

# ЭКОЛОГИЯ ГОРОДА

УДК 551.588.7

Научная статья

## Сергей Валерьевич Корниенко✉

д-р техн. наук, советник РААСН, зав. кафедрой архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ).  
Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1;  
ORCID: 0000-0002-5156-7352; e-mail: skorn73@mail.ru

## КЛИМАТОП КАК КЛИМАТИЧЕСКИЙ МАРКЕР УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью внедрения в практику передовых градостроительных решений для создания комфортной и безопасной городской среды. Целью работы является исследование климатопов современного мегаполиса. Показано, что эффективным методом неразрушающего контроля является «тепловое прослушивание» городов на основе оптического дистанционного зондирования поверхности Земли. Этот метод позволяет получить очень наглядные общие и детальные тепловые изображения в высоком разрешении, которые могут быть использованы для идентификации тепловых островов и оценки теплотехнического качества городской среды. В качестве теплового маркера предложен показатель относительной температуры, удобный для оценки климатопов урбанизированных территорий. Научно обоснованы и исследованы климатопы современного мегаполиса: в границах территориальных зон и всего города. Как показывают результаты исследования, большинство климатопов имеет умеренную выраженность городского теплового острова; теплотехническое качество городской среды умеренное. Расположение города у реки создает прибрежные бризовые зоны, что повышает комфортность среды за счет «островков холода». Полученные результаты могут быть использованы при разработке конкретных предложений по внедрению в практику передовых градостроительных решений для создания комфортной и безопасной городской среды.

**Ключевые слова:** город, урбанизация, климат, климатоп, городской тепловой остров, городское планирование, городская среда.

**Для цитирования:** Корниенко С. В. Климатоп как климатический маркер урбанизированных территорий // Социология города. 2023. № 1. С. 100—112. DOI: 10.35211/19943520\_2023\_1\_100

### Введение

Численность населения Земли неуклонно растет. Вследствие миграции жителей из сельских населенных пунктов в города происходит увеличение площади урбанизированных территорий (Kalamees et al., 2012). Сегодня бо-

лее половины жителей планеты живет в городах. Ожидается, что к середине XXI в. доля городского населения достигнет 70 % (Tian et al., 2021) при существенной урбанизации в странах Азии и Африки (Estoque et al., 2017; Hassan et al., 2021; Mathew et al., 2018). Рост численности городского населения увеличивает спрос на предметы быта, дорожную инфраструктуру, строительство зданий и сооружений (Santamouris, 2014; Vatin, Korniyenko, 2022), что приводит к изменению почвенно-растительного слоя (Bokaie et al., 2016; Qin et al., 2022).

Рост населения и урбанизация вызывают значительные изменения в городской тепловой среде (Renard et al., 2019). Строительство высотных зданий, уплотнение застройки, устройство дорожных покрытий могут значительно изменить температуру мегаполиса. По сравнению с природным ландшафтом здания, расположенные в густонаселенных городских районах, поглощают большее количество солнечного излучения. Уплотнение городской застройки блокирует процесс лучистого и конвективного теплообмена с окружающей средой (Korniyenko, 2022). Большое количество теплоты, аккумулированной в каменных стенах зданий, существенно влияет на баланс тепловой энергии, а выбросы токсичных газов загрязняют воздух, воду, почву (Xiong et al., 2012).

Повышение температуры поверхностей в мегаполисе по сравнению с прилегающими озелененными территориями приводит к формированию городского теплового острова (Oke, 2013). Город как бы накрыт «тепловым куполом». Городской тепловой остров напрямую влияет на выбросы парниковых газов, уровень потребления энергии, здоровье людей (Wang et al., 2016). В докладе Межправительственной группы по проблемам изменения климата особо отмечается, что воздействие высоких температур на человека летом приводит к нарушению сна и усиливает сердечно-сосудистые заболевания, а тепловые удары могут привести к смертельному исходу (Mora et al., 2017). Городской тепловой остров является фактором, снижающим устойчивое развитие города, и усиливает эффект глобального потепления (Halder et al., 2021).

Урбанизация ставит перед градостроителями сложную задачу повышения комфортности и безопасности городской среды (Santamouris, 2020; Антюфеев, Корниенко, 2022). Одним из важных аспектов решения этой проблемы является обеспечение оптимальных параметров микроклимата (Akbari et al., 2015). Микроклимат — изменение физических характеристик среды под влиянием подстилающей (деятельной) поверхности. На микроклимат влияют различные факторы: рельеф местности, характер растительности, вид застройки, тип подстилающей поверхности и т. д. Различные сочетания этих факторов приводят к формированию разных типов микроклимата, что существенно усложняет анализ теплового режима урбанизированных территорий.

В климатологии относительно новым научным направлением является изучение городских климатических зон — климатопоп. Климатопп позволяет эффективно оценить микроклимат города, отдельных городских территорий, типов застроек. Однако климатопы урбанизированных территорий пока еще недостаточно хорошо изучены. Практически отсутствуют данные, необходимые для оценки влияния объектов градостроительной деятельности на тепловой режим и теплотехническое качество города. Отсутствует количественная оценка этого влияния на окружающую среду. Это затрудняет поиск эффективных стратегий улучшения микроклимата урбанизированных территорий.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью внедрения в практику передовых градостроительных решений для создания комфортной и безопасной городской среды.

**Целью работы** является исследование климатопов современного мегаполиса: в границах территориальных зон и всего города.

#### **Понятие «климатоп»**

Изначально климатоп определен академиком В. Н. Сукачевым (1964) как воздушная часть биогеоценоза, отличающаяся от окружающей атмосферы газовым составом, воздушным режимом, насыщенностью биолинами, солнечной радиацией и освещенностью, наличием люминесценции растений и некоторых животных, особым тепловлажностным режимом.

Из этого определения следует, что климатоп задает в долговременном масштабе основные физические характеристики существования животных и растений, определяя круг организмов, которые могут существовать в данной экосистеме.

Применительно к решению архитектурных и градостроительных задач понятие «климатоп» успешно использовал В. К. Лицкевич для учета природно-климатических условий местности. Он разработал «климатическую типологию жилища», что позволяет получить максимальный микроклиматический эффект и улучшение архитектуры жилища путем применения архитектурных форм, обоснованных различными климатическими условиями (цит. по: Лицкевич В.К. Жилище и климат. М.: Стройиздат, 1984. 288 с.).

Б. С. Титковым выполнен анализ мирового опыта понятия «климатоп» (Титков, 2012). Микроклимат рассмотрен в основном с точки зрения радиационного теплового режима и аэрации территорий. Сделан вывод о том, что исследования климатопов могут оказать значительную пользу в понимании и улучшении микроклимата городов.

В немецких нормах VDI 3787 Blatt 1–2014 «Environmental meteorology — Climate and air pollution maps for cities and regions» определены следующие климатопы: город в целом, центр города, зеленые зоны, свободные пригородные территории, водоемы и др.

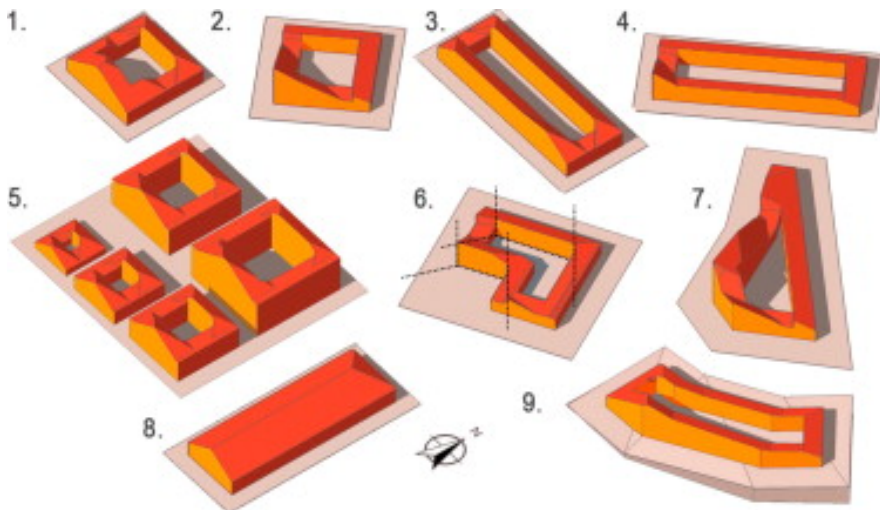
Исследованием климатопов успешно занимались авторы (Pogačar, Casanueva, Kozjek, 2018; Koopmans et al., 2018; Koopmans et al., 2020).

Каждый климатоп имеет масштаб. Так, для городской агломерации, представляющей собой сложную многокомпонентную динамически развивающуюся систему городов с интенсивными производственными, транспортными и культурными связями, анализ метеорологических условий может рассматриваться на значительной по площади территории, выделенной общностью климатических характеристик, т. е. на макроуровне. Город-климатоп предполагает выявление климатических особенностей на уровне мезоклимата. Этот климатоп свойственен городу или крупному населенному пункту как единому целому. Климатоп территориальной зоны (жилой, общественно-деловой, производственной и т. д.) характеризуется микроклиматом в границах этой зоны. Различные планировочные образования в границах зоны могут иметь свои климатопы.

К наиболее важным, влияющим на климат в любых пространственно-временных масштабах, принято относить такие факторы, как: радиационный

режим территории, свойственные ей особенности циркуляции атмосферы, характеристики подстилающей поверхности. В этом случае исследование климатопов можно свести к изучению тепловых характеристик среды — термотопов.

В качестве примера на рис. 1 представлены различные типы формирования биоклиматической застройки с помощью жилых солнечных блоков RSB (Vartholomaios, 2015).



**Рис. 1.** Различные типы биоклиматической застройки с помощью жилых солнечных блоков RSB (Vartholomaios, 2015)

Здание имеет различную форму, высоту и ориентацию по сторонам горизонта. Компактная теплозащитная оболочка здания получена на основе имитационного моделирования видимого движения Солнца по небосводу. По сравнению с традиционной застройкой жилой солнечный блок имеет высокий потенциал пассивного использования солнечной энергии в различных климатических условиях, обеспечивая необходимую продолжительность инсоляции зданий в зимний период и смягчая «тепловые островки» на территории застройки в летний период.

Эффективно применение климатопов для составления климатических карт городов (Koortmans et al., 2020). По климатическим картам можно определить аномальные тепловые зоны и разработать предложения по улучшению микроклимата застройки. Внедрение подобных мер на обширной территории сможет улучшить климат в масштабах всего государства.

### Тепловое «прослушивание» городов

Методы измерения и мониторинга температуры окружающей среды на основе метеорологических наблюдений не всегда могут обеспечить быстрый поиск температурных аномалий — городских тепловых островов.

Современным методом неразрушающего контроля является тепловое «прослушивание» городов (рис. 2) на основе оптического дистанционного зондирования поверхности Земли (Avdan, Jovanovska, 2016; Tepanosyan et al., 2021; Korniyenko, Dikareva, 2022).

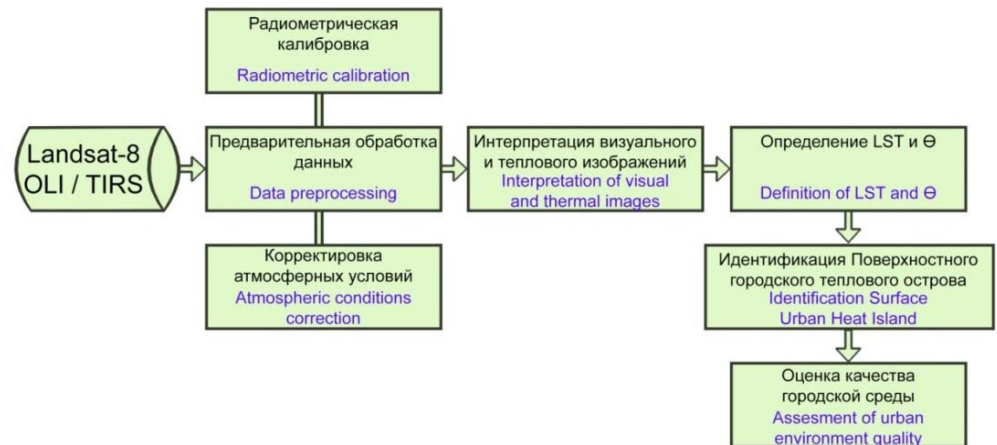


Рис. 2. Тепловое «прослушивание» города (Korniyenko, Dikareva, 2022)

Для получения тепловых изображений применяют различные искусственные спутники Земли: спектрорадиометр с умеренным разрешением MODIS, Landsat (5—8), радиометр с очень высоким разрешением AVHRR, усовершенствованный космический радиометр теплового излучения и отражения ASTER. Пространственная разрешающая способность этих спутников колеблется от 30 м до 1 км, временная разрешающая способность — от суток до месяца. Спутники MODIS и AVHRR имеют низкую пространственную и высокую временную разрешающую способность, поэтому они эффективны для исследования больших территорий в динамическом режиме; для оценки городских тепловых островов они почти не применяются. Тепловая полоса Landsat имеет хорошее пространственное разрешение в интервале от 30 до 120 м и временное разрешение 16 суток, поэтому эти спутники широко применяют для изучения городских тепловых островов (Willuweit, et al., 2016).

Тепловое «прослушивание» города позволяет получить очень наглядные общие и детальные тепловые изображения в высоком разрешении (рис. 3).

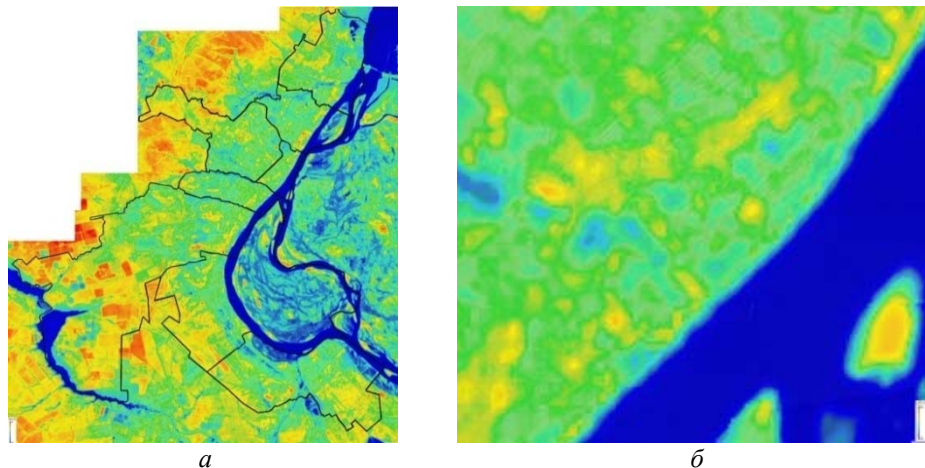


Рис. 3. Общие (а) и детальные (б) тепловые изображения территории г. Волгограда (спутниковая съемка Landsat от 05.08.2018)

Анализ результатов теплового «прослушивания» показывает, что в городе существует ряд тепловых центров, которые связаны между собой и эволюционируют во времени. Тепловые изображения дают ценную информацию, позволяющую определить возможную «историю урбанизации»: появление зон с высокой концентрацией активности и одновременного спада экономической активности в других областях и оттока из них населения. Они могут быть использованы для идентификации тепловых островов и оценки теплотехнического качества городской среды.

При необходимости результаты оптического дистанционного зондирования земной поверхности могут быть дополнены данными имитационного моделирования микроклимата городской среды с помощью программно-вычислительного комплекса ENVI-met. Этот комплекс является эффективным инструментом, позволяющим прогнозировать формирование городского теплового острова и определять стратегии его смягчения (Ле Минь Туан и др., 2020; Корниенко, Дикарева, 2023).

### Тепловая характеристика климатопов

Удобным для оценки теплового режима урбанизированных территорий является показатель относительной температуры  $\Theta$ . Этот показатель определяют по формуле

$$\Theta = \frac{T_s - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}.$$

Здесь  $T_s$  — средняя температура рассматриваемого участка поверхности;  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  — соответственно минимальное и максимальное значения температуры поверхности (в границах всего города). Значения  $T_s$ ,  $T_{\min}$  и  $T_{\max}$ , входящие в формулу, можно определить по тепловым изображениям.

Участки поверхности, на которых  $0,6 < \Theta \leq 1$ , предложено относить к тепловым островам (Xiong et al., 2012). Классификация тепловых зон (Корниенко, 2022) позволяет более точно установить градации городского теплового острова, необходимые для оценки теплотехнического качества городской среды.

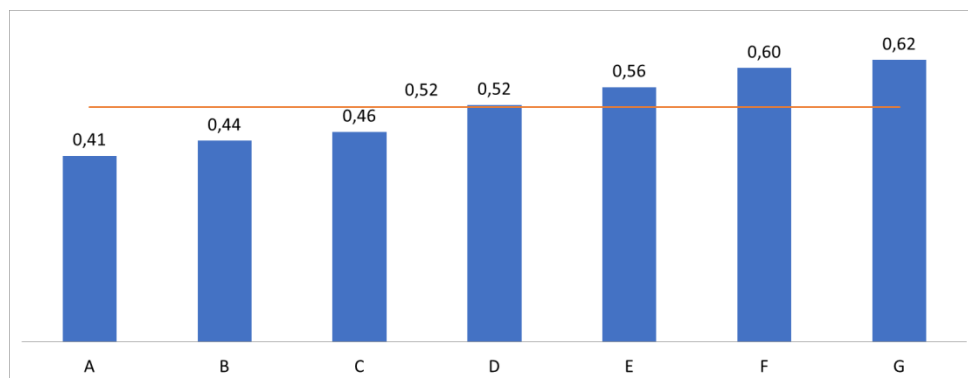
### Классификация тепловых зон

Тепловая зона	Выраженность городского теплового острова	Теплотехническое качество городской среды
$0 \leq \Theta < 0,2$	Очень слабая	Очень высокое
$0,2 \leq \Theta < 0,4$	Слабая	Высокое
$0,4 \leq \Theta < 0,6$	Умеренная	Умеренное
$0,6 \leq \Theta < 0,8$	Сильная	Низкое
$0,8 \leq \Theta \leq 1$	Очень сильная	Очень низкое

Используя данные оптического дистанционного зондирования в летний период, вычислим показатель относительной температуры  $\Theta$  для климатопов в границах территориальных зон г. Волгограда (рис. 4).

Проанализируем полученные значения  $\Theta$  климатопов. Минимальное значение  $\Theta_A = 0,41$  имеет климатоп «зеленая зона». Это объясняется тем, что

внутригородские зеленые насаждения смягчают дневные температуры воздуха. Температурный режим в этой зоне наиболее благоприятен для человека. Зеленый массив создает широкие возможности пассивного охлаждения зданий и помещений в летний период года, что снижает энергозатраты на кондиционирование воздуха. Городские парки повышают комфортность среды. Эффективным градостроительным решением является город-сад (Там же).



**Рис. 4.** Значения показателя относительной температуры  $\Theta$  для климатопов территориальных зон г. Волгограда: А — зеленая зона; В — жилая зона малоэтажной застройки; С — жилая зона средне- и многоэтажной застройки; D — общественно-деловая зона; E — производственная зона; F — зона инженерной инфраструктуры; G — зона сельскохозяйственного использования (линией показано значение  $\Theta$  для климатоп «город в целом»)

В климатопе «жилая зона малоэтажной застройки» и «жилая зона средне- и многоэтажной застройки» тепловой режим существенно зависит от плотности застройки, высоты и способов размещения зданий. Показатель относительной температуры меняется от сравнительно прохладных территорий малоэтажной застройки ( $\Theta_B = 0,44$ ) до более нагретых участков средне- и многоэтажной застройки ( $\Theta_C = 0,46$ ). Повышению температуры в значительной степени способствуют «черные» поверхности дорог и плоских крыш зданий, интенсивно поглощающие прямую солнечную радиацию.

Дальнейшее повышение температуры можно отметить в климатопе «общественно-деловая зона» ( $\Theta_D = 0,52$ ). В центре города тепловой режим ухудшается, что связано с повышением плотности застройки. За счет концентрации тепловых потоков на отдельных участках местности здесь появляются островки теплоты. Снижение аэрации ухудшает микроклимат городской среды.

Повышение температуры в климатопе «производственная зона» ( $\Theta_E = 0,56$ ) и «зона инженерной инфраструктуры» ( $\Theta_F = 0,60$ ) в значительной степени связано с выбросами предприятий и воздействием объектов инженерной инфраструктуры на окружающую среду. При интенсивном нагревании днем ночью образуется тепловой остров в связи с большой площадью асфальтированных дорог, хотя малоинерционные крыши промышленных зданий заметно остывают. Малоэтажная производственная застройка вызывает нагрев, особенно в зоне пешеходов. Температура отдельных участков производственных зон может значительно повышаться. Перегрев создает риски тепловых стрессов.

Максимальное значение  $\Theta_G = 0,62$  имеет климатоп «зона сельскохозяйственного использования». Повышение температуры в этой зоне связано, главным образом, с интенсивным воздействием прямой солнечной радиации на открытые грунтовые поверхности и растительный слой.

Используя ранее предложенную классификацию тепловых зон, можно отметить, что большинство климатопов имеют умеренную выраженность городского теплового острова. Теплотехническое качество городской среды умеренное. В климатопе «зона сельскохозяйственного использования» городской тепловой остров сильно выражен, а теплотехническое качество городской среды низкое. Это объясняется повышенным тепловым воздействием в этой зоне.

Интересно отметить, что согласно приведенной выше классификации климатоп «город в целом» имеет умеренную выраженность теплового острова ( $\Theta = 0,52$ ), теплотехническое качество городской среды умеренное. Расположение города у реки создает прибрежные бризовые зоны, что повышает комфортность среды за счет островков холода.

### **Заключение**

По итогам проведенного исследования сформулированы следующие выводы:

1. Показано, что эффективным методом неразрушающего контроля является тепловое «прослушивание» городов на основе оптического дистанционного зондирования поверхности Земли. Этот метод позволяет получить очень наглядные общие и детальные тепловые изображения в высоком разрешении, которые могут быть использованы для идентификации тепловых островов и оценки теплотехнического качества городской среды.

2. В качестве теплового маркера предложен показатель относительной температуры, удобный для оценки климатопов урбанизированных территорий.

3. Научно обоснованы и исследованы климатопы современного мегаполиса (в границах территориальных зон и всего города). Минимальное значение показателя относительной температуры характерно для климатопы «зеленая зона». Температурный режим в этой зоне наиболее благоприятен. В климатопы «жилая зона малоэтажной застройки» и «жилая зона средне- и многоэтажной застройки» тепловой режим существенно зависит от плотности застройки, высоты и способов размещения зданий. В климатопе «общественно-деловая зона» тепловой режим ухудшается, что связано с повышением плотности застройки. Повышение температуры в климатопы «производственная зона» и «зона инженерной инфраструктуры» в значительной степени связано с выбросами предприятий и воздействием объектов инженерной инфраструктуры на окружающую среду. Максимальное значение показателя относительной температуры имеет климатоп «зона сельскохозяйственного использования», что связано, главным образом, с интенсивным воздействием прямой солнечной радиации на открытые грунтовые поверхности и растительный слой.

4. Большинство климатопов имеет умеренную выраженность городского теплового острова, теплотехническое качество городской среды умеренное. Расположение города у реки создает прибрежные бризовые зоны, что повышает комфортность среды за счет островков холода.



5. Полученные результаты могут быть использованы при разработке конкретных предложений по внедрению в практику передовых градостроительных решений для создания комфортной и безопасной городской среды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

*Антюфеев А. В., Корниенко С. В.* Инновационный энергоэффективный квартал «Волжские дворики»: к 30-летию юбилею РААСН // *Academia. Архитектура и строительство*. 2022. № 4. С. 115—122.

*Корниенко С. В.* Жилище в умном городе. Взгляд инженера-архитектора // *Социология города*. 2020. № 1. С. 5—15.

*Корниенко С. В.* Теплотехническое качество города // *Энергосбережение*. 2022. № 7. С. 44—49.

*Корниенко С. В., Дикарева Е. А.* Анализ городского теплового острова средствами имитационного моделирования (на примере квартала) // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2023. № 1(41). С. 84—95.

*Ле Минь Туан, Шукуров И. С., Гельманова М. О., Слесарев М. Ю.* Расчет интенсивности теплового острова в мегаполисах с помощью моделирования в программе ENVI-met // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1262—1273. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1262-1273.

*Тутков Б. С.* Мировой опыт использования понятия климатоп // *Градостроительство*. 2012. № 5(21). С. 89—96.

*Akbari H., Cartalis C., Kolokotsa D., Muscio A., Pisello A. L., Rossi F., Santamouris M., Synnef A., Wong N. H., Zinzi M.* Local climate change and urban heat island mitigation techniques — The State of the Art // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2015. Vol. 22. Iss. 1. Pp. 1—16. DOI: 10.3846/13923730.2015.1111934.

*Avdan U., Jovanovska G.* Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data // *Journal of Sensors*. 2016. DOI: 10.1155/2016/1480307.

*Bokaie M., Zarkesh M. K., Arasteh P. D., Hosseini A.* Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use — Land Cover in Tehran // *Sustainable Cities and Society*. 2016. Vol. 23. Pp. 94—104. DOI: 10.1016/j.scs.2016.03.009.

*Estoque R. C., Murayama Y., Myint S. W.* Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia // *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 577. Pp. 349—359. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.195.

*Halder B., Bandyopadhyay J., Banik P.* Monitoring the effect of urban development on urban heat island based on remote sensing and geo-spatial approach in Kolkata and adjacent areas, India // *Sustainable Cities and Society*. 2021. Vol. 74. Pp. 103186. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103186.

*Hassan T., Zhang J., Prodhan F. A., Pangali Sharma T. P., Bashir B.* Surface urban heat islands dynamics in response to land use and vegetation across South Asia (2000–2019) // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13 (16). Pp. 1—24. DOI: 10.3390/rs13163177.

*Kalamees T., Jylhä K., Tietäväinen H., Jokisalo J., Ilomets S., Hyvönen R., Saku S.* Development of weighting factors for climate variables for selecting the energy reference year according to the en ISO 15927-4 Standard // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 47. Pp. 53—60. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.031.

*Koopmans S., Heusinkveld B. G., Steeneveld G. J.* A standardized Physical Equivalent Temperature urban heat map at 1-m spatial resolution to facilitate climate stress tests in the Netherlands // *Building and Environment*. 2020. Vol. 181. Pp. 1069—1084.

*Koopmans S., Ronda R., Steeneveld G. J., Holtslag A. A. M., Klein Tank A. M. G.* Quantifying the effect of different urban planning strategies on heat stress for current and

future climates in the agglomeration of the Hague (The Netherlands) // *Atmosphere*. 2018. Vol. 9. Iss. 353.

*Korniyenko S. V.* The influence of the sky radiative temperature on the building energy performance // *Magazine of Civil Engineering*. 2022. Vol. 114. Iss. 11412. DOI: 10.34910/MCE.114.12.

*Korniyenko S., Dikareva E.* Optical remote sensing for urban heat islands identification // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2022. Vol. 104. Art. No. 10404. DOI: 10.4123/CUBS.104.04.

*Mathew A., Khandelwal S., Kaul N.* Analysis of diurnal surface temperature variations for the assessment of surface urban heat island effect over Indian cities // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 159. Pp. 271—295. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.10.062.

*Mora C., Dousset B., Caldwell I. R., Powell F. E., Geronimo R. C., Bielecki C. R., Counsell C. W. W., Dietrich B. S., Johnston E. T., Louis L. V., Lucas M. P., Mckenzie M. M., Shea A. G., Tseng H., Giambelluca T. W., Leon L. R., Hawkins E., Trauernicht C.* Global risk of deadly heat // *Nature Climate Change*. 2017. Vol. 7. Iss. 7. Pp. 501—506. DOI: 10.1038/nclimate3322.

*Oke T. R.* Urban climates and global environmental change // *Applied Climatology: Principles and Practice*. Taylor and Francis. 2013. Pp. 273—287.

*Pogačar T., Casanueva A., Kozjek K.* The effect of hot days on occupational heat stress in the manufacturing industry: implications for workers' well-being and productivity // *Int. J. Biometeorol.* 2018. Vol. 62(7). Pp. 1251—1264.

*Qin L., Yan C., Yu L., Chai M., Wang B., Hayat M., Shi Z., Gao H., Jiang X., Xiong B., Mao P., Qiu G. Y.* High-resolution spatio-temporal characteristics of urban evapotranspiration measured by unmanned aerial vehicle and infrared remote sensing // *Building and Environment*. 2022. Vol. 222. Pp. 109389. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109389.

*Renard F., Alonso L., Fitts Y., Hadjiosif A., Comby J.* Evaluation of the effect of urban redevelopment on surface urban heat islands // *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11(3). Pp. 1—31. DOI: 10.3390/rs11030299.

*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. Vol. 103. Pp. 682—703. DOI: 10.1016/j.solener.2012.07.003.

*Santamouris M.* Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change // *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 207. Pp. 109482. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109482.

*Tepanosyan G., Muradyan V., Hovsepian A., Pinigin G., Medvedev A., Asmaryan S.* Studying spatial-temporal changes and relationship of land cover and surface Urban Heat Island derived through remote sensing in Yerevan, Armenia // *Building and Environment*. 2021. Vol. 187. Pp. 107390. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107390.

*Tian P., Li J., Cao L., Pu R., Wang Z., Zhang H., Chen H., Gong H.* Assessing spatio-temporal characteristics of urban heat islands from the perspective of an urban expansion and green infrastructure // *Sustainable Cities and Society*. 2021. Vol. 74. Pp. 103208. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103208.

*Vartholomaios A.* The residential solar block envelope: A method for enabling the development of compact urban blocks with high passive solar potential // *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 99. Pp. 303—312.

*Vatin N., Korniyenko S. V.* Energy performance of buildings made of textile-reinforced concrete (TRC) sandwich panels // *Magazine of Civil Engineering*. 2022. Vol. 113. Iss. 11303. DOI: 10.34910/MCE.113.3.

*Wang Y., Berardi U., Akbari H.* Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 114. Pp. 2—19. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.046.

Willuweit L., O'Sullivan J. J., Shahumyan H. Simulating the effects of climate change, economic and urban planning scenarios on urban runoff patterns of a metropolitan region // *Urban Water Journal*. 2016. Vol. 13. Iss. 8. Pp. 803—818. DOI: 10.1080/1573062X.2015.1036086.

Xiong Y., Huang S., Chen F., Ye H., Wang C., Zhu C. The impacts of rapid urbanization on the thermal environment: A remote sensing study of Guangzhou, South China // *Remote Sensing*. 2012. Vol. 4. Iss. 7. Pp. 2033—2056. DOI: 10.3390/rs4072033.

Research Article

**Sergey V. Korniyenko**✉

Doctor of Engineering Sciences, Head of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia;  
e-mail: skorn73@mail.ru; ORCID: 0000-0002-5156-7352

**CLIMATOP AS A CLIMATE MARKER FOR URBANIZED AREAS**

**Abstract.** The relevance of the research topic is due to the need to introduce advanced urban planning solutions into practice to create a comfortable and safe urban environment. The purpose of the work is to study the climatopes of the modern metropolis. This study demonstrate that an effective method of non-destructive testing is “thermal listening” of cities based on optical remote sensing of the Earth’s surface. This method provides very clear general and detailed high-resolution thermal images that can be used to identify thermal islands and assess the thermal quality of the urban environment. As a thermal marker, an indicator of relative temperature is proposed, convenient for assessing climatopes of urbanized territories. The climatopes of the modern metropolis are scientifically justified and investigated: within the boundaries of territorial zones and the entire city. The results of the study show that most climatopes have a moderate intensity of the urban heat island; the thermal quality of the urban environment is moderate. The location of the city near the river creates coastal breeze zones, which increases the comfort of the environment due to the “islands of cold”. The results obtained can be used in the development of specific proposals for the implementation of advanced urban planning solutions in practice to create a comfortable and safe urban environment.

**Keywords:** city, urbanization, climate, climatop, urban heat island, urban planning, urban environment.

**For citation:** Korniyenko S. V. (2023) Climatop as a climate marker for urbanized areas. *Sotsiologiya Goroda* [Urban Sociology], no. 1, pp. 100—112 (in Russian). DOI: 10.35211/19943520\_2023\_1\_100

**REFERENCES**

Akbari H., Cartalis C., Kolokotsa D., Muscio A., Pisello A. L., Rossi F., Santamouris M., Synnef A., Wong N. H., Zinzi M. (2015) Local climate change and urban heat island mitigation techniques — The State of the Art. *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 22, no. 1, pp. 1—16. DOI: 10.3846/13923730.2015.1111934.

Antyufeev A. V., Korniyenko S. V. (2022) Innovative energy-efficient quarter “Volga yards”: to the 30th anniversary of the RAASN. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], no. 4, pp. 115—122 (in Russian).

Avdan U., Jovanovska G. (2016) Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*. DOI: 10.1155/2016/1480307.

Bokaie M., Zarkesh M. K., Arasteh P. D., Hosseini A. (2016) Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use — Land Cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, vol. 23, pp. 94—104. DOI: 10.1016/j.scs.2016.03.009.

Estoque R. C., Murayama Y., Myint S. W. (2017) Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, vol. 577, pp. 349—359. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.195.

Halder B., Bandyopadhyay J., Banik P. (2021) Monitoring the effect of urban development on urban heat island based on remote sensing and geo-spatial approach in Kolkata and adjacent areas, India. *Sustainable Cities and Society*, vol. 74, pp. 103186. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103186.

Hassan T., Zhang J., Prodhan F. A., Pangali Sharma T.P., Bashir B. (2021) Surface urban heat islands dynamics in response to lulc and vegetation across South Asia (2000—2019). *Remote Sensing*, vol. 13, no. 16, pp. 1—24. DOI: 10.3390/rs13163177.

Kalamees T., Jylhä K., Tietäväinen H., Jokisalo J., Ilomets S., Hyvönen R., Saku S. (2012) Development of weighting factors for climate variables for selecting the energy reference year according to the en ISO 15927-4 Standard. *Energy and Buildings*, vol. 47, pp. 53—60. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.031.

Koopmans S., Heusinkveld B. G., Steeneveld G. J. (2020) A standardized Physical Equivalent Temperature urban heat map at 1-m spatial resolution to facilitate climate stress tests in the Netherlands. *Building and Environment*, vol. 181, pp. 1069—1084.

Koopmans S., Ronda R., Steeneveld G. J., Holtslag A. A. M., Klein Tank A. M. G. (2018) Quantifying the effect of different urban planning strategies on heat stress for current and future climates in the agglomeration of the Hague (The Netherlands). *Atmosphere*, vol. 9, no. 353.

Kornienko S. V. (2020) A dwelling in the smart city. A point of view of the architect specialized in civil engineering. *Sotsiologiya Goroda* [Urbab Sociology], no. 1, pp. 5—15 (in Russian).

Kornienko S. V. (2022) Heat engineering quality of the city. *ABOK*, no. 7, pp. 44—49 (in Russian).

Kornienko S. V., Dikareva E. A. (2023) Analysis of city heat island with microclimate simulation modeling tools *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii* [Biospheric compatibility: man, region, technology], no. 1, pp. 84—95 (in Russian).

Korniyenko S. V. (2022) The influence of the sky radiative temperature on the building energy performance. *Magazine of Civil Engineering*, vol. 114, no. 11412 (in Russian). DOI: 10.34910/MCE.114.12.

Korniyenko S., Dikareva E. (2022) Optical remote sensing for urban heat islands identification. *Construction of Unique Buildings and Structures*, no. 104, art. No. 10404. DOI: 10.4123/CUBS.104.04.

Le Minh Tuan, Shukurov I. S., Gelmanova M. O., Slesarev M. Yu. (2020) Using ENVI-met simulation to analyze heat island intensity in megalopolises. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture], no. 15, no. 9, pp. 1262—1273 (in Russian).

Mathew A., Khandelwal S., Kaul N. (2018) Analysis of diurnal surface temperature variations for the assessment of surface urban heat island effect over Indian cities. *Energy and Buildings*, vol. 159, pp. 271—295. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.10.062.

Mora C., Dousset B., Caldwell I. R., Powell F. E., Geronimo R. C., Bielecki C. R., Counsell C. W. W., Dietrich B. S., Johnston E. T., Louis L. V., Lucas M. P., Mckenzie M. M., Shea A. G., Tseng H., Giambelluca T. W., Leon L. R., Hawkins E., Trauernicht C. (2017) Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, vol. 7, no. 7, pp. 501—506. DOI: 10.1038/nclimate3322.

Oke T. R. (2013) Urban climates and global environmental change. *Applied Climatology: Principles and Practice*. Taylor and Francis, pp. 273—287.

Pogačar T., Casanueva A., Kozjek K. (2018) The effect of hot days on occupational heat stress in the manufacturing industry: implications for workers' well-being and productivity. *Int. J. Biometeorol.*, vol. 62, no. 7, pp. 1251—1264.

Qin L., Yan C., Yu L., Chai M., Wang B., Hayat M., Shi Z., Gao H., Jiang X., Xiong B., Mao P., Qiu G. Y. (2022) High-resolution spatio-temporal characteristics of urban evapotrans-

piration measured by unmanned aerial vehicle and infrared remote sensing // *Building and Environment*, vol. 222, p. 109389. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109389.

Renard F., Alonso L., Fitts Y., Hadjiosif A., Comby J. (2019) Evaluation of the effect of urban redevelopment on surface urban heat islands. *Remote Sensing*, vol. 11, no. 3, pp. 1—31. DOI: 10.3390/rs11030299.

Santamouris M. (2014) Cooling the cities — A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, vol. 103, pp. 682—703. DOI: 10.1016/j.solener.2012.07.003.

Santamouris M. (2020) Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, vol. 207, p. 109482. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109482.

Тепаносян Г., Мурадян В., Ховсепян А., Пинигин Г., Медведев А., Асмарян С. (2021) Studying spatial-temporal changes and relationship of land cover and surface Urban Heat Island derived through remote sensing in Yerevan, Armenia. *Building and Environment*, vol. 187, pp. 107390. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107390.

Tian P., Li J., Cao L., Pu R., Wang Z., Zhang H., Chen H., Gong H. (2021) Assessing spatiotemporal characteristics of urban heat islands from the perspective of an urban expansion and green infrastructure. *Sustainable Cities and Society*, vol. 74, p. 103208. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103208.

Titkov B. S. (2012) World experience in using the concept of climatop. *Gradostroitel'stvo* [Urban planning], no. 5 (21), pp. 89—96.

Vartholomaios A. (2015) The residential solar block envelope: A method for enabling the development of compact urban blocks with high passive solar potential. *Energy and Buildings*, vol. 99, pp. 303—312.

Vatin N., Korniyenko S. V. (2022) Energy performance of buildings made of textile-reinforced concrete (TRC) sandwich panels. *Magazine of Civil Engineering*, vol. 113, no. 11303. DOI: 10.34910/MCE.113.3.

Wang Y., Berardi U., Akbari H. (2016) Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings*, vol. 114, pp. 2—19. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.046.

Willuweit L., O'Sullivan J. J., Shahumyan H. (2016) Simulating the effects of climate change, economic and urban planning scenarios on urban runoff patterns of a metropolitan region. *Urban Water Journal*, vol. 13, no. 8, pp. 803—818. DOI: 10.1080/1573062X.2015.1036086.

Xiong Y., Huang S., Chen F., Ye H., Wang C., Zhu C. (2012) The impacts of rapid urbanization on the thermal environment: A remote sensing study of Guangzhou, South China. *Remote Sensing*, vol. 4, no. 7, pp. 2033—2056. DOI: 10.3390/rs4072033.

Поступила в редакцию 18.03.2023

Принята в печать 25.03.2023

Received 18.03.2023

Accepted for publication 25.03.2023