

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ КЛИМАТОПОВ¹

Сергей Валерьевич Корниенко^{1,2}, Екатерина Александровна Дикарева¹

¹ Волгоградский государственный технический университет (ВГТУ); г. Волгоград, Российская Федерация;

² Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (ЦНИИП Минстроя России); г. Москва, Российская Федерация

В условиях урбанизации и роста населения в мегаполисах уменьшается количество природных поверхностей, ухудшается водный баланс территорий, снижается качество воздуха. Это часто приводит к изменению климатических условий и образованию городских тепловых островов (ГТО).

Значительное количество исследований климата на урбанизированных территориях основано на концепции локальных климатических зон (ЛКЗ) или климатопов, позволяющей выполнить оценку степени гетерогенности теплового режима. Данное исследование эффективно использует понятие «климатопо» как обобщенный климатический показатель урбанизированных территорий.

Цель исследования состоит в установлении научно обоснованной закономерности между климатопом и тепловой характеристикой городской среды, что является необходимым для разработки конкретных рекомендаций по совершенствованию температурного режима урбанизированных территорий.

Исследование направлено на разработку и обоснование многофакторной математической модели, выявляющей взаимосвязь между климатопом и тепловой характеристикой с целью смягчения городского теплового острова в летний период года. Разработанная математическая модель основана на анализе данных дистанционного зондирования. Объектом исследования является г. Волгоград — мегаполис, расположенный на юго-востоке европейской части России, с умеренно-континентальным, засушливым климатом.

Отличительной особенностью модели является возможность учета не только планировочных, но и объемно-пространственных характеристик при расчете данных по конкретному климатопу.

На основании полученной математической модели и данных о влиянии планировочных элементов на температурный режим поверхности разработаны 40 климатопов. Указанные климатопы представляют собой комбинации различных типов покрытий городской поверхности и видов застройки. За основу были взяты 17 стандартизированных ЛКЗ, расширенных в большем диапазоне вариаций для получения более наглядной выборки проектных решений. Полученные климатопы позволяют достаточно быстро и точно проанализировать температурный режим урбанизированных территорий, используя предложенную математическую модель.

Ключевые слова: городской тепловой остров, городское озеленение, климатопо, температурный режим, локальная климатическая зона, урбанизированная территория

Для цитирования: Корниенко С.В., Дикарева Е.А. Совершенствование температурного режима урбанизированных территорий на основе климатопов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 68–75. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.68-75

INCREASING THE QUALITY OF THE URBAN THERMAL ENVIRONMENT BASED ON CLIMATOPES

Sergey V. Korniyenko^{1,2}, Ekaterina A. Dikareva¹

¹ Volgograd State Technical University (VSTU); Volgograd, Russian Federation;

² Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (TsNIIP Ministry of Construction of Russia); Moscow, Russian Federation

In conditions of urbanization and population growth in megacities, the amount of natural surfaces decreases, the water balance of territories deteriorates, and air quality decreases. This often leads to changes in climate conditions and the formation of urban heat islands.

¹ Работа выполнена в рамках подготовки научно-исследовательских работ по теме № 2.3.1.1. «Направления развития энергоэффективного градостроительства России (энергоэффективные кварталы как инновационные планировочные образования)» ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России».

A significant number of climate studies in urban areas are based on the concept of local climatic zones, which makes it possible to assess the degree of heterogeneity of the thermal regime. This study effectively uses the concept of “climatope” as a generalized climatic indicator of urbanized areas.

The purpose of the study is to establish a scientifically grounded pattern between the climate and the thermal characteristics of the urban environment, which is necessary for the development of specific recommendations for improving the quality of the urban thermal environment.

The study is aimed at developing and justifying a multifactor mathematical model that reveals the relationship between the climate and the thermal characteristics of the urban environment with the aim of mitigating the urban heat island in the summer. The developed mathematical model is based on the analysis of remote sensing data. The object of the study is the city of Volgograd, a metropolis located in the southeast of the European part of Russia, with a temperate continental, arid climate.

A distinctive feature of the model is the ability to take into account not only planning, but also volumetric-spatial characteristics when calculating data for a specific climate.

Based on the obtained mathematical model and data on the influence of planning elements on the temperature regime of the surface, 40 climatopes were developed. The specified climatopes are combinations of various types of urban surface coatings and types of buildings. 17 standardized local climatic zones were taken as a basis, expanded over a larger range of variations to obtain a more visual sample of design solutions. The resulting climatopes allow one to quickly and accurately predict the quality of the urban thermal environment using the proposed mathematical model.

Keywords: urban heat island, urban greening, climatope, urban thermal environment, local climatic zone

For citation: Korniyenko S.V., Dikareva E.A. Increasing the quality of the urban thermal environment based on climatopes. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2024; 4:68-75. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.68-75 (rus.).

Введение

В условиях урбанизации и роста населения в мегаполисах уменьшается количество природных поверхностей, ухудшается водный баланс территорий, снижается качество воздуха. Это часто приводит к изменению климатических условий на урбанизированных территориях и образованию городских тепловых островов [1–3]. Городской тепловой остров (англ. Urban Heat Island, ГТО) — феномен, заключающийся в повышении температуры поверхностей и прилегающих к ним воздушных масс в границах города относительно окружающих его рурализованных территорий. Причины возникновения ГТО могут отличаться в разных климатических условиях, но основные факторы его формирования схожи — низкое альbedo поверхности, неэффективная форма и площадь застройки, низкий коэффициент озеленения территории и другое [4, 5].

Изучением методов смягчения ГТО занимается ряд российских и зарубежных ученых [6–9]. В этих работах исследуется влияние озеленения мегаполисов на смягчение ГТО [6], оценивается градостроительная деятельность на основе принципов биосферной совместимости [7], выявляется закономерная связь между объемно-планировочными характеристиками застройки и температурными показателями прилегающих территорий [8], оценивается тепловое воздействие на человека [9].

Отличительной особенностью городского климата является его высокая гетерогенность, определяемая разнообразием градостроительных структур и типов растительного покрова в разных пространственных масштабах. Вопрос пространственного масштаба является ключевым в исследованиях городского климата. Особенности городского климата определяются природными и антропогенными факторами. Воздействия этих факторов часто

заметны в границах территорий, имеющих довольно крупный пространственный масштаб. Наряду с этим растет количество научных исследований на основе концепции локальных климатических зон (ЛКЗ), что позволяет более точно учесть особенности городского климата на небольших территориях.

Концепция ЛКЗ была, по-видимому, впервые предложена в 2012 г. Стюартом (Stewart) и Оке (Oke) [10] для количественной оценки влияния градостроительных структур на образование ГТО. ЛКЗ представляет собой пространственную ячейку, обладающую определенными тепловыми свойствами [11, 12]. Локальные климатические зоны определяются как области (пространственные ячейки), обладающие схожими характеристиками, такими как поверхностный покров, материал, структура и другие, простирающиеся от нескольких сотен метров до километров [10]. Проект “World Urban Database and Access Portal Tools” (WUDAPT) был создан в качестве глобальной инициативы по разработке стандартизированных ЛКЗ [13].

Для создания ЛКЗ широко используют метод дистанционного зондирования (ДДЗ). Этот метод позволяет измерить температуру поверхности городских территорий [14–16]. Температурный режим заметно меняется в связи с неоднородностью урбанизированных территорий и разнообразием видов озеленения в диапазоне от микро- до мезомасштаба — от сотен метров до нескольких километров [17].

ЛКЗ стали важным стимулом для исследований по городской климатологии и городскому планированию. На данный момент разработано 17 стандартных ЛКЗ: 10 из них сформированы, главным образом, различными типами застройки, а 7 ЛКЗ демонстрируют различные типы подстилающей поверхности [10]. Каждая ЛКЗ имеет свои температурные показатели.

Концепция ЛКЗ широко представлена в зарубежной литературе, что подчеркивает актуальность данного подхода в исследованиях, направленных на поиск эффективных решений по смягчению ГТО [18, 19]. Развитием этой концепции является разработка методологии по оценке ГТО на основе различных факторов: плотности застройки, шероховатости поверхности, альbedo, растительности и антропогенного теплового потока.

В отечественной городской климатологии более общим является понятие «климатоп». Впервые определение «климатоп» было дано академиком В.Н. Сукачёвым в 1964 г. Профессор В.К. Лицкевич в 1984 г. применил данное понятие для решения архитектурно-градостроительных задач, в частности, при разработке климатической топологии жилища, учитывая природно-климатические условия местности. Климатоп позволяет эффективно оценить микроклимат города, отдельных городских территорий, типов застроек [20]. Каждый климатоп имеет масштаб. Климатоп территориальной (или функциональной) зоны характеризуется определенным микроклиматом в границах этой зоны. Различные планировочные образования в границах зоны могут иметь свои климатопы. По климатическим картам можно определить аномальные тепловые (температурные) зоны и разработать предложения по улучшению микроклимата застройки.

Цель данного исследования состоит в установлении научно обоснованной закономерности между климатопом и температурой поверхности, что является необходимым условием для разработки рекомендаций по совершенствованию температурного режима урбанизированных территорий.

Методы исследования

Объектом исследования является г. Волгоград (48°42'42" с. ш. 44°30'50" в. д.) — мегаполис, расположенный на юго-востоке европейской части России. Волгоград представляет собой линейный город, расположенный вдоль Волги длиной 65–70 км и шириной около 5 км. Площадь города составляет 859,3 км², население — 1 001 183 чел. Самая высокая точка расположена на северо-западе города на одном из куполообразных возвышений. Прилегающая к Волге часть города — низменная, с высотой 0–40 м над уровнем моря. На удалении 1–3 км от Волги находится цепь пологих холмов высотой 50–140 м. Климат умеренно-континентальный, засушливый (согласно международной классификации климата Кёрпер — тип «Dfa»). Зима мягкая, с частыми оттепелями, лето жаркое и долгое, во все времена года возможны резкие перепады температуры. Среднее количество осадков — 267 мм в год.

С целью построения математической модели была использована ячейка 100 × 100 м для агрегации пикселей и получения данных о температурных показателях в различных функциональных зонах города.

Для описания геометрических свойств планировочных элементов использованы следующие характеристики:

- коэффициент плотности застройки (X_1) — отношение площади всех этажей зданий и сооружений к площади участка;
- коэффициент озеленения деревьями (X_2) — отношение площади деревьев к площади участка;
- коэффициент озеленения травой и мелким кустарником (X_3) — отношение площади травы и кустарников к площади участка;
- коэффициент дорожных покрытий (X_4) — отношение площади дорог, включая участки с твердым покрытием, к площади участка;
- коэффициент грунтовых покрытий (X_5) — отношение площади грунтовых покрытий к площади участка.

Используя спутниковые изображения, определены расчетные геометрические характеристики планировочных элементов.

Отличительной особенностью данного метода является возможность учета не только планировочных (X_2, X_3, X_4, X_5), но и объемно-пространственной (X_1) характеристик. Коэффициент X_1 позволяет учесть трехмерную структуру зданий и сооружений. Это особенно важно при рассмотрении зданий различной формы, размеров в плане, этажности, количества зданий на участке.

Для раскрытия закономерности, учитывающей влияние планировочных элементов на температурный режим урбанизированных территорий, разработана многофакторная математическая модель, устанавливающая связь между характеристиками планировочных элементов и их влиянием на показатель относительной температуры. Показатель относительной температуры равен отношению разности температуры рассматриваемого участка и минимальной температуры поверхности к разности минимальной и максимальной температур поверхности [16].

Используя экспериментальные данные тепловых изображений урбанизированных территорий и расчетные геометрические характеристики планировочных элементов рассматриваемого объекта, определенные на основе метода дистанционного зондирования [16], получено уравнение множественной линейной регрессии в следующем виде:

$$Y = 0,838 - 0,0322X_1 - 0,766X_2 - 0,503X_3 - 0,337X_4 - 0,159X_5. \quad (1)$$

Уравнение (1) устанавливает влияние характеристик планировочных элементов на показатель относительной температуры. Доказано, что построенная математическая модель является адекватной. По итогам проведенного корреляционного анализа выявлены прямые и обратные корреляционные связи различной силы между отдельными переменными. Расчетом получены следующие значения ошибок: средняя абсолютная ошибка $MAE = 0,10$; среднеквадратичные ошибки $MSE = 0,02$, $RMSE = 0,13$. Указанные значения в целом говорят о достоверности полученных результатов.

Анализ уравнения (1) показывает, что все рассматриваемые геометрические характеристики планировочных элементов влияют на показатель относительной температуры. Наибольший вклад в изменение (снижение) температуры поверхности дает озеленение участка деревьями.

Полученный результат подтверждает вывод, что деревья оказывают значительное влияние на смягчение ГТО. Степень нагрева поверхности зависит от формы листьев, структуры и размера кроны, высоты дерева и других показателей. Охлаждающий эффект от дерева образуется вследствие затенения, испарения и термогравитационной конвекции. Полученная математическая модель отражает закономерное влияние планировочных элементов на температурный режим урбанизированных территорий, что открывает широкие возможности улучшения качества тепловой среды.

Результаты и обсуждение

Используя математическую модель (1), рассчитаны значения показателя относительной температуры при различных вариациях геометрических характеристик планировочных элементов, отражающих реальные типы городской застройки. Всего определено 40 климатопов. При определении климатопов учтены комбинации различных типов покрытий (трава, грунт, асфальтовая дорога, плотная посадка деревьев) и видов застройки. Полученные климатопы позволяют достаточно быстро и точно прогнозировать температурный режим урбанизированных территорий, используя предложенную математическую модель.

Опираясь на данные работы [16], предлагается следующая классификация климатопов (табл. 1).

На основе предложенной классификации по значениям относительной температуры возможно присвоение определенного класса конкретному участку, что позволяет выявить территории, требующие улучшения с точки зрения планировочных решений.

На рис. 1 представлены результаты расчета относительной температуры для ряда климатопов, учитывающих различные типы покрытий. Из рис. 1

Таблица 1. Классификация климатопов

Обозначение класса климатопа	Наименование класса климатопа	Значения относительной температуры
A	Очень высокий	Ниже 0,2
B	Высокий	От 0,2 до 0,4
C	Умеренный	От 0,4 до 0,6
D	Низкий	От 0,6 до 0,8
E	Очень низкий	От 0,8 до 1

видно, что классу А, т.е. очень высокому классу, соответствует плотная посадка деревьев, подобно лесопарку, к классу В относится покрытие травой, к классу С — асфальтовое покрытие, а к классу D — темное грунтовое покрытие.

Стоит отметить, что асфальтовое сухое покрытие по данным наблюдений имеет более высокое

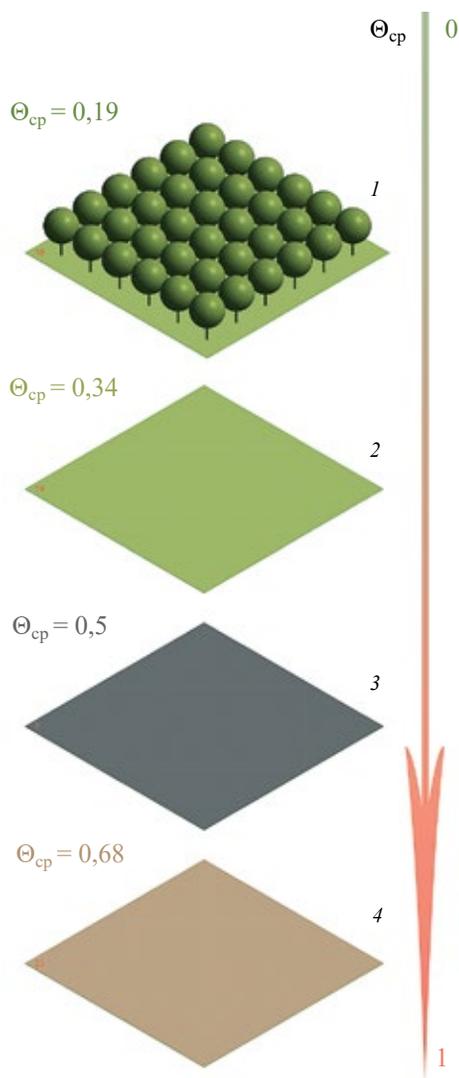


Рис. 1. Распределение климатопов по показателю относительной температуры: 1 — плотная посадка деревьев (55,4 %) и покрытие из травы и кустарников (44,6 %); 2 — покрытие из травы и кустарников (100 %); 3 — асфальтовое покрытие (100 %); 4 — грунтовое покрытие (100 %)

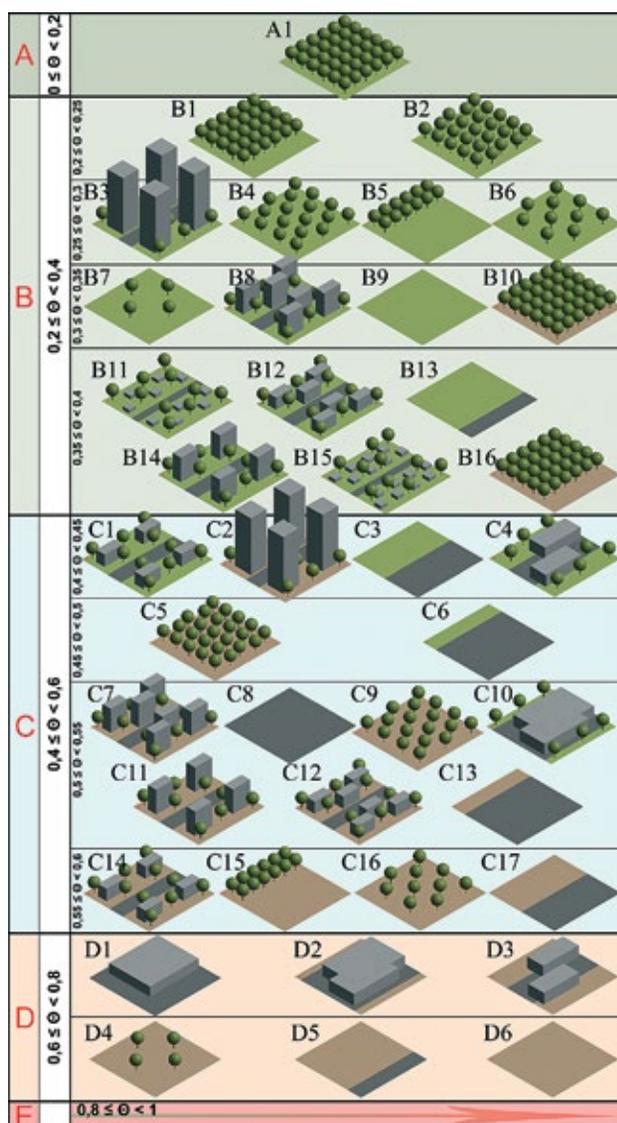


Рис. 2. Распределение климатопов по классам

альбедо по сравнению с грунтовым покрытием, вследствие чего температура асфальтового покрытия при прочих равных условиях ниже, чем грунтового.

Распределение климатопов по классам показано на рис. 2, подробное описание климатопов представлено в табл. 2.

Полученное распределение климатопов по классам показывает:

- чем более плотная посадка деревьев, тем выше класс климатопа;
- наличие покрытия из травы и кустарников вместо грунтового покрытия также дает значительное повышение класса климатопа;
- расположение климатопа с более плотной застройкой в высоком классе обусловлено, по-видимому, снижением температуры поверхностей вследствие затенения прямой солнечной радиации и аэрации урбанизированных территорий;

Таблица 2. Характеристики климатопов

Обозначение	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
A1	0,00	0,55	0,45	0,00	0,00
B1	0,00	0,46	0,54	0,00	0,00
B2	0,00	0,38	0,62	0,00	0,00
B3	6,09	0,12	0,45	0,20	0,00
B4	0,00	0,28	0,72	0,00	0,00
B5	0,00	0,18	0,82	0,00	0,00
B6	0,00	0,15	0,85	0,00	0,00
B7	0,00	0,06	0,94	0,00	0,00
B8	2,32	0,15	0,51	0,20	0,00
B9	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
B10	0,00	0,55	0,00	0,00	0,45
B11	0,16	0,15	0,65	0,10	0,00
B12	1,16	0,15	0,51	0,20	0,00
B13	0,00	0,00	0,80	0,20	0,00
B14	1,55	0,15	0,44	0,20	0,00
B15	0,26	0,15	0,59	0,10	0,00
B16	0,00	0,46	0,00	0,00	0,54
C1	0,77	0,15	0,44	0,20	0,00
C2	6,09	0,12	0,00	0,20	0,45
C3	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00
C4	1,39	0,11	0,38	0,25	0,00
C5	0,00	0,38	0,00	0,00	0,62
C6	0,00	0,00	0,20	0,80	0,00
C7	2,32	0,15	0,00	0,20	0,51
C8	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
C9	0,00	0,28	0,00	0,00	0,72
C10	2,68	0,09	0,10	0,31	0,00
C11	1,55	0,15	0,00	0,20	0,44
C12	1,16	0,15	0,00	0,20	0,51
C13	0,00	0,00	0,00	0,80	0,20
C14	0,77	0,15	0,00	0,20	0,44
C15	0,00	0,18	0,00	0,00	0,82
C16	0,00	0,15	0,00	0,00	0,85
C17	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50
D1	1,71	0,00	0,00	0,54	0,00
D2	2,68	0,00	0,00	0,31	0,19
D3	1,39	0,00	0,00	0,25	0,49
D4	0,00	0,06	0,00	0,00	0,94
D5	0,00	0,00	0,00	0,20	0,80
D6	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

- климатопы с максимальной площадью грунтовых и асфальтовых поверхностей, а также максимальной площадью застройки производственными зданиями относятся к низкому классу.

Важно отметить, что в результате данного исследования не было получено климатопов, относящихся к очень низкому классу.

Выводы

1. В рамках исследования проведен анализ научных работ, изучающих понятия локальной климатической зоны и климатопа.

2. Разработана многофакторная математическая модель, устанавливающая связь между характеристиками планировочных элементов и их влиянием на показатель относительной температуры для мегаполиса с умеренно-континентальным, засушливым климатом.

3. На основании полученной математической модели и данных о влиянии планировочных элементов на температурный режим поверхности разработаны 40 климатопов. Указанные климатопы представляют собой комбинации различных типов

покрытий (трава, грунт, асфальтовая дорога, плотная посадка деревьев) и видов застройки.

4. Установлено, что наиболее ярко эффект городского теплового острова выражен на участках со значительным количеством грунтовых поверхностей, отсутствием растительности (деревьев, кустарников, травы), большой площадью асфальтовых покрытий и большой площадью застройки. Здесь климатопы имеют низкий класс. К высокому классу климатопов принадлежат территории со значительным количеством деревьев на территории, отсутствием открытых грунтовых поверхностей и наличием поверхностей с кустарниками и травой. К очень высокому классу климатопов относятся территории с плотной посадкой деревьев, кустарниками и травой, что в целом соответствует территориям лесопарков.

Таким образом, предлагаемое распределение климатопов по классам позволяет достаточно быстро и точно оценивать температурный режим урбанизированных территорий (по сравнению с существующими методами) и на основе этого принимать эффективные меры городского планирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Mirzaei P.A.* Recent challenges in modeling of urban heat island // *Sustainable Cities and Society*. 2015. No. 19. Pp. 200–206. DOI: 10.1016/j.scs.2015.04.001
2. *Parsaee M., Haghghat F., Mirzaei P.A., Joybari M.M.* Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans // *Environmental Technology & Innovation*. 2019. No. 14. P. 100341. DOI: 10.1016/j.eti.2019.100341
3. *Ле М.Т., Шукуров И.С., Нгуен Т.М.* Исследование интенсивности городского острова тепла на основе городской планировки // *Строительство: наука и образование*. 2019. Т. 9. Вып. 3. С. 1–22. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.3.2
4. *Korniyenko S.V., Dikareva E.A.* Generation, development and mitigation of the urban heat island : a review // *AlfaBuild*. 2021. No. 65. DOI: 10.34910/ALF.16.5
5. *Сокольская О.Н., Кайшева А.И.* Влияние объемно-планировочной структуры застройки на формирование теплового комфорта атмосферной среды города Краснодар // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2023. № 2 (42). С. 37–46. DOI: 10.21869/2311-1518-2023-42-2-37-46. EDN JALULF.
6. *Ле М.Т., Гельманова М.О., Шукуров И.С., Слесарев М.Ю., Нгуен В.М.* Исследование влияния озеленения Ханоя на эффект городского острова тепла // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2021. № 1 (33). С. 35–50. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-33-1-35-50
7. *Бакаева Н.В., Черняева И.В.* Алгоритм оценки градостроительной деятельности на основе принципов биосферной совместимости // *Градостроительство и архитектура*. 2019. Т. 9. № 2 (35). С. 5–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.02.1. EDN TAIUHV.
8. *Сокольская О.Н., Калинина К.И.* Влияние объемно-планировочной структуры застройки города Майкоп на формирование тепловых аномалий в жаркий период года // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2023. № 4 (44). С. 21–29. DOI: 10.21869/2311-1518-2023-44-43-21-29. EDN RJZNUD.
9. *Гиясов А.И., Баротов Ю.Г.* Тепловое состояние человека в застройке городов с жарким условием климата // *Политехнический Вестник. Серия Инженерные исследования*. 2018. № 4 (44). С. 151–162. EDN ZCKLYT.
10. *Stewart I.D., Oke T.R.* Local climate zones for urban temperature studies // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2012. No. 12 (93). Pp. 1879–1900. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1
11. *Zhao C., Jensen J., Weng Q., Currit N.* Use of Local Climate Zones to investigate surface urban heat islands in Texas // *GIScience & Remote Sensing*. 2020. No. 8 (57). Pp. 1083–1101. DOI: 10.1080/15481603.2020.1843869

12. Bechtel B., Demuzere M., Mills G., Zhan W., Sismanidis P., Small Ch. SUHI analysis using Local Climate Zones : a comparison of 50 cities // *Urban Climate*. 2019. No. 28. P. 100451. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.01.005
13. Wang R., Wang R., Ren Ch., Xu Yo., Lau K., Shi Yu. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods : a case study of Hong Kong // *Urban Climate*. 2018. No. 24. Pp. 567–576. DOI: 10.1016/j.uclim.2017.10.001
14. Reba M., Seto K.C. A systematic review and assessment of algorithms to detect, characterize, and monitor urban land change // *Remote Sensing of Environment*. 2020. No. 242. P. 111739. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111739
15. Johnson B.A., Jozdani S.E. Local Climate Zone (LCZ) map accuracy assessments should account for land cover physical characteristics that affect the local thermal environment // *Remote Sensing*. 2019. No. 20 (11). P. 2420. DOI: 10.3390/rs11202420
16. Korniyenko S.V., Dikareva E.A. Optical remote sensing for urban heat islands identification // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2022. No. 6 (104). P. 10404. DOI: 10.4123/CUBS.104.4
17. Pacifici M., Rama F., Castro Marins K.R. Analysis of temperature variability within outdoor urban spaces at multiple scales // *Urban Climate*. 2019. No. 27. Pp. 90–104. DOI: 10.1016/j.uclim.2018.11.003
18. Hove L.W.A., Jacobs C., Heusinkveld B., Elbers J.A. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration // *Building and Environment*. 2015. No. 83. Pp. 91–103. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.08.029
19. Sangiorgio V., Fiorito F., Santamouris M. Development of a holistic urban heat island evaluation methodology // *Scientific Reports*. 2020. No. 1 (10). P. 17913. DOI: 10.1038/s41598-020-75018-4
20. Корниенко С.В. Климатоп как климатический маркер для урбанизированных территорий // *Социология города*. 2023. № 1. С. 100–112. DOI: 10.35211/19943520_2023_1_100

Об авторах: **Сергей Валерьевич Корниенко** — доктор технических наук, заведующий кафедрой архитектуры зданий и сооружений; **Волгоградский государственный технический университет (ВГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра градостроительного права; **Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (ЦНИИП Минстроя России)**; 119331, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 29; e-mail: skorn73@mail.ru;

Екатерина Александровна Дикарева — старший преподаватель кафедры архитектуры зданий и сооружений; **Волгоградский государственный технический университет (ВГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; e-mail: ea.dikareva@gmail.com.

REFERENCES

1. Mirzaei P.A. Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable Cities and Society*. 2015; 19:200-206. DOI: 10.1016/j.scs.2015.04.001
2. Parsae M., Haghightat F., Mirzaei P.A., Joybari M.M. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental Technology & Innovation*. 2019; 14:100341. DOI: 10.1016/j.eti.2019.100341
3. Le M.T., Shukurov I.S., Nguyen T.M. Study of the intensity of the urban heat island based on urban planning. *Construction: science and education*. 2019; 9(3):1-22. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.3.2 (rus.).
4. Kornienko S.V., Dikareva E.A. Generation, Development and Mitigation of the Urban Heat Island : a Review. *AlfaBuild*. 2021; 65. DOI: 10.34910/ALF.16.5 (rus.).
5. Sokolskaya O.N., Kaisheva A.I. The influence of the space-planning structure of buildings on the formation of thermal comfort of the atmospheric environment of the city of Krasnodar. *Biospheric compatibility: people, region, technologies*. 2023; 2(42):37-46. DOI: 10.21869/2311-1518-2023-42-2-37-46. EDN JALULF. (rus.).
6. Le M.T., Gelmanova M.O., Shukurov I.S., Slesarev M.Yu., Nguyen V.M. Study of the influence of Hanoi’s landscaping on the urban heat island effect. *Biosphere compatibility: people, region, technologies*. 2021; 1(33):35-50. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-33-1-35-50 (rus.).
7. Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V. Algorithm for assessing urban planning activities based on the principles of biosphere compatibility. *Urban planning and architecture*. 2019; 9:(2(35):5-14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.02.1. EDN TAIUHV. (rus.).
8. Sokolskaya O.N., Kalinina K.I. The influence of the space-planning structure of the city of Maykop on the formation of thermal anomalies in the hot season. *Biosphere compatibility: people, region, technologies*. 2023; 4(44): 21-29. DOI: 10.21869/2311-1518-2023-44-43-21-29. EDN RJZNUD. (rus.).
9. Giyasov A.I., Barotov Yu.G. Thermal state of a person in the development of cities with hot climate conditions. *Polytechnic Bulletin. Series Engineering Research*. 2018; 4(44):151-162. EDN ZCKLYT. (rus.).

10. Stewart I.D., Oke T.R. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2012; 12(93):1879-1900. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1
11. Zhao C., Jensen J., Weng Q., Currit N. Use of Local Climate Zones to investigate surface urban heat islands in Texas. *GIScience & Remote Sensing*. 2020; 8(57):1083-1101. DOI: 10.1080/15481603.2020.1843869
12. Bechtel B., Demuzere M., Mills G., Zhan W., Sismanidis P., Small Ch. SUHI analysis using Local Climate Zones : a comparison of 50 cities. *Urban Climate*. 2019; (28):100451. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.01.005
13. Wang R., Wang R., Ren Ch., Xu Yo., Lau K., Shi Yu. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods : a case study of Hong Kong. *Urban Climate*. 2018;(24):567-576. DOI: 10.1016/j.uclim.2017.10.001
14. Reba M., Seto K.C. A systematic review and assessment of algorithms to detect, characterize, and monitor urban land change. *Remote Sensing of Environment*. 2020; (242):111739. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111739
15. Johnson B.A., Scheyvens H., Shivakoti B.R. An ensemble pansharpening approach for finer-scale mapping of sugarcane with Landsat 8 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014; 33:218-225. DOI: 10.3390/rs11202420
16. Kornienko S.V., Dikareva E.A. Optical Remote Sensing for Urban Heat Islands Identification. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2022; 6(104):10404. DOI: 10.4123/CUBS.104.4
17. Pacifici M., Rama F., Castro Marins K.R. Analysis of temperature variability within outdoor urban spaces at multiple scales. *Urban Climate*. 2019; 27:90-104. DOI: 10.1016/j.uclim.2018.11.003
18. Hove L.W. A., Jacobs C., Heusinkveld B., Elbers J.A. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. *Building and Environment*. 2015; 83:91-103. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.08.029
19. Sangiorgio V., Fiorito F., Santamouris M. Development of a holistic urban heat island evaluation methodology. *Scientific Reports*. 2020; 1(10):17913. DOI: 10.1038/s41598-020-75018-4
20. Kornienko S.V. Climate as a climatic marker for urbanized areas. *Urban Sociology*. 2023; 1:100-112. DOI: 10.35211/19943520_2023_1_100

About the authors: **Sergey V. Korniyenko** — Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Architecture of Buildings and Structures; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; Leading Researcher, Research Center for Urban Planning Law; **Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (TsNIIP Ministry of Construction of Russia)**; 29 Vernadsky Ave., Building 29, Moscow, 119331, Russian Federation; e-mail: skorn73@mail.ru;

Ekaterina A. Dikareva — Senior Lecturer of the Department of Architecture of Buildings and Structures; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; e-mail: ea.dikareva@gmail.com.