

Оригинальная статья

УДК 502/504:551.583

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-114-117

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ «ТЕПЛОВЫХ ОСТРОВКОВ» В ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

МАМЕДОВА ЭСЬМИРА АМИЛЬ^{1✉}, старший научный сотрудник

esimemmedova1985@mail.ru

АБДУРРАХМАНОВА ИРАДА ГАМИД ГЫЗЫ², д-р филос. по технике

irada.abdurrahmanova@mail.ru

¹ Институт космических исследований природных ресурсов Национального аэрокосмического агентства; г. Баку, AZ1115, ул. С.С. Ахундова, 9, Азербайджанская Республика

² НИИ Аэрокосмической информатики Национального аэрокосмического агентства; г. Баку, AZ1115, ул. С.С. Ахундова, 9, Азербайджанская Республика

Цель исследований – разработка обобщающей модели «тепловых островков». Изложены результаты модельных исследований динамики возникновения тепловых островков в городских территориях. На основе известных регрессионных частных моделей, связывающих плотность населения с поверхностной температурой и фрактальным размером городской структуры, а также с расстоянием от центра рассматриваемой местности, с учетом модели временной зависимости фрактальной размерности, синтезированы общие уравнения, показывающие взаимосвязь указанных показателей городской зоны в динамике. Получены обобщенные уравнения временной динамики появления эффекта «тепловых островков» в городах с учетом фрактальной размерности урбанизированных зон.

Ключевые слова: фракталы, тепловые островки, урбанизация, динамика, модельные исследования

Формат цитирования: Мамедова Э.А., Абдуррахманова И.Г. Модельное исследование динамики возникновения «тепловых островков» в городских территориях // Природообустройство. – 2022. – № 4. – С. 114-117. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-114-117.

Мамедова Э.А., Абдуррахманова И.Г., 2022

Original article

MODEL STUDY OF THE DYNAMICS OF THE APPEARANCE OF “HEAT ISLANDS” IN URBAN TERRITORIES

MAMEDOVA ESMIRA AMIL^{1✉}, senior researcher

esimemmedova1985@mail.ru

ABDURRAKHMANOVA IRADA GAMID GYZY², doctor of philosophy on technics

irada.abdurrahmanova@mail.ru

¹ Institute of Space Research of Natural Resources of the National Aerospace Agency, Baku, AZ1115, S.S. Akhundov str., 9, Republic of Azerbaijan

² Research Institute of Aerospace Informatics of the National Aerospace Agency, Baku, AZ1115, S.S. Akhundov str., 9, Azerbaijan Republic

The purpose of the work is to develop a generalizing model of «thermal islands». The results of model studies of the dynamics of the occurrence of thermal islands in urban areas are presented. On the basis of known regression partial models linking population density with the surface temperature and the fractal size of the urban structure, as well as with the distance from the center of the area under consideration, taking into account the model of time dependence of fractal dimension, general equations showing the relationship of these indicators of the urban zone in dynamics are synthesized. Generalized equations of the temporal dynamics of the appearance of the effect of «thermal islands» in cities are obtained, taking into account the fractal dimension of urbanized zones.

Keywords: fractals, thermal islands, urbanization, dynamics, model studies

Format of citation: Mamedova A.E. A., Abdurrakhmanova I.G.G. Model study of the dynamics of the appearance of «heat islands» in urban territories // Природообустройство. – 2022. – № 4. – С. 114-117. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-114-117.

Введение. Процессы урбанизации приводят к значительным пространственным изменениям в структуре городов: например, уменьшение зеленых территорий связано с ростом асфальтированных и застроенных участков [1, 2]. В результате возникает разность между температурами в городских участках и прилегающих сельских зонах [3], что называется как «Городские островки тепла». Этот эффект имеет важное значение при расчете и планировании энергообеспечения городов при анализе климатических вопросов, а также в решении проблем, связанных со здоровьем городского населения [4, 5]. Указанное выше диктует необходимость изучения динамики процесса возникновения тепловых островков для возможного прогнозирования и предотвращения его отрицательных воздействий.

Для изучения динамики указанного процесса широко используются как метеорологические контактные измерения температуры [6, 7], так и средства дистанционного зондирования [8, 9]. Вместе с тем в настоящее время разработаны отдельные частные модели динамики

этого процесса [10, 11]. Так, исследованы [10] пространственно-временные характеристики динамики процесса возникновения «тепловых островков». Развита [11] фрактальный подход к исследованию временного развития указанных процессов.

В целом в настоящее время отсутствует более или менее общая модель, охватывающая такие показатели, как плотность населения в центре города и на окраине, фрактальность, текущее время, поверхностная температура.

Цель исследований: разработка указанной модели, сочетающей отдельные частные модели, связывающие вышеуказанные показатели. Для построения такой обобщающей модели рассмотрим существующие частные модели «тепловых островков».

Материалы и методы исследований. Проведен анализ существующих моделей «тепловых островков». Существует [12] достаточно сильная регрессионная связь между температурой поверхности земли (LST) и плотностью населения в виде кривой, показанной на рисунке 1.

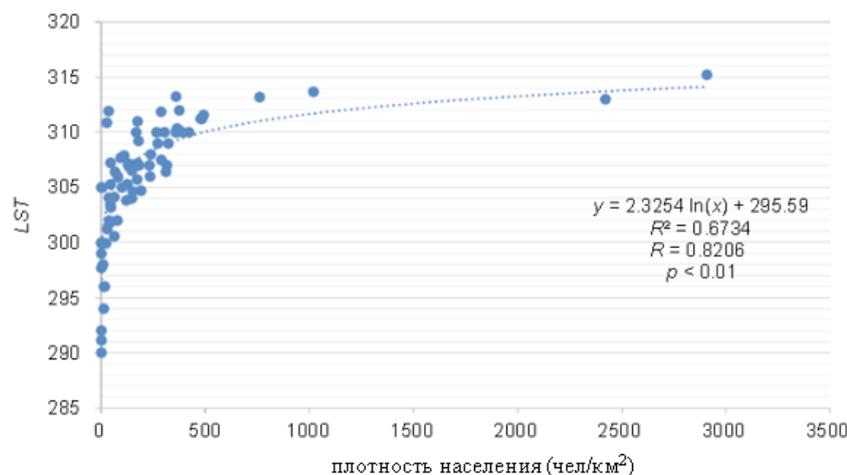


Рис. 1. Кривая регрессионной зависимости LST от плотности населения в городской зоне

Fig. 1. LST regression curve dependence on urban population density

Согласно [12] указанная регрессионная зависимость является достаточно сильной ($R = 0,8206$) и аналитически выражается как

$$LST = 2,3254 \ln \rho + 295,59, \quad (1)$$

где ρ – плотность населения, чел/км².

Другая важная частная модель, связывающая фрактальный размер структуры городов и плотность городского населения, изложена в работе [13], согласно которой между плотностью населения ρ и фрактальной размерностью D существует следующая аналитическая зависимость:

$$\log \rho = 0,4962D + 4,6803 \quad (\text{рис. 2}). \quad (2)$$

В работе [14] изложены результаты модельных исследований зависимости плотности населения от расстояния между центром города и рассматриваемой точкой в пределах города. Согласно [14] указанная зависимость имеет экспоненциальный характер и имеет вид:

$$\rho(r) = \rho(0) \exp(-br), \quad (3)$$

где r – расстояние от центра города до рассматриваемой точки; b – крутизна; $\rho(0)$ – плотность населения в центре города.

Другая, не менее важная частная модель, характеризующая временное развитие фрактальности структуры городов, предложена

в работе [11], согласно которой временная зависимость фрактальной размерности может быть выражена как

$$D(t) = \frac{D_{\max}}{1 + \left(\frac{D_{\max}}{D_{(1)}} - 1\right) t^{-b}}, \quad (4)$$

где $D(t)$ – фрактальная размерность в момент t ; D_{\max} – максимальная величина фрактального размера; $D_{(1)}$ – фиксированная величина D ; b – коэффициент масштаба; t – время.

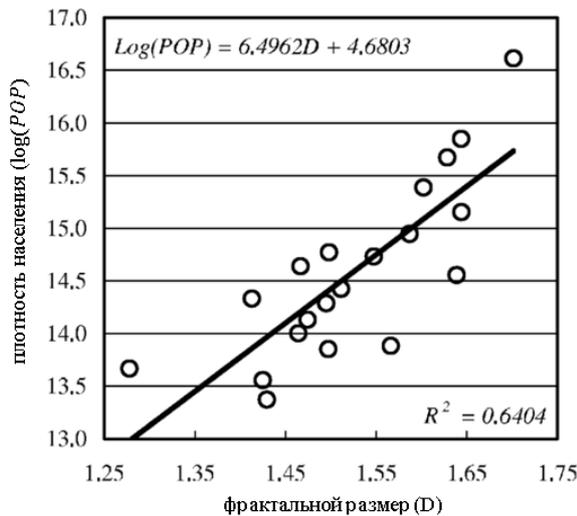


Рис. 2. Графическое представление регрессионной зависимости (2) между фрактальной размерностью структуры городов (D) и плотностью населения

Fig. 2. Graphical representation of the regression dependence (2) between the fractal dimension of the urban structure (D) and the population density

Результаты и их обсуждение. С учетом рассмотренных частных моделей, связывающих отдельные показатели «тепловых островков», рассмотрим возможность создания наиболее общей модели этого эффекта.

Сначала получим общий вид такой модели. Выражение (1) представим как

$$LST = f(\ln \rho). \quad (5)$$

Зависимость (2) в общем виде выразим как

$$\ln \rho = \varphi(D). \quad (6)$$

Далее выражение (3) запишем в виде:

$$\rho = \xi(r). \quad (7)$$

Выражение (4) выразим как

$$D = \psi(t). \quad (8)$$

Из выражений (5) и (7) получим

$$LST = f(\ln \xi(r)). \quad (9)$$

Из выражений (6) и (8) получим

$$\ln \rho(t) = \varphi(\psi(t)). \quad (10)$$

Из выражений (5) и (10) получим

$$LST(t) = f(\varphi(\psi(t))). \quad (11)$$

С учетом (7) и (10) имеем

$$\ln \xi(r, t) = \varphi(\psi(t)). \quad (12)$$

Поскольку в формулах (10), (11), (12) правые стороны зависят от t , то и левые стороны этих формул также представлены в виде формул, зависящих от t . Из (12) получим:

$$\ln \xi(r, t) = \exp[\varphi(\psi(t))]. \quad (13)$$

Формулу (11) представим как

$$\varphi(\psi(t)) = f^{-1}(LST(t)). \quad (14)$$

Из (12) и (14) получим

$$\ln \xi(r, t) = f^{-1}(LST(t)). \quad (15)$$

Таким образом, формулы (12)-(15) могут быть рассмотрены в качестве общих уравнений развития процесса образования тепловых островков в городской зоне.

Покажем получение более детальных выражений предлагаемой модели динамики развития эффекта «тепловых островков».

Из выражений (1) и (3) получим

$$LST = a_1 [\ln \rho_0 - kr] + b. \quad (16)$$

Из (12) и (14) имеем

$$\log \rho(t) = b_1 \left[\frac{D_{\max}}{1 + \left(\frac{D_{\max}}{D_{(1)}} - 1\right) t^{-b}} \right] + b_2. \quad (17)$$

На основе (17) и (1) запишем:

$$LST(t) = a_1 \left[b_1 \left[\frac{D_{\max}}{1 + \left(\frac{D_{\max}}{D_{(1)}} - 1\right) t^{-b}} \right] + b_2 \right] + b. \quad (18)$$

Из (16) и (18) находим:

$$\ln \rho(0, t) = k(t) \cdot r + \frac{b_1 D_{\max}}{1 + \left(\frac{D_{\max}}{D_{(1)}} - 1\right) t^{-b}} + b_2 \quad (19)$$

или

$$\rho(0, t) = \exp \left[k(t) \cdot r + \frac{b_1 D_{\max}}{1 + \left(\frac{D_{\max}}{D_{(1)}} - 1\right) t^{-b}} + b_2 \right]. \quad (20)$$

Таким образом, выражения (17)-(20) могут быть представлены в качестве обобщенных уравнений временной динамики появления эффекта «тепловых островков» в городской зоне.

Выводы

На основе анализа регрессионных моделей, связывающих такие показатели, как плотность населения и поверхностная температура; плотность населения и фрактальный размер городской структуры; плотность населения и расстояние от центра рассматриваемой местности; временная зависимость фрактальной размерности, синтезированы общие уравнения, показывающие взаимосвязь указанных

показателей городской зоны в динамике. Получены обобщенные уравнения временной динамики появления эффекта «тепловых островков» в городах с учетом фрактальной размерности урбанизированных зон.

Результаты, полученные в исследованиях, могут быть использованы при расчете и прогнозировании городского микроклимата, при строительстве и реконструкции городских кварталов и при планировании развития городов.

Библиографический список / References

1. Cui Y., Xu X., Dong J., Qin Y. Influence of urbanization factors non surface urban heat island intensity: a comparison of countries at different developmental phases // *Sustainability*. – 8 (8). – 706. doi:10.3390/su8080706. 2016.
2. Lee K., Kim Y., Sung H.C., Ryu J., Jeon S.W. Trend analysis of urban heat island intensity according to urban area change in Asian mega cities // *Sustainability*. – 12 (1). – S. 112. doi:10.3390/su12010112. 2019.
3. Chakraborty T., Lee X. A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their spatiotemporal variability // *International Journal of Applied Earth Observation and G.* – 9 (4). – 606. doi:10.3390/su9040606. 2017.
4. Agathangelidis, Cartalis, Santamouris. Integrating urban form, function and energy fluxes in a heat exposure indicator in view of intra-urban heat island assessment and climate change adaptation // *Climate*. – 7 (6). – S. 75. doi:10.3390/cli7060075. 2019.
5. Shreevastava A., Bhalachandran S., McGrath G.S., Huber M., Rao P.S.C. Paradoxical impact of sprawling intra-urban heat islets: reducing mean surface temperatures while enhancing local extremes // *Scientific reports*. – 9 (1). doi:10.1038/s41598-019-56091-w. 2019.
6. Hu D., Meng Q., Zhang L., Zhang Y. Spatial quantitative analysis of the potential driving factors of land surface temperature in different «centers» of polycentric cities: a case study in Tianjin, China // *Science of the total environment*. 135244. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135244. 2019.

Критерии авторства

Мамедова Э.А., Абдуррахманова И.Г. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 28.06.2022

Одобрена после рецензирования 12.09.2022

Принята к публикации 19.09.2022

7. Lehoczky A., Sobrino J., Skokovic D., Aguliar E. The urban heat island effect in the city of Valencia; a case study for hot summer days // *Urban Science*. – 1 (1). 9. doi:10.3390/urbansci1010009. 2017.

8. Zhou D., Xiao J., Bonafoni S., Berger C., Deilami K., Zhou Y., Sobrino J. Satellite remote sensing of surface urban heat islands: progress, challenges and perspectives // *Remote Sensing*. – 11 (1). – 48. doi:10.3390/rs11010048. 2018.

9. Souto J.I.O., Cohen J.C.P. Spatiotemporal variability of urban heat island: influence of urbanization on seasonal pattern of land surface temperature in the metropolitan region of Belem, Brazil // *Urbe. Revista Brasileira de Gestao Urbana*. – 2021. – Vol. 13. E20200260. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200260>.

10. Yanguang Chen. Fractal modeling and fractal dimension description of urban morphology // *entropy* 2020. – 22. – S. 961. doi:10.3390/e22090961.

11. Dushi M., Berila A. Determining the influence of population density on the land surface temperature based on remote sensing data and GIS techniques: application to Prizren, Kosovo // *Sci. Rev. Eng. Env. Sci.* – 31 (1). – S. 47-62. doi:10.22630/srees.2324. 2022.

12. Guoqiang Shen. Fractal dimension and fractal growth of urbanized areas // *Int. J. Geographical information science*. – 2002. – Vol. 16. – No 5. – 419-437.

13. Tannier C., Pumain D. Fractals in urban geography: a theoretical outline and an empirical example // *Cybergeo*. – No 307. – 2005.

Criteria of authorship

Mamedova A.E.A., Abdurrakhmanova I.G.G. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Mamedova A.E.A., Abdurrakhmanova I.G.G. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 28.06.2022

Approved after reviewing 12.09.2022

Accepted for publication 19.09.2022