

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 3. С. 72–81.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 551.584.5

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.3.72-81

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ ТЕПЛОВОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ АДАПТИРОВАННОЙ ТЕОРИИ КЛИМАТОПОВ

Екатерина Александровна Дикарева, Сергей Валерьевич Корниенко

Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ); г. Волгоград, 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 (ГОТ). Исследование направлено на улучшение существующих систем оценки качества тепловой городской среды (ТГС) на основе адаптированной теории климатопов в летний период года для городов с умеренно-континентальным климатом, где ГОТ имеет наиболее сильные последствия для города и жителей, особенно в условиях глобального изменения климата.

Разработан эффективный инструментарий для моделирования и прогнозирования изменений городской среды с позиции оценки качества ТГС, что будет полезно при планировании новых городских территорий и реконструкции существующих.

Ключевые слова: город, городское планирование, морфология городской застройки, температурный режим, урбанизация, математическая модель, зеленая инфраструктура

Для цитирования: Дикарева Е.А., Корниенко С.В. Повышение качества городской тепловой среды на основе адаптированной теории климатопов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 3. С. 72–81. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.3.72-81

IMPROVING THE QUALITY OF THE URBAN THERMAL ENVIRONMENT BASED ON AN ADAPTED CLIMATOPE THEORY

Ekaterina A. Dikareva, Sergey V. Kornienko

Volgograd State Technical University (VolGTU); Volgograd, Russian Federation

With urbanization and population growth in megacities, the amount of natural surfaces decreases, the water balance of territories deteriorates, and air quality declines. This often leads to changing climatic conditions and the formation of urban heat islands (UHI). This study aims to improve existing systems for assessing the quality of the urban thermal environment (UTE) based on an adapted climatope theory during the summer period for cities with a temperate continental climate, where UHI has the most significant impacts on the city and its residents, especially under global climate change.

An effective toolkit for modeling and forecasting changes in the urban environment from the perspective of assessing the quality of UHI has been developed, which will be useful for planning new urban areas and renovating existing ones.

Keywords: city, urban planning, urban development morphology, temperature regime, urbanization, mathematical model, green infrastructure

For citation: Dikareva E.A., Kornienko S.V. Improving the quality of the urban thermal environment based on an adapted climatope theory. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2025; 3:72-81. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.3.72-81 (rus.).

Введение

На протяжении последних нескольких столетий население планеты растет очень стремительно: если в 1804 г. проживал 1 млрд жителей на планете, то уже к 2023 г. количество жителей планеты выросло до 8 млрд. Помимо общего роста населения планеты

происходит активный рост городского населения по отношению к сельскому, что приводит и к росту городов. К примеру, в 1800 г. в городах проживало 2 % жителей планеты, в 1950-м — 50, а к 2050 г. прогнозируется увеличение до 70 %. На 2024 г.

можно отметить, что соотношение между городским и сельским населением в некоторых странах уже превысило 70 %. Урбанизация приводит к образованию городских тепловых островов [1–5]. Городской тепловой остров (ГОТ, Urban Heat Island) — явление, которое описывается возникновением зон повышенной температуры как при сравнении территорий, прилегающих к городу, так и при рассмотрении в локальном масштабе внутри города (локальные климатические зоны, Local climate zone или климатопы). На основании исследований БРИКС разность температур в урбанизированных частях в мегаполисах уже превышает 20 °С. Как правило, именно в мегаполисах происходит формирование городских тепловых островов [6, 7].

ГОТ влияют на энергетическую систему города, экологию, а также качество жизни горожан. Формирование комфортной городской среды, особенно ее климатических характеристик, является актуальной проблемой для урбанизированных территорий как в России, так и в мире. Избыточная теплота в городской среде может иметь как положительный, так и отрицательный эффект, что зависит от микроклимата города, его климатической зоны, времени года. Для городов с относительно холодным климатом или с холодным сезоном тепловой остров может нести такие преимущества, как более низкие расходы на отопление домов, улучшенный комфорт на открытом воздухе, меньшую опасность дорожных погодных условий, таких как обледенение поверхности или туман, и более благоприятные условия для роста растений и среды обитания животных. С другой стороны, тепловые острова в относительно жарком климате или летнем сезоне могут усиливать дискомфорт и потенциально повышать угрозу теплового стресса и смертности, а также повышать стоимость кондиционирования воздуха и спрос на электроэнергию [8]. Актуальность проблемы возрастает в условиях глобального изменения климата.

Для разработки метода прогнозирования оценки качества городской среды в зарубежной и отечественной практике применяется теория климатопопов. Эта теория позволяет описать, каким образом морфология городской застройки может создавать различные климатические условия в пределах одного города, района или квартала. Впервые определение «климатопа» было дано академиком В.Н. Сукачевым в 1964 г. Профессор В.К. Лицкевич в 1984 г. для архитектурно-градостроительных задач применил данное понятие при разработке климатической топологии жилища, учитывая природно-климатические условия местности. В международных исследованиях аналогом понятия климатопа является определение «локальные климатические зоны» (ЛКЗ) [8]. В качестве ключевой темы в иссле-

дованиях городского климата концепция ЛКЗ была впервые введена в 2012 г. Стюартом и Оке для количественной оценки взаимосвязи между городской морфологией и феноменом городского теплового острова [9]. Большинство исследователей учитывают только общие характеристики для описания местных ландшафтов, однако необходимы точные количественные и качественные показатели. Национальные классификации земного покрова и землепользования часто включают категории как для городской, так и сельской среды. Например, Национальный набор данных о земном покрове США (NLCD) делит территорию Соединенных Штатов на 16 классов, 4 из которых считаются городскими [10]. В некоторых европейских странах система климатопопов традиционно использовалась для классификации городской местности и городского климата, в основном для целей планирования. Описание климатопопов вытекает из местных знаний о ветре, температуре, землепользовании, структуре зданий, рельефе поверхности и плотности населения. Эти данные интегрируются по всей городской территории, чтобы выявить особые климатические условия. Вилмерс (Wilmer) выделил [11] девять таких типов климатов для города Ганновер, Германия, на основе растительности, структуры поверхности и критериев землепользования. Шерер (Scherer) с научной группой выявили гораздо больше климатопопов в Базеле, Швейцария, на основе характеристик вентилиации и почвенно-растительного покрова [12].

В табл. 1 представлен сравнительный анализ существующих классификаций методов прогнозирования качества тепловой среды на основе территории климатопопов (по данным исследований I.D. Stewart [9, 13]). В процессе проведения сравнительного анализа определены ограничения существующих классификаций:

- не все классификации используют полный набор свойств климата для определения его классов;
- система, исключая сельские ландшафты, не совсем подходит для исследования теплового острова;
- теория климатопа хорошо адаптирована к большинству городских условий, однако наименования классов и их определения сильно различаются в зависимости от места и, следовательно, не могут предоставить средства для сравнения и универсального прогнозирования;
- многие концепции базируются на достаточно крупной планировочной единице (400–1000 м), что дает менее однородные данные по температуре поверхности, получаемые методом дистанционного зондирования Земли, а также не является доступным и удобным для большинства локальных архитектурных и градостроительных проектов.

Таблица 1. Сравнительный анализ

Наименование классификации/ автор (год)	Что исследуется	Что учитывает	Особенности
Чандлер (1965)	4 локальных типа морфологии городской застройки Лондона	Микроклимат, физиографию и форму застройки	Подход, на основе которого базируется классификация, ограничен в адаптации для других городов
Ауэр (1978)	Сельско-городская классификация (для города Сент-Луис, штат Миссури) на основе 12 метеорологических значимых видов землепользования	Основана на растительности и характеристиках застройки города	
Эллефсен (1991)	17 зон городского рельефа (UTZ) для 10 городов США. Первоначально — исследование кислотных дождей. Ключевая особенность — разделение типов зданий на «прикрепленные» и «отдельностоящие» формы	Морфологию городской застройки и строительные материалы	Первая классификация, учитывающая городскую морфологию и материалы
Оке (2004, 2008)	Объединение классификаций Ауэра и Эллефсена. Разделение городской местности на 7 однородных регионов, называемых «городскими климатическими зонами» (UCZ), которые варьируются от полусельских до интенсивно застроенных участков	Морфологию городской застройки, покрытие (проницаемость), структуру (материалы), метаболизм (деятельность человека) и потенциал изменения естественного или «пред-городского» климата. На основе ΔT	Изначально — для улучшения размещения метеорологических приборов в городских районах
Лоридан и Гриммонд (2011)	Городские зоны для характеристики распределения энергии (UZE)	Пороговые значения для активных (занятых обменом энергией) озелененных и застроенных элементов морфологии городской застройки	Классификация помогает различать городские районы с точки зрения распределения солнечной радиации
Стюарт (2011)	17 стандартных локальных климатических зон (LCZ), из которых 15 определяются структурой поверхности и покрытием, а 2 — строительными материалами и антропогенными тепловыми выбросами. Типы застройки: 1–10. Типы земного покрова: A–G	Характерный температурный режим высоты экрана. Значения геометрических и поверхностно-покровных свойств. Значения термических, радиационных и метаболических свойств. На основе ΔT	Система LCZ по своей сути является общей и не может охватить особенности каждого городского или сельского участков. Классы LCZ дискретны по морфологии городской застройки, можно очертить на карте города или аэрофотоснимках

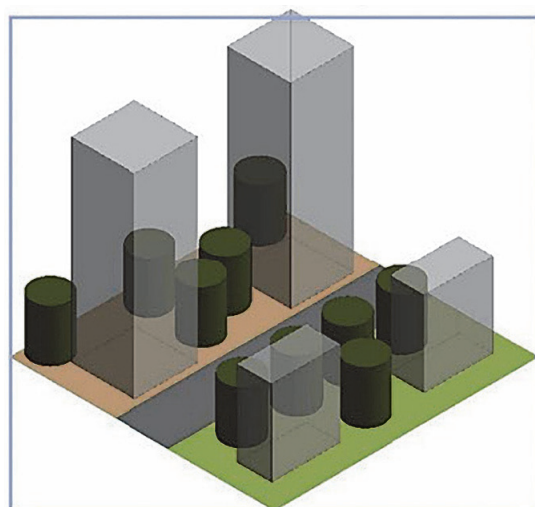
Научная проблема. Многие исследования сфокусированы на общих подходах и не учитывают индивидуальные климатические особенности конкретных городов, регионов или территориальных зон. Отсутствуют ясные и стандартизированные критерии для оценки и регулирования качества тепловой городской среды (ТГС) посредством изменения морфологии городской застройки.

Актуальность темы исследования определяется отсутствием данных в условиях умеренно-континентального климата (на примере г. Волгограда), а также необходимостью проведения качественного мониторинга ГОТ и формирования эффективных методов городского планирования, направленных на смягчение ГОТ.

Цель исследования — разработать научно обоснованный метод градостроительного прогнозирования с целью повышения качества ТГС на основе усовершенствования теории климатопов с учетом морфологических особенностей городской застройки.

Модели и методы

Разработан научно обоснованный подход к прогнозированию качества тепловой городской среды (ТГС), основанный на концепции климатопов — локальных территориальных единиц с однородными морфологическими и микроклиматическими характеристиками. Подход интегрирует методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), математиче-



Y — показатель относительной температуры — результирующая переменная

- X_1 — коэффициент плотности застройки
- X_2 — коэффициент озеленения деревьями
- X_3 — коэффициент озеленения травой и мелким кустарником
- X_4 — коэффициент дорожных покрытий
- X_5 — коэффициент грунтовых покрытий

Рис. 1. Принципиальная схема математической модели

ского моделирования и натурных измерений, что позволяет перевести оценку теплового комфорта из качественной в количественную плоскость [14, 4]. Данный подход позволяет выполнять прогноз качества ТГС уже на этапе городского планирования и реконструкции.

Для описания геометрических свойств морфологических параметров использованы следующие характеристики (рис. 1): коэффициент плотности застройки (X_1); коэффициент озеленения деревьями (X_2); коэффициент озеленения травой и мелким кустарником (X_3); коэффициент дорожных покрытий (X_4); коэффициент грунтовых покрытий (X_5). Отличительной особенностью предлагаемого подхода является возможность учета не только планировочных, но и объемно-пространственных характеристик.

Предложенная классификация качества ТГС по пяти классам (А–Е) на основе интервальных значений показателя относительной температуры Θ , рассчитанного по данным тепловой съемки. Классификация является инструментом для адресной оценки территории и выявления зон с критическим перегревом (классы D, E), требующих первоочередного вмешательства (табл. 2).

Практическая значимость работы заключается в создании инструментария для перехода от реагирования на последствия перегрева городских территорий к их прогнозированию и управлению на стадии принятия градостроительных решений. Таким образом, имея тепловое изображение территории города можно определить классы ТГС.

На основе предложенной классификации качества ТГС возможно присвоение определенного класса конкретному участку городской среды, что позволит выявлять территории, требующие улучшения с точки зрения планировочных решений.

Таблица 2. Классификация качества ТГС

Обозначение класса ТГС	Обозначение подкласса ТГС	Значение относительной температуры	Выраженность ГОТ	Класс качества ТГС
А	A1	$0 \leq \Theta \leq 0,05$	Очень слабая	Очень высокое (ОВ)
	A2	$0,05 < \Theta \leq 0,1$		
	A3	$0,1 < \Theta \leq 0,15$		
	A4	$0,15 < \Theta \leq 0,2$		
В	B1	$0,2 < \Theta \leq 0,25$	Слабая	Высокое (В)
	B2	$0,25 < \Theta \leq 0,3$		
	B3	$0,3 < \Theta \leq 0,35$		
	B4	$0,35 < \Theta \leq 0,4$		
С	C1	$0,4 < \Theta \leq 0,45$	Умеренная	Умеренное (У)
	C2	$0,45 < \Theta \leq 0,5$		
	C3	$0,5 < \Theta \leq 0,55$		
	C4	$0,55 < \Theta \leq 0,6$		
D	D1	$0,6 < \Theta \leq 0,65$	Сильная	Низкое (Н)
	D2	$0,65 < \Theta \leq 0,7$		
	D3	$0,7 < \Theta \leq 0,75$		
	D4	$0,75 < \Theta \leq 0,8$		

Обозначение класса ТГС	Обозначение подкласса ТГС	Значение относительной температуры	Выраженность ГОТ	Класс качества ТГС
Е	Е1	$0,8 < \Theta \leq 0,85$	Очень сильная	Очень низкое (ОН)
	Е2	$0,85 < \Theta \leq 0,9$		
	Е3	$0,9 < \Theta \leq 0,95$		
	Е4	$0,95 < \Theta \leq 0,1$		

Для определения фактических показателей морфологии городской застройки был проведен анализ 165 точек (узлов), расположенных на различных городских территориях, сопоставленных по морфологии и классу ТГС. В результате была разработана математическая модель, позволяющая достаточно быстро и точно проводить прогнозирование качества ТГС и показывающая взаимосвязь между морфологией застройки и классом ТГС. Полученное уравнение регрессии представлено в следующем виде [15]:

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

где Y — показатель относительной температуры; X_1 — коэффициент плотности застройки; X_2 — коэффициент озеленения деревьями; X_3 — коэффициент озеленения травой и мелким кустарником; X_4 — коэффициент дорожных покрытий; X_5 — коэффициент грунтовых покрытий.

Установлены количественные закономерности влияния морфологических параметров застройки на тепловой режим. Полученная математическая модель позволяет с точностью $RMSE = 0,13$ прогнозировать показатель относительной температуры Θ [15].

На основе классификации и математической модели разработана практическая экспресс-методика прогнозной оценки качества ТГС для градостроительного проектирования и нормотворчества в виде карты распределения климатопов по классам ТГС (рис. 2).

Результаты исследования и их анализ

Путем регрессионного анализа выявлено, что наибольший вклад в смягчение эффекта ГОТ вносит озеленение деревьями (0,766) и травой, и мелким кустарником (0,503), в связи с чем выбранные сценарии для последующей верификации данных базировались на изменении данных показателей(я).

Для верификации данных по разработанной регрессионной модели (1) выполнено имитационное

моделирование с использованием программно-вычислительного комплекса ENVI-met. Вычислительный эксперимент выполнен численным методом 3D-моделирования микроклимата городской среды с применением Envi-Met, основанного на фундаментальных законах механики жидкости, термодинамики и общей физики атмосферы (CFD).

Рассмотрены 3 вида застройки: строчная, квартальная и смешанная (табл. 3). Рассмотрено 4 сценария по морфологии городской застройки: 0 — полное отсутствие озеленения; 1 — исходный вид; 2 — увеличение доли озеленения деревьями до 20 %; 3 — увеличение доли озеленения деревьями до 30 %.

По итогам верификации разработанного подхода градостроительного прогнозирования на результатах вычислительного эксперимента имеется согласованность данных (табл. 4), что подтверждает достоверность разработанного подхода градостроительного прогнозирования.

На основании проведенного исследования по прогнозированию качества ТГС с разным процентным соотношением площади озеленения деревьями (табл. 3, 4) выявлено, что необходимо повысить требуемые условия до 30 % в Правилах землепользования и застройки (ПЗЗ) для г. Волгограда.

В отличие от метода численного моделирования применение разработанной математической модели проще, но обеспечивает в целом сопоставимый по точности результат.

Таким образом, подход к градостроительному прогнозированию, базирующийся на основе теории климатопов, представленный в виде математической модели, устанавливающей закономерное влияние морфологических параметров на изменение показателя относительной температуры, можно представить в виде блок-схемы (рис. 3).

Методика, реализованная в виде карты распределения климатопов, позволяет без трудоемкого моделирования определить ожидаемый класс ТГС на основе морфологических параметров территории (рис. 2).

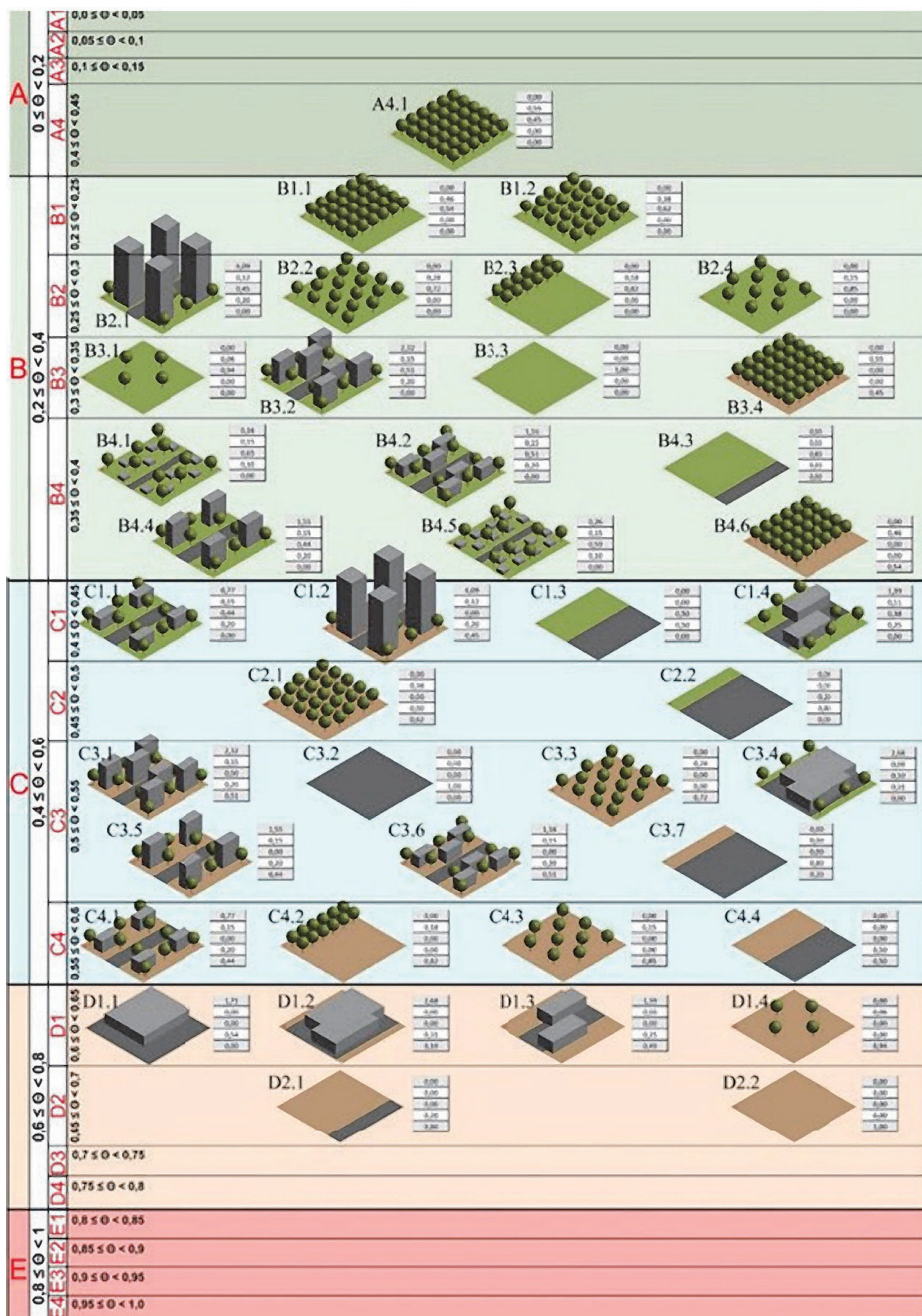


Рис. 2. Карта климатопов — распределение климатопов по классам ТГК

Таблица 3. Визуализация данных в ENVI-met

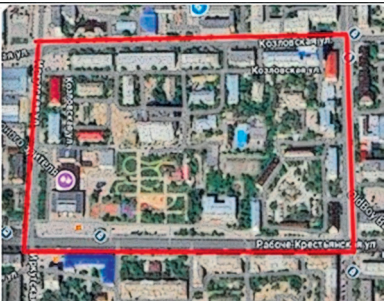
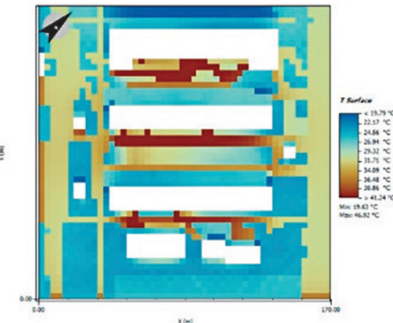
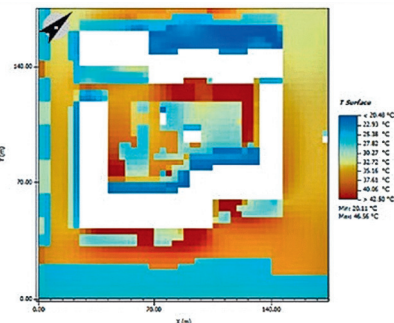
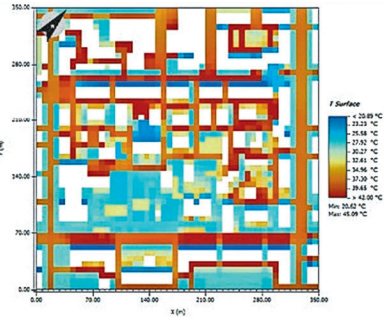
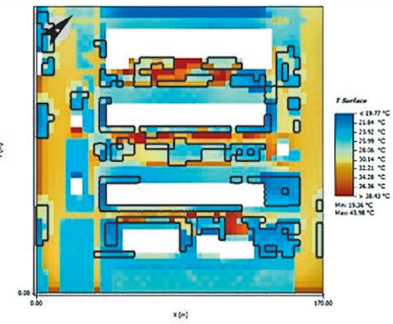
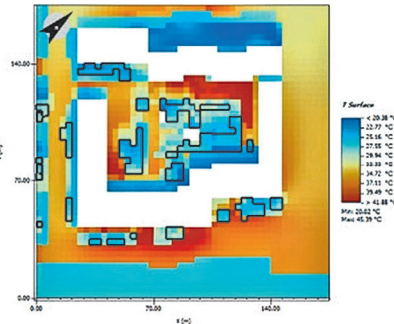
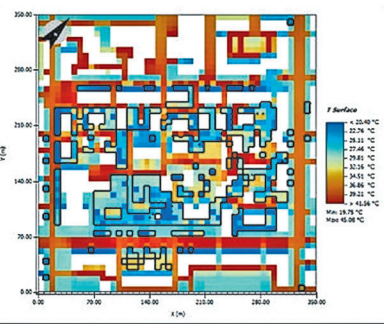
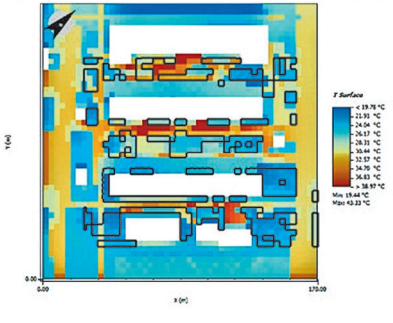
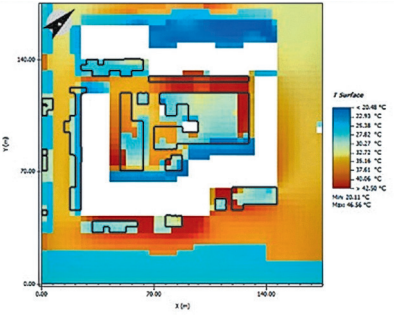
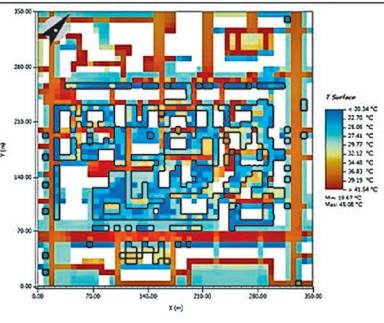
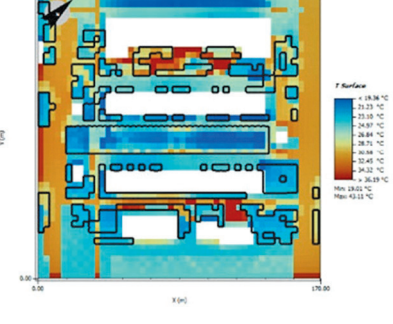
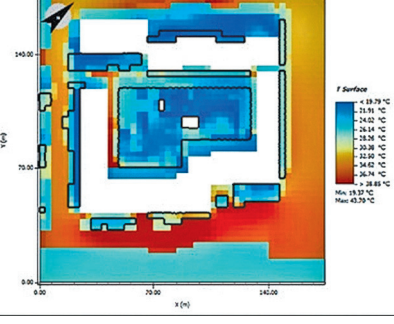
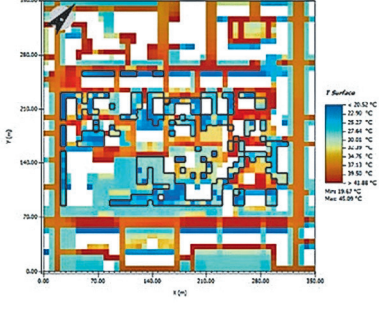
Строчная застройка	Квартальная застройка	Смешанная застройка
164,6 × 92,7 м	152,7 × 120,8 м	448,6 × 267,6 м
		
		
		
		
		

Таблица 4. Верификация данных

Номер точки	Тип застройки	Класс качества ТГС по (1)	Класс качества ТГС по ENVI-met	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1.0	Смешанная застройка	D1	D1	0,85	0,00	0,00	0,20	0,63
1.1		C1	C2	0,85	0,16	0,26	0,20	0,21
1.2		C1	C1	0,85	0,20	0,26	0,20	0,17
1.3		B4	B4	0,85	0,30	0,26	0,20	0,07
2.0	Квартальная застройка	C4	C4	2,23	0,00	0,00	0,53	0,19
2.1		C2	C2	2,23	0,07	0,06	0,53	0,06
2.2		C1	C1	2,23	0,21	0,06	0,46	0,00
2.3		B4	B4	2,23	0,30	0,06	0,36	0,00
3.0	Строчная застройка	D1	C4	1,43	0,00	0,00	0,32	0,47
3.1		C1	C1	1,43	0,18	0,21	0,32	0,08
3.2		C1	C1	1,43	0,20	0,26	0,32	0,02
3.3		B4	B4	1,43	0,27	0,20	0,32	0,00



Рис. 3. Блок-схема предлагаемого подхода к градостроительному прогнозированию

Выводы

Основные выводы по результатам исследования.

1. Разработан эффективный инструментарий для моделирования и прогнозирования изменений городской среды с позиции оценки качества ТГС на основе адаптированной теории климатопов, что является теоретически и практически значимым как при планировании новых городских территорий, так и реконструкции существующих.

2. Данные полученной регрессионной модели успешно верифицированы с помощью программно-вычислительного комплекса ENVI-met.

3. Разработана практическая экспресс-методика прогнозной оценки качества ТГС для градостроительного проектирования и нормотворчества. Методика, реализованная в виде карты распределения климатопов, позволяет без трудоемкого моделирования определить ожидаемый класс ТГС на основе морфологических параметров территории. На ее основе возможно определение конкретных рекомендаций по корректировке ПЗЗ, включая установление норматива в 30 % озеленения деревьями для г. Волгограда.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Korniyenko S.V., Dikareva E.A. Generation, Development and Mitigation of the Urban Heat Island : a Review // AlfaBuild. 2021. No. 1605 (65).
2. Mirzaei P.A. Recent challenges in modeling of urban heat island // Sustainable Cities and Society. 2015. No. 19. Pp. 200–206.
3. Parsaee M. et al. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans // Environmental Technology & Innovation. 2019. No. 14. P. 100341
4. Voogt J.A., Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climates // Remote Sensing of Environment. 2003. No. 3 (86). Pp. 370–384.

5. Ле М.Т., Шукуров И.С., Нгуен Т.М. Исследование интенсивности городского острова тепла на основе городской планировки // Строительство: наука и образование. 2019. № 3.
6. McPherson E.G. Evaluating the cost effectiveness of shade trees for demand-side management // The Electricity Journal. 1993. Vol. 9. Issue 6. Pp. 57–65.
7. Mei S.-J. Wind driven natural ventilation in the idealized building block arrays with multiple urban morphologies and unique package building density // Energy and Buildings. 2017. Vol. 155. Pp. 324–338.
8. Qi M., Xu C., Zhang W. et al. Mapping urban form into local climate zones for the continental US from 1986–2020. 2024. P. 195. DOI: 10.1038/s41597-024-03042-4
9. Stewart I.D., Oke T.R. 2012: Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, 1879–1900. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1
10. Homer C.G., Dewitz J.A., Yang L., Jin S., Danielson P., Xian G. et al. Completion of the 2001 National Land Cover Database for the Conterminous United States // Photogramm. Eng. Remote Sens. 2007. No. 73. Pp. 337–341.
11. Wilmers F. Effects of vegetation on urban climate and buildings // Energ. Build. 1991. No. 15, 16. Pp. 507–514.
12. Scherer D., Fehrenbach U., Beha H.-D., Parlow E. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban climate processes // Atmos. Environ. 1999. No. 33. Pp. 4185–4193.
13. Han J., Mo N., Cai J. et al. Advancing the local climate zones framework : a critical review of methodological progress, persisting challenges, and future research prospects // Humanit Soc Sci Commun. 2024. No. 11. P. 538. DOI: 10.1057/s41599-024-03072-8
14. 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
15. 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

Об авторах: **Екатерина Александровна Дикарева** — старший преподаватель, соискатель кафедры архитектуры зданий и сооружений; **Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, д. 28; РИНЦ ID: 7915-3514, ORCID: 0000-0003-4888-7117; e-mail: ea.dikareva@gmail.com;

Сергей Валерьевич Корниенко — доктор технических наук, заведующий кафедрой, доцент кафедры архитектуры зданий и сооружений; **Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)**; 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, д. 28; РИНЦ ID: 5417-1586, Scopus AuthorID: 56352359500, ORCID: 0000-0002-5156-7352; e-mail: skorn73@mail.ru.

REFERENCES

1. Korniyenko S.V., Dikareva E.A. Generation, Development and Mitigation of the Urban Heat Island : a Review. *AlfaBuild*. 2021; 1605(65).
2. Mirzaei P.A. Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable Cities and Society*. 2015; (19):200-206.
3. Parsaei M. et al. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental Technology & Innovation*. 2019; 14:100341.
4. Voogt J.A., Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*. 2003; 3(86):370-384.
5. Le M.T., Shukurov I.S., Nguyen T.M. Study of urban heat island intensity based on urban planning. *Construction: Science and Education*. 2019; 3. (rus.).
6. McPherson E.G. Evaluating the cost effectiveness of shade trees for demand-side management. *The Electricity Journal*. 1993; 9(6):57-65.
7. Mei S.-J. Wind-driven natural ventilation in the idealized building block arrays with multiple urban morphologies and unique package building density. *Energy and Buildings*. 2017; 155:324-338.
8. Qi M., Xu C., Zhang W. et al. Mapping urban form into local climate zones for the continental US from 1986–2020. 2024; 195. DOI: 10.1038/s41597-024-03042-4
9. Stewart I.D., Oke T.R. 2012: Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 1879–1900. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1
10. Homer C.G., Dewitz J.A., Yang L., Jin S., Danielson P., Xian G. et al. Completion of the 2001 National Land Cover Database for the Conterminous United States. *Photogramm. Eng. Remote Sens*. 2007; 73:337-341.
11. Wilmers F. Effects of vegetation on urban climate and buildings. *Energ. Build*. 1199; 15-16:507-514.
12. Scherer D., Fehrenbach U., Beha H.-D., Parlow E. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban climate processes. *Atmos. Environ*. 1999; 33:4185-4193.
13. Han J., Mo N., Cai J. et al. Advancing the local climate zones framework : a critical review of methodological progress, persisting challenges, and future research prospects. *Humanit Soc Sci Commun*. 2024; 11:538. DOI: 10.1057/s41599-024-03072-8

14. Korniyenko 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
15. Kornienko S.V., Dikareva E.A. Improving the temperature regime of urbanized territories based on climatopes. *Biosphere compatibility: man, region, technology*. 2024; 4:68-75. DOI: 10.22227/2311- 1518.2024.4.68-75 (rus.).

About the authors: **Ekaterina A. Dikareva** — Senior Lecturer, PhD Candidate, Department of Architecture of Buildings and Structures; **Volgograd State Technical University (VolGTU)**; 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; ID RSCI: 7915-3514, ORCID: 0000-0003-4888-7117; e-mail: ea.dikareva@gmail.com;

Sergey V. Kornienko — Doctor of Technical Sciences, Head of Department, Associate Professor of the Department of Architecture of Buildings and Structures; **Volgograd State Technical University (VolGTU)**; 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; ID RSCI: 5417-1586, Scopus AuthorID: 56352359500, ORCID: 0000-0002-5156-7352; e-mail: skorn73@mail.ru.