

УДК 504.055
DOI 10.17513/use.38234

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ
ГОРОДСКОГО ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ
РОСТОВА-НА-ДОНУ В ПЕРИОД С 1984 ПО 2023 ГОД
(ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ)**

Шехурдин Г.Р., Скляренко Г.Ю.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: shehurdin@sfnedu.ru

Аннотация. Антропогенно-преобразованные тепловые поля – характерная черта современного городского ландшафта, обусловленная специфическими особенностями развития населенного пункта в ходе градостроительного освоения территории. При развитии урбандо-ландшафта наблюдается глубокое видоизменение физических и геоморфологических характеристик территории, происходит формирование новой вертикальной структуры рельефа, распространение экранированных поверхностей, уменьшение площади и густоты растительного покрова. В результате указанных процессов изменяется и эколого-геофизическая составляющая, в частности тепловое поле района. Как правило, это приводит к формированию устойчивой положительной аномалии – городского острова тепла, а также к росту контрастности в пространственном распределении температурных показателей. Дополнительный вклад в тепловой баланс урбандо-ландшафта вносят антропогенные и техногенные источники тепловой энергии – объекты промышленности, транспорта, коммунального хозяйства, отдельные массивные здания и сооружения. Особую важность для качества жизни населения и состояния окружающей среды города имеет поверхностный остров тепла, выражающийся в температурных показателях поверхности и приповерхностного воздуха. Он в наибольшей степени связан с особенностями городской застройки и рельефа и непосредственно формирует среду обитания в пределах населенного пункта. Поверхностный остров тепла может быть идентифицирован при помощи методов дистанционного зондирования Земли в дальнем инфракрасном (тепловом) диапазоне. Благодаря достаточно продолжительной истории наблюдений, использование данных инфракрасной космической съемки позволяет анализировать изменение температурных характеристик территории в процессе градостроительного освоения. В статье рассматривается изменение поверхностного острова тепла в границах городского округа Ростов-на-Дону за период с 1984 по 2023 г., который характеризовался активным развитием городской застройки и изменением территориальной структуры города. Выявлены особенности, характерные для различных функциональных зон города и районов, объединенных общностью исторического развития и особенностями урбандо-ландшафта, определены исторические и современные тенденции развития городского теплового поля.

Ключевые слова: Ростов-на-Дону, урбэко-система, городской климат, городской остров тепла, тепловые поля, тепловое загрязнение, дистанционное зондирование Земли, урбандо-ландшафты

**PECULIARITIES OF FORMATION AND DEVELOPMENT
OF THE URBAN THERMAL FIELD OF ROSTOV-ON-DON
IN THE PERIOD FROM 1984 TO 2023
(ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA)**

Shekhurdin G.R., Sklyarenko G.Yu.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: shehurdin@sfnedu.ru

Annotation. Anthropogenically transformed thermal fields are an important characteristic of the modern urban landscape, determined by the specific features of urban landscape and territorial development. A profound modification of the physical and geomorphological characteristics of the territory, the formation of a new vertical relief structure, the spread of shielded surfaces, a decrease in the area and density of vegetation cover are taking place during the development of the urban landscape. As a result of these processes, the geophysical component is also changing, especially the thermal field of the area. As a result, this leads to the formation of a stable positive anomaly – an urban heat island (UHI), as well as to an increase in contrast in the spatial distribution of temperature indicators. Anthropogenic and technogenic sources of thermal energy like industrial, transportation and municipal facilities, separate massive buildings and constructions make an additional contribution to the thermal balance of the urban landscape. The scale and intensity of the surface heat island, expressed in temperature indicators of the land surface and surface air, is important characteristic of the quality of life and the state of the city's environment. It is most closely related to the features of urban development and topography and directly impacts the habitat within the locality. The surface heat island can be identified using methods of remote sensing of the Earth in the thermal infrared bands. Due to a fairly long history of observations, the use of infrared satellite imagery data it is possible to analyze changes in the temperature characteristics of the territory during the process of urban development. The article examines the change in the surface heat island within the boundaries of the Rostov-on-Don urban district for the period from 1984 to 2023, which was characterized by the active development of urban development and a change in the territorial structure of the city. The features characteristic of various functional zones of the city and districts united by the commonality of historical development and the peculiarities of the urban landscape were revealed, historical and modern trends in the development of the urban thermal field were determined.

Keywords: Rostov-on-Don, urban ecosystem, urban climate, urban heat island, thermal fields, thermal pollution, remote sensing, urban landscapes

Тепловое поле природно-антропогенного происхождения – неотъемлемая составляющая городской экосистемы. Ее особенности и ключевые характеристики обусловлены комплексом факторов различного генезиса, оказывающих влияние на приповерхностный тепловой баланс. К таковым относятся местный и региональный климат, пространственная планировка и функциональное зонирование населенного пункта, воздействие стационарных и передвижных источников теплового воздействия, степень экранированности (запечатанности) почвенного покрова, плотность застройки и озеленения селитебных и промышленных зон [1].

Как правило, городское температурное поле в значительной мере отличается от характерного для прилегающих пригородных и сельских территорий, а также природных ландшафтов. В пределах населенного пункта формируется городская остров тепла – обширная положительная аномалия, приуроченная к областям наиболее интенсивного градостроительного освоения [2]. В то же время в масштабе города выделяются «тепловые купола», связанные с объектами, способствующими накоплению тепловой энергии, либо являющимися ее активными источниками, которые хорошо заметны даже на среднегородском фоне. К таким объектам относятся промышленные и жилые массивы, обширные экранированные поверхности (площади, проспекты), транспортная инфраструктура и т.п. Они способствуют образованию положительных тепловых аномалий земной поверхности, искусственных поверхностей и приповерхностного воздуха. Они в наибольшей степени оказывают влияние на условия жизни и деятельности населения города и функционирования компонентов урбоэкосистемы.

Воздействие острова тепла на здоровье человека и состояние окружающей среды комплексно и во многом носит косвенный характер, что, однако, не умаляет его значимость. В частности, аномальное температурное поле в пределах населенных пунктов способствует изменению режима осадков, накоплению загрязняющих веществ в воздухе, нарушению температурного режима водоемов и снижению качества вод [1, 3]. Непосредственное негативное влияние на человеческий организм заключается, прежде всего, в усугублении существующих кардио-, респираторных и других заболеваний и росте смертности от них. Риск максимален в аномально жаркие периоды, но сохраняется и при умеренно высоких температурах.

А наибольшему воздействию подвергается население пожилого возраста и люди, имеющие проблемы со здоровьем [1].

С учетом вышесказанного, принимая во внимание динамическую природу урбоэкосистемы, представляется актуальным исследование пространственно-временного развития явления городского теплового поля в условиях высоких летних температур и активного градостроительного освоения территории, характерных для города-миллионника Ростова-на-Дону в современный период (конец XX – начало XXI в.).

Целью данного исследования является изучение формирования структуры городского теплового поля в контексте развития Ростова-на-Дону. Интерес представляют как сам процесс возникновения и дальнейшего преобразования городского теплового острова, так и выявление закономерностей, связанных с его внутренней дифференциацией. Рассмотрены ключевые особенности, характерные для различных видов городского ландшафта при различных направлениях градостроительной деятельности. Помимо прочего, рассмотрение отклика острова тепла на изменения в структуре урбандшафта позволяет в определенной мере прогнозировать изменения температурного поля в районном и городском масштабе, а потому представляет интерес и в области городского планирования.

Город Ростов-на-Дону – один из крупнейших населенных пунктов Юга России. Расположен в низовьях реки Дон, в зоне влажного континентального климата с жарким летом (Dfa по классификации Кеппена – Гейгера) [4]. Абсолютный максимум летних температур достигает 40,2 °C [5, 6].

Территория города характеризуется высоким уровнем солнечной радиации (порядка 2,7 ГДж/м² в год) при малом количестве дней без солнца и их практически полном отсутствии в теплый период года, с мая по сентябрь. На этот же период приходится и наибольшая продолжительность солнечного сияния в течение суток, и наибольшая повторяемость ясного неба по общей облачности [7].

На территории городского округа представлены как урбандшафты, так и условно-природные, антропогенно-преобразованные и агроландшафты. На всем протяжении рассматриваемого периода для Ростова-на-Дону было характерно увеличение площади застройки, прежде всего – многоэтажной, микрорайонного типа. Такая застройка преобладает во всех районах,

введенных в эксплуатацию и строящихся с 1984 по 2023 г. В практически не изменившихся по площади районах малоэтажной и индивидуальной застройки наблюдалась тенденция к увеличению ее плотности за счет точечного строительства, а для части промышленных комплексов характерно изменение функционального назначения, увеличение доли непроизводственных складских и коммерческих зданий. Новыми для города за рассматриваемый отрезок времени стали районы коммерческого назначения: торговые центры, рыночные комплексы и т.п., по физическим характеристикам и планировочным решениям близкие к промышленным, но расположенные зачастую в границах жилых кварталов.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов для исследования были выбраны данные инфракрасной космической съемки искусственных спутников Земли (ИСЗ) Landsat 5, 8 и 9, представленные снимками в дальнем инфракрасном (тепловом) диапазоне. Использование тепловых спектральных каналов позволяет эффективно выявлять «поверхностный остров тепла», в наибольшей степени ассоциирующийся с видоизмененными, экранированными и застроенными поверхностями и антропогенными источниками тепла.

Начало регулярной съемки территории г. Ростова-на-Дону приходится на 1984 г. (год введения в эксплуатацию ИСЗ Landsat5) [8]. Таким образом, для изучения доступен период в 39 лет, охватывающий время значительного изменения территориально-планировочной структуры города.

В рамках проведенного исследования использовались снимки теплого сезона года (с мая по сентябрь), что обусловлено как климатическими предпосылками к формированию поверхностного острова тепла в данный период, так и актуальностью проблемы теплового загрязнения в условиях высоких летних температур.

Территория городского округа была разделена на районы, объединенные общностью функционального назначения и особенностей формирования в процессе развития населенного пункта (рис. 1). Для обработки исходных материалов использовалась геоинформационная система QuantumGIS и модуль Semi-Automatic Classification Plugin [9]. Для каждого снимка определялась величина температурной аномалии (отклонения) для каждой точки

(пикселя) относительно среднего значения по городскому округу. Затем вычислялась усредненная аномалия для снимков одного года. Полученные значения посредством зональной статистики раstra группировались по районам различного функционального назначения в целях выявления пространственно-временных закономерностей развития теплового поля города.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования были выявлены закономерности изменения теплового поля, связанные как с особенностями градостроительного освоения территории, так и с типом ландшафта и возрастом его формирования. Результаты вычисления усредненной поверхностной температурной аномалии, сгруппированные по группам территорий общего функционального назначения, представлены на рис. 1.

Жилые и промышленные районы города, из числа входивших в его структуру на начало рассматриваемого периода (1984 г.) отличаются значительным сходством в характеристиках теплового поля. Необходимо отметить, что общая структура острова тепла «староосвоенных» районов остается достаточно стабильной независимо от господствующей тенденции. Так, промышленные зоны в целом теплее селитебных и отличаются большим интервалом значений, что связано главным образом с преобладающим типом производства, площадью и конфигурацией производственных объектов. Наибольший уровень теплового загрязнения наблюдается на территории комбайнового завода «Ростсельмаш», наименьший – в Заречной промышленной зоне, где преобладают предприятия обрабатывающей промышленности и портово-складские сооружения. Селитебные районы отличаются сходными температурными показателями вне зависимости от типа застройки и периода формирования – интервал аномальных величин для этой группы территорий составляет порядка 2 °С (для промышленных зон – от 4 до 6 °С). Исключение составляют районы нового (с конца 2000-х до начала 2010-х гг.) строительства – Левенцовский и Суворовский, где наблюдается нестабильное тепловое поле, обусловленное главным образом текущим освоением и благоустройством территории. Ранее на месте обоих районов находились агроландшафты (пашня) с характерными повышенными величинами температурной аномалии.

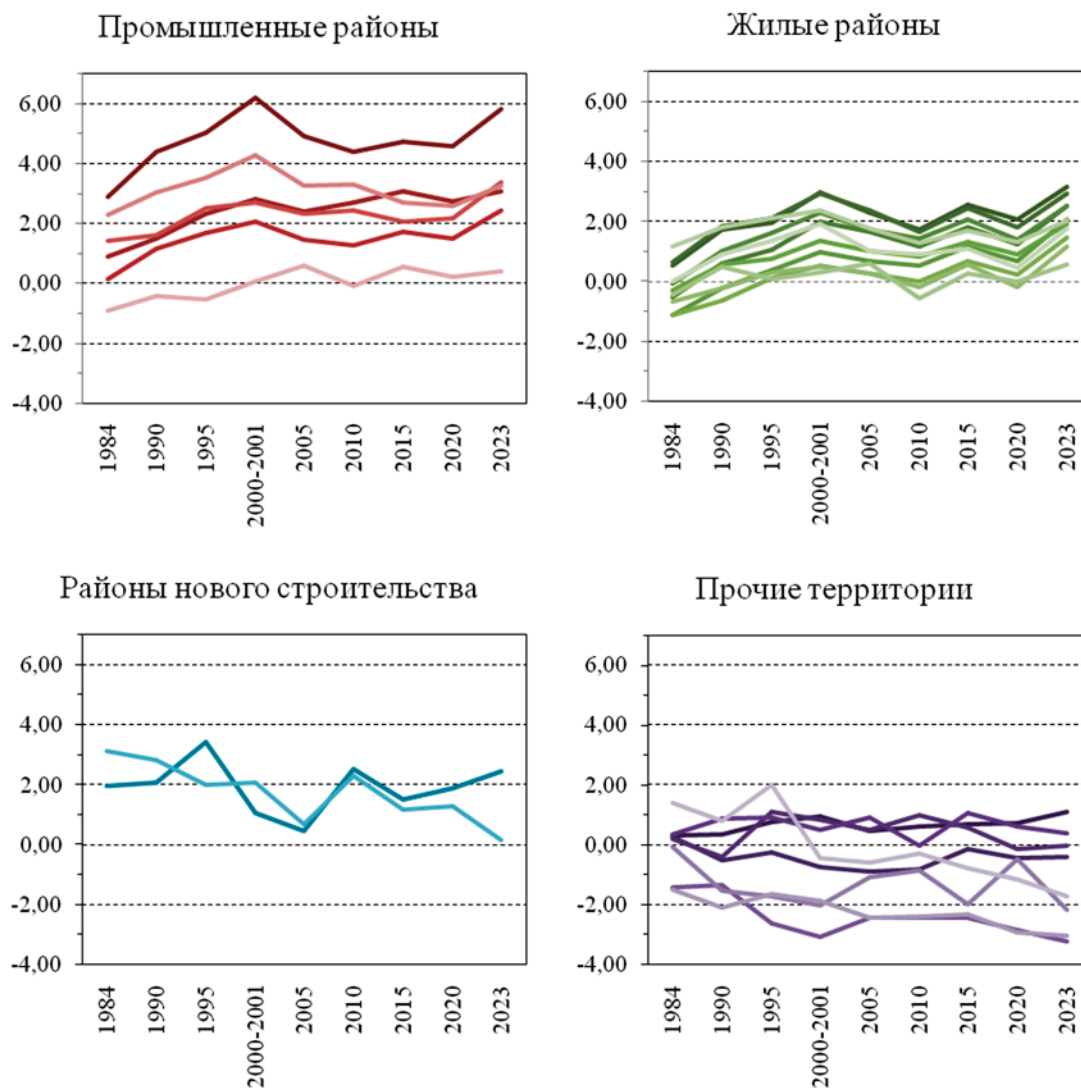


Рис. 1. Величина усредненной поверхностной температурной аномалии основных функциональных зон г. Ростова-на-Дону (в °С)

Отдельную группу составляют прочие территории, к которым относятся неурбанизированные условно-природные и агроландшафты, районы садово-дачной застройки пригородного типа, территории со сложной структурой освоения, городские леса и т.п. Для данных районов на всем рассматриваемом отрезке времени характерно сохранение пониженных величин усредненной аномалии (около $-3 - -2$ °С), а в некоторых случаях (в особенности для городских лесов и условно-природных ландшафтов) – ее понижение. В условиях незначительных изменений характера землепользования в пределах указанных районов это может быть обу-

словлено ростом среднегородского среднего и повышением контрастности теплового поля в связи с увеличением плотности застройки и сокращением внутриквартального озеленения.

В ходе проведенного исследования при рассмотрении временных тенденций в изменении структуры городского теплового поля были выявлены два периода ее развития на основе данных, касающихся прежде всего промышленных и жилых районов. На картах (рис. 2, 3) наглядно представлена величина изменения усредненной температурной аномалии для территорий города с 1984 по 2001 и с 2001 по 2023 г. соответственно.

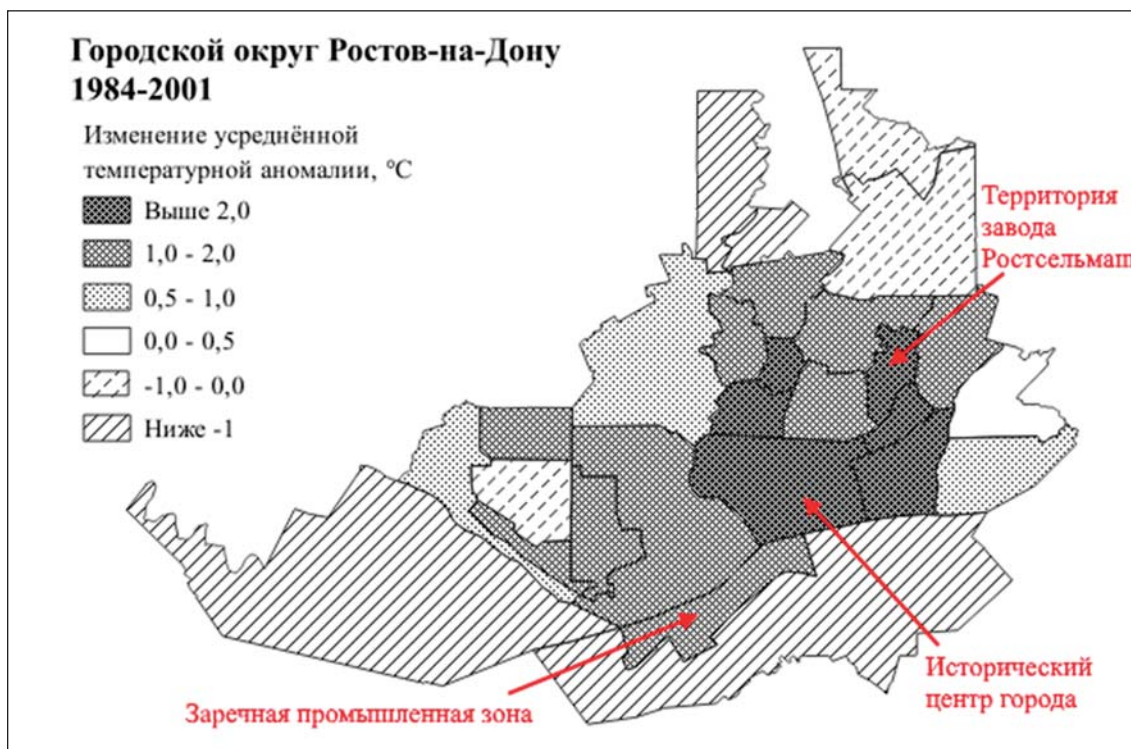


Рис. 2. Величина изменения усредненной температурной аномалии на территории городского округа Ростов-на-Дону в 1984–2001 гг.

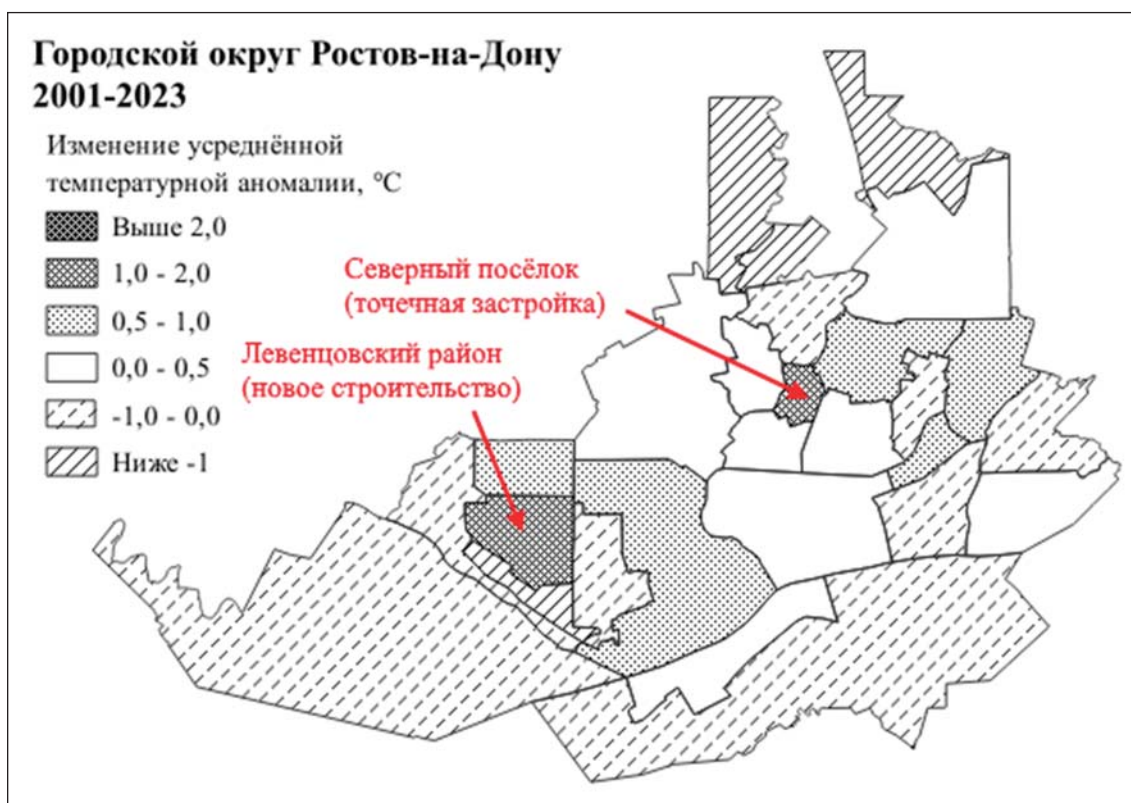


Рис. 3. Величина изменения усредненной температурной аномалии на территории городского округа Ростов-на-Дону в 2001–2023 гг.

Для первого отрезка времени характерно формирование «острова тепла» в пределах урбанизированной территории, что выразилось в следующих явлениях.

– Значительный нагрев большинства промышленных и селитебных территорий. В наибольшей степени он проявился в центральной, староосвоенной части города, в окрестностях завода «Ростсельмаш», а также на прилегающих к центру полупериферийных районах с интенсивной транспортной нагрузкой. Таким образом, в период с 1984 по 2001 г. в Ростове-на-Дону наблюдалось формирование «городского острова тепла» с характерной пространственной структурой.

– Рост контрастности распределения температурных показателей между городской и пригородной средой. При этом температурные показатели окраинных районов (главным образом на востоке, северо-востоке и северо-западе современного городского округа) с преимущественно малоэтажной застройкой и большой площадью зеленых зон и дачных массивов практически не подверглись изменениям, величина которых составила не более 1 °С.

Более поздний период, с 2001 по 2023 г., можно считать временем постепенного видоизменения сложившегося «острова тепла» Ростова-на-Дону, обусловленного локальными преобразованиями городской среды.

– Для жилых массивов, застройка которых преимущественно завершилась, наметилась тенденция к снижению величины температурной аномалии, что связано главным образом с благоустройством и озеленением территории. Необходимо отметить, что и достаточно активное точечное строительство не изменило данную тенденцию в районном масштабе.

– Отрицательное изменение величины теплового поля стало характерным и для промышленных зон, что связано с ростом доли непромышленных построек в их пределах и общим сокращением масштабов индустриального землепользования, расширением неиспользуемых площадей.

– Наиболее крупная область роста температурных показателей теперь приурочена к Левенцовскому району в западной части города – наиболее масштабному объекту ведущегося строительства. В меньшем масштабе подобная тенденция наблюдается в поселке Северном – небольшой области старой застройки, где в последние годы было введено несколько крупных жилищных комплексов, занявших главным

образом озелененные территории (в том числе Октябрьское трамвайно-троллейбусное депо).

– В меньшем масштабе прирост аномальных значений выявлен и в обширных полупериферийных районах на западе и северо-востоке города. Это может быть объяснено как происходящим уплотнением индивидуальной застройки, в том числе коммерческими объектами, так и возросшей транспортной нагрузкой на проходящие через данные районы магистрали.

Рассмотренные особенности, несмотря на свой достаточно выраженный характер, имеют главным образом локальное распространение и не изменяют общую структуру острова тепла в масштабе городского округа, которая остается достаточно стабильной. Так, для большинства как жилых, так и промышленных территорий тепловое поле осталось неизменным, либо изменилось незначительно (менее 0,5 °С по аномалии).

Выводы

1. В ходе исследования было впервые рассмотрено развитие теплового поля городской территории (для Ростова-на-Дону) на длительном отрезке времени. Были выявлены периоды формирования и стабилизации поверхностного «городского острова тепла».

2. Формирование «городского острова тепла» Ростова-на-Дону пришлось главным образом на период до 2001 г. При этом стоит отметить, что внутригородские особенности распределения температурных показателей определяются прежде всего функциональным назначением территории, характером ее градостроительного освоения, что демонстрируется при сравнении усредненных аномальных значений районов при их группировке по указанным признакам (рис. 1).

3. На этапе формирования городского температурного поля наряду с общим нагревом урбанизированных территорий наблюдалось выделение и в наибольшей степени выраженной центральной части «острова тепла», охватывающей «староосвоенные» районы и крупные промышленные зоны. Таким образом, рост контрастности происходил не только по границе «город – пригород», но и в пределах урбоэкосистемы как таковой.

4. С 2001 г. тепловое поле Ростова-на-Дону пребывает в относительно стабильном состоянии, что выражается в преобладании незначительного, либо слабоотрицатель-

ного прироста усредненной температурной аномалии для большинства урбанизированных территорий. Области активных изменений и роста интенсивности нагрева приурочены к ограниченному количеству районов, объединенных общностью процессов градостроительного преобразования (текущим, либо недавно завершенным новым строительством). Общегородская же тенденция заключается в сохранении сложившейся структуры «городского острова тепла».

5. Рассмотрение проблемы развития теплового поля и его взаимосвязи с направлениями развития урбоэкосистемы и преобразования городской среды обитания актуально как в интересах обеспечения безопасности и достойного качества окружающей среды, условий жизнедеятельности и здоровья населения, так и в целях обеспечения рационального градостроительного освоения и использования территории населенных пунктов.

Список литературы

1. Mohajerani A., Bakaric J., Jeffrey-Bailey T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete // *Journal of*

Environmental Management. 2017. Vol. 197. P. 522–538. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.095.

2. Heaviside C., Macintyre H., Vardoulakis S. The urban heat island: implications for health in a changing environment // *Current Environmental Health Reports*. 2017. Vol. 4. P. 296–305. DOI: 10.1007/s40572-017-0150-3.

3. Hester E.T., Bauman K.S. Stream and retention pond thermal response to heated summer runoff from urban impervious surfaces // *Journal of the American Water Resources Association*. 2013. Vol. 49, Is. 2. P. 328–342. DOI:10.1111/jawr.12019.

4. Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification // *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 2007. Vol. 11, Is. 5. P. 1633–1644. DOI: 10.5194/hess-11-1633-2007.

5. Климат Ростова-на-Дону – Справочно-информационный портал «Погода и климат» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/34730.htm> (дата обращения: 20.01.2024).

6. Хрусталеv Ю.П., Василенко В.Н., Свилюк И.В., Панов В.Д., Ларионов Ю.А. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области. Ростов-на-Дону: Батайское книжное изд-во, 2002. 181 с.

7. Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А. Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра. Ростов-на-Дону: ООО «Донской издательский дом», 2006. 488 с.

8. Landsat 5 – U.S. Geological Survey [Электронный ресурс]. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5> (дата обращения: 20.01.2024).

9. Congedo L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS // *Journal of Open Source Software*. 2021. Vol. 6, Is. 64. P. 3172. DOI: 10.21105/joss.03172.