

УДК 551.584+551.588.7

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА ЕКАТЕРИНБУРГА

**А. А. Горностаева, Н. Р. Факаева, Д. Ю. Демежко, Б. Д. Хацкевич**

*Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, ул. Амундсена, 100,  
620016, г. Екатеринбург, Россия, [free\\_ride@mail.ru](mailto:free_ride@mail.ru)*

На основе анализа метеоданных, полученных на метеостанциях Екатеринбурга и в близлежащей сельской местности, исследованы основные характеристики городского острова тепла (ГОТ) на разных временных интервалах: от многолетних трендов до суточного цикла. Проанализировано влияние метеофакторов на среднесуточную интенсивность ГОТ. Оценена роль теплофизических неоднородностей подстилающих поверхностей в формировании суточного хода интенсивности ГОТ.

**Ключевые слова:** городской остров тепла; климат города; приземная атмосфера; подстилающая поверхность.

## THE MAIN CHARACTERISTICS AND FEATURES OF FORMATION OF AN URBAN HEAT ISLAND IN YEKATERINBURG

**A. A. Gornostaeva, N. R. Fakaeva, D. Yu. Demezhko,  
B. D. Khatskevich**

*Institute of Geophysics of the Urals Branch of Russian Academy of Sciences,  
Amundsen Str., 100, 620016, Yekaterinburg, Russia, [free\\_ride@mail.ru](mailto:free_ride@mail.ru)*

The main characteristics of an urban heat island (UHI) at different time scales (from long-term trends to diurnal cycle) have been studied based on the analysis of meteorological data recorded at weather stations in Yekaterinburg and immediate rural surroundings. The influence of meteorological factors on the mean daily UHI intensity has been analyzed. The role of thermal inhomogeneities of underlying surfaces in the formation of the diurnal variations of UHI intensity has been evaluated.

**Keywords:** urban heat island; urban climate; near-surface atmosphere; underlying surface.

Известно, что вследствие антропогенной деятельности города формируют в своих границах особые, более теплые по сравнению с окружающей сельской местностью климатические условия, называемые «островом тепла» [1–4]. Городской остров тепла (ГОТ) существенно влияет на состояние окружающей среды и местных экосистем, а также на здоровье населения. В условиях интенсивной урбанизации и продолжающегося

глобального потепления важной задачей является изучение основных характеристик и факторов формирования ГОТ.

В настоящем исследовании проанализированы временная изменчивость, интенсивность и факторы формирования ГОТ Екатеринбурга, одного из крупнейших промышленных городов России, расположенного на Среднем Урале. Анализ проводился на основе метеоданных, зарегистрированных на метеостанциях в центре города и в пос. В. Дуброво, расположенном в 20 км к востоку. Интенсивность ГОТ оценивалась как разность средних температур приземного воздуха за рассматриваемый период дискретизации, соответственно, в Екатеринбурге и Верхнем Дуброво.

За период с 1950 по 1980 гг. среднегодовое значение интенсивности ГОТ равномерно увеличивалось с 0.3 до 0.8 °С, после чего стабилизировалось (рис. 1). Темпы роста интенсивности ГОТ соответствуют темпам роста численности населения Екатеринбурга, хотя прирост населения с начала 2010-х гг. не сказался на интенсивности ГОТ (рис. 1б).

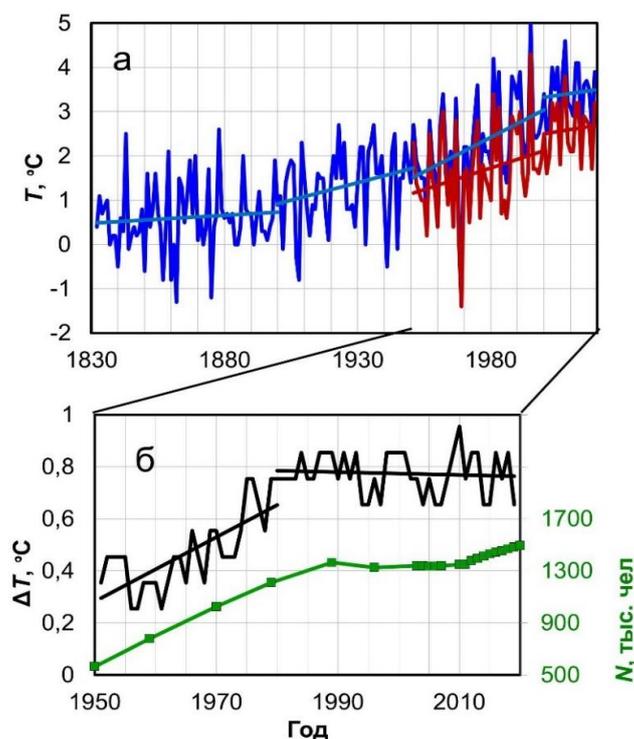


Рис. 1. Изменения среднегодовых температур приземного воздуха  $T$ : а – в Екатеринбурге (синяя кривая) и пос. Верхнее Дуброво (красная кривая), интенсивности ГОТ  $\Delta T$  (б – черная кривая) и численности населения  $N$  (б – зеленая кривая) [5]. Прямыми линиями обозначены многолетние тренды.

В годовом цикле максимальные (до 1.1 °С) среднемесячные значения интенсивности ГОТ наблюдаются в феврале-марте и в июне-августе. Летний максимум в основном определяется максимальными суточными

(ночными) значениями интенсивности ГОТ, максимум в феврале-марте — повышенными минимальными суточными значениями [6].

Амплитуда суточных колебаний составляет до 2.0–2.4 °С летом и 0.6–0.8 °С зимой. Суточный ход интенсивности ГОТ Екатеринбурга имеет U-образную форму с дневным минимумом и ночным максимумом. Для объяснения такого характера изменений интенсивности ГОТ в суточном цикле мы предложили универсальную, физически обоснованную модель переменной составляющей суточного хода интенсивности ГОТ. Согласно модели, ночной максимум формируется вследствие фазовых различий в суточном ходе температур в городе и сельской местности. Различие фаз температурных реакций на радиационное воздействие в городе и селе обусловлено разной структурой теплофизических неоднородностей в слоях суточного теплооборота. В сельской местности наличие верхнего низко-теплопроводного, обогащенного органикой слоя грунта приводит к меньшему (по сравнению с городом) отставанию температурного хода от радиационного. В результате происходит смещение максимума интенсивности ГОТ на ночное время [7].

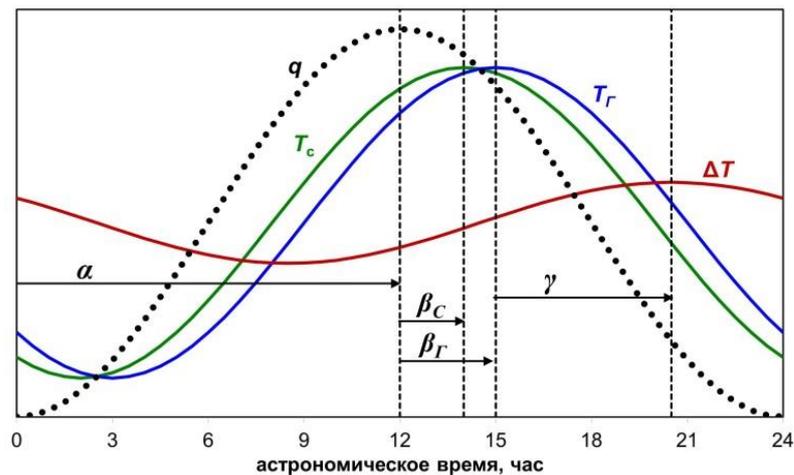


Рис. 2. Схема, поясняющая соотношение факторов формирования суточного цикла интенсивности ГОТ (для 24-часовой гармоник):  $q$  – тепловой поток через земную поверхность,  $T_Г$ ,  $T_С$  – температуры земной поверхности в городе и селе,  $\Delta T$  – интенсивность ГОТ. Вертикальный масштаб – условный. Вертикальными прямыми обозначены моменты максимумов.

Помимо переменной меняется и постоянная (среднесуточная) составляющая. Интенсивность ГОТ, в первую очередь, определяется солнечной радиацией и различиями свойств городских и сельских подстилающих поверхностей (альbedo, излучательной способности, тепловых свойств грунтов). Эти факторы определяют максимальную интенсивность ГОТ,

реализующуюся лишь при «идеальной» погоде. Колебания среднесуточных значений интенсивности ГОТ обычно связывают с влиянием метеофакторов [8–11], уменьшающим интенсивность ГОТ.

Мы проанализировали влияние температуры приземного воздуха, атмосферного давления, скорости ветра, облачности, суточной суммы осадков, относительной влажности воздуха, а также комплексного погодного фактора [12, 13] и разности значений относительной влажности в городе и селе на среднесуточную интенсивность ГОТ в Екатеринбурге методом мультирегрессионного анализа.

Исследования показали, что в летний период регрессионная модель, включающая погодный фактор, атмосферное давление и разность относительных влажностей описывает 60 % наблюдаемой дисперсии интенсивности ГОТ. Зимой единственным статистически значимым фактором является погодный фактор. Однако, соответствующая регрессионная модель описывает лишь 27 % наблюдаемой изменчивости интенсивности ГОТ. В зимний период дополнительный вклад в интенсивность ГОТ вносят утечки тепла из зданий и тепловых сетей, не зависящие от рассмотренных метеофакторов. Вероятно, этим объясняется малая доля изменчивости интенсивности ГОТ, которую можно описать метеофакторами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-10018, <https://rscf.ru/project/22-77-10018/>

### Библиографические ссылки

1. *Howard L.* The climate of London. (W Phillips, sold also by J. and A. Arch). 1818. Vol. 1. 221 pp.
2. *Sundborg A.* Climatological studies in Uppsala//*Geographica*. 1951. Vol. 22. P. 1–107.
3. *Oke T. R.* Review of urban climatology, 1973–1976. Tech. Note N 169. Geneva, World Met. Organiz. 1979. WMO N 539. 100 p.
4. *Rizwan A. M., Dennis L. Y. L., Liu C.* A review on the generation determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*. 2008. Vol. 20. P. 120–8.
5. *Балаев С. Ю.* Строительный рынок Екатеринбурга и Свердловской области // Энциклопедия маркетинга: сайт. URL: <https://www.marketing.spb.ru/mr/realestate/eburg.htm>.
6. *Горностаева А. А., Демежко Д. Ю., Хацкевич Б. Д.* Временная изменчивость городского острова тепла Екатеринбурга // *Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле*. 2023. Т. 43. С. 3–18. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.3>
7. *Демежко Д. Ю., Горностаева А. А., Хацкевич Б. Д., Вдовин А. Г., Факаева Н. Р.* Новая модель формирования суточного цикла интенсивности городского острова тепла // *Мониторинг, наука и технологии*. 2022. № 4(54). С. 26–31. DOI: <https://doi.org/10.25714/MNT.2022.54.004>
8. *Oke T. R.* City size and the urban heat island // *Atmospheric Environment*. 1973. Vol. 7. N 8. P. 769–779.

9. *Kim Y. H., Baik J. J.* Maximum urban heat island intensity in Seoul // *Journal of Applied Meteorology*. 2002. Vol. 41(6). P. 651–659.
10. *Wolters D., Brandsma T.* Estimating the urban heat island in residential areas in the Netherlands using observations by weather amateurs // *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2012. Vol. 51. N 4. P. 711–721.
11. *Tzavali A., Paravantis J. P., Mihalakakou G., Fotiadi A. and Stigka E.* Urban heat island intensity: A literature review // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2015. Vol. 24(12b). P. 4537–4554.
12. *Fortuniak K.* An application of the urban energy balance scheme for a statistical modeling of the UHI intensity. *Proceedings of the 5th International Conference on Urban Climate, University of Lodz*. 2003. Vol. 1. P. 59–62.
13. *Runnalls K. E. and Oke T. R.* A Technique to Detect Microclimatic Inhomogeneities in Historical Records of Screen-Level Air Temperature // *Journal of Climate*. 2006. Vol. 19. N 6. P. 959–978.