций Московского региона за 1977-2015 гг.*

Ожидаемые климатические изменения XXI века и возможные меры по смягчению их последствий

Согласно современным прозам изменений климата, при самом «мягком» сценарии глобального потеплении к концу XXI века в Московском регионе температура повысится еще на 2 °C, а при самом «жестком» – на 6 °C (IPCC, 2013; см. рис. 9). На этом фоне различные сценарии развития города могут как усилить, так и ослабить потепление климата. Например, интенсивная урбанизация пригородов и повышение плотности застройки скорее всего приведет к усилению «острова тепла» и усилению негативные последствия потепления климата. С учетом нелинейных связей в климатической системе, результирующее потепление также может сказаться на увеличении числа таких опасных гидрометеорологических явлений, как экстремальные ливни, шквалы, грозы и пр. **Но оценки этих рисков, учитывающие специфику Московского региона (особенности климата, планировки города и сценариев его развития) отсутствуют.**

Но также существует возможности смягчить негативные последствия потепления климата, например за счет внедрения «белых крыш» с повышенным альбедо и «зеленых крыши» с растительным покровом (рис. 10), эффективность использования которых отмечена в работах (Schubert et al., 2013; Georgescu et al. 2014; Santamouris, 2014). Однако эффект от использования таких технологий зависит от локальных условий (Georgescu et al., 2014), поэтому **выбор оптимального комплекса мер по смягчению последний потепления климата требует аккуратных и детальных оценок их эффективности для Московского мегаполиса.**

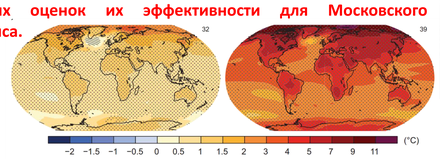

Рис. 9. *Оценка изменения средней температуры воздуха к концу XXI века для самого «мягкого» (RCP 2.6) и самого «жесткого» (RCP 8.5) сценариев измерения климата согласно (IPCC, 2013)*

Рис. 10. *Фотографии примеров использования технологий «белых» и «зеленых» крыш*

Технологическая база проекта

В рамка данного проекта планируется использовать **региональную климатическую модель** COSMO-CLM для динамической **детализации сценариев климатических изменений**, полученных по данным расчетов глобальных моделей атмосферы с грубым (десятки и сотни км) пространственным разрешением **для территории Московского региона с высоким пространственным разрешением** (1 км, см. рис. 11) и с детальным учетом климатических особенностей города и их изменений при различных сценариях расширения его расширении и развития.

Модель COSMO-CLM – это климатическая версия оперативной модели COSMO, используемой для задач прогноза погоды во многих странах мира, в том числе в Гидрометцентре России. За счет специализированной параметризации TERRA_URB (Wouters et al., 2016) она способна хорошо воспроизводить городские климатические городов, в том числе и Москвы, что показано на рис. 12.

Также с использованием данной модели получены «тестовые» оценки отклика климата города на его двукратное расширение за МКАДом (рис. 13) для отдельных летних сезонов. Показано, это может привести к росту средней летней температуры на 0.5 – 1 °C как для новых застраиваемых территорий, так и для центра города, где параметры застройки не менялись. Также такой сценарий расширения города привел к увеличению суммы летних осадков в городе и окрестностях на 15-20 % (рис. 14). Такие цифры являются достаточно существенными для климата, что наглядно подтверждает необходимость продолжения исследований в этом направлении.

Рис. 11. *Конфигурация областей моделирования (с указанием их пространственного разрешения Δx), используемая для детализации глобальных климатических прогнозов или данных реанализа для современного климата методом динамического даунскейлинга*

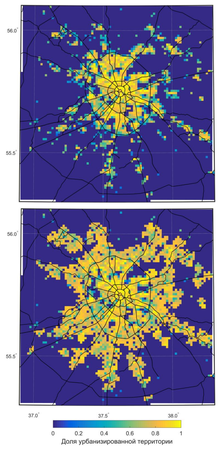

Рис. 13. *Доля площади, занимаемая урбанизированной территорий, задававшаяся в модельных экспериментов с реалистичным городом (сверху) и с городом, площадь которого увеличена в 2 раза (снизу)*

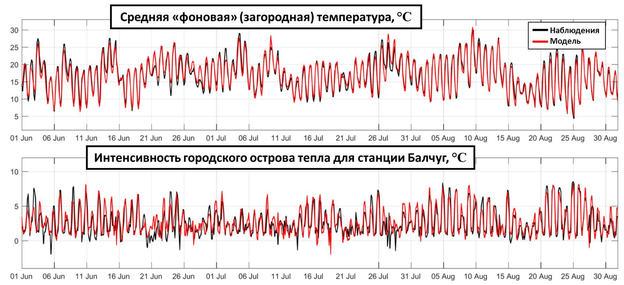

Рис. 12. *Сравнение средней «фоновой» (загородной) температуры и интенсивности городского острова тепла по данным наблюдений и моделирования за лето 2015 года*

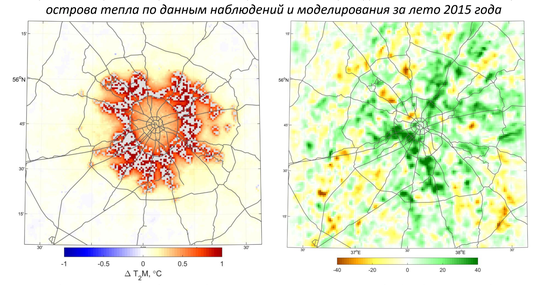

Рис. 14 *Отклик средней за лето температуры воздуха и сумму осадков на двукратное расширение города (по данным моделирования для лета 2014 и 2015 гг.). Для отклика температуры территории, где была добавлена новая городская застройка, показаны серым цветом.*

Список цитируемой литературы

- Ревич Б. А. Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей. - Москва : АдамантЪ, 2006. - стр. 122.
- Bornstein R и LeRoy G. Urban barrier effects on convective and frontal thunderstorms // Extended Abstracts, Fourth Conf. Mesoscale Processes. - Boulder, CO : Amer. Meteor. Soc., 1990. - стр. 120–121.
- Bornstein R. и Lin Q. Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three cases studies // Atmospheric Environment. - 2000 г.. - Т. 34. - стр. 507-516.
- Buechley RW, Van Bruggen J и Truppi LE Heat island equals death island? // Environmental Resourses . - 1972 г.. - 1 : Т. 5. - стр. 85-92.
- Georgescu M. et al. Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2014. – Т. 111. – №. 8. – С. 2909-2914.
- IPCC Climate Change 2013. The Physical Science Basis.Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of theIntergovernmental Panel on Climate Change. - New York : Cambridge University Press, 2013.
- Lemonsu A. и Masson V. Simulation of a Summer Urban Breeze Over Paris // Boundary-Layer Meteorology. - 2002 г.. - 3 : Т. 104. - стр. 463-490.
- Milojevic A. [и др.] Impact of London's Urban Heat Island on Heat-related Mortality // Epidemiology. - 2011 г.. - 1 : Т. 22. - стр. S182-S183.
- Sailor D. Urban Heat Islands, Opportunities and Challenges for Mitigation and Adaptation. Sample Electric Load Data for New Orleans, LA (NOPSI, 1995). - Toronto, Canada : North American Urban Heat Island Summit, 2002.
- Santamouris M. Cooling the cities–a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments //Solar Energy. 2014. V. 103. P. 682-703.
- Schubert S., Grossman-Clarke S. The Influence of green areas and roof albedos on air temperatures during Extreme Heat Events in Berlin, Germany //Meteorologische Zeitschrift. – 2013. – Т. 22. – №. 2. – С. 131-143.
- Tan J. и др. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai// International Journal of Biometeorology. - 2010 г.. - 1 : Т. 54. - стр. 74-84.
- Wouters H. et al. The efficient urban canopy dependency parametrization (SURY) v1. 0 for atmospheric modelling: description and application with the COSMO-CLM model for a Belgian summer //Geoscientific Model Development. 2016. V. 9. №. 9. P. 3027-3054.