

1. **ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**
1.6.12 Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки)

Научная статья

УДК 551.524; 551.588

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.3>

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ТЕПЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ Г. ЕССЕНТУКИ

Евгения Андреевна Скрипчинская¹,
Дмитрий Сергеевич Тасенко^{2*},
Михаил Борисович Каган³

^{1,2} Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация)

³ Санкт-Петербургский государственный университет (д. 7–9, Университетская набережная, Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация)

¹ gerdtea@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1490-3361>

² dimitri.tasenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2038-4561>

³ kagan.mikko@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-5106-6365>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Объектом исследования являются урболандшафты города Ессентуки. Целью работы является изучение пространственно-временной динамики теплового загрязнения среды г. Ессентуки и выявление факторов, влияющих на данный процесс. Ключевой задачей исследования является выявление зависимости изменения температуры поверхности земли от степени застроенности кварталов и озелененности. Применены методы дистанционного зондирования и географических информационных систем. Для анализа использованы космические снимки спутников Landsat 8 и Sentinel-2. В работе задействованы каналы – инфракрасный ближний и тепловой (спутник Landsat 8), а также видимый диапазон. Подсчитаны средние, максимальные и минимальные значения температуры поверхности по микрорайонам. Для сравнительного анализа были применены коэффициенты озелененности, градостроительной нагрузки и свободной территории. Обработка данных проверена в среде QGIS. Подсчитаны средние, максимальные и минимальные значения температуры поверхности по микрорайонам. Рассчитаны коэффициенты озелененности, градостроительной нагрузки и свободной территории. По итогам работы установлены пространственные особенности распределения тепловых аномалий, связанные с активной застройкой микрорайонов города. Создан картографический материал по

температуре поверхности земли за 2014, 2018 и 2022 годы и рассчитаны площади застроенных территорий и зеленой инфраструктуры. Подобные исследования дают многостороннюю оценку такого явления, как «остров тепла» и вносят существенный вклад в исследования климата города и воздействия процессов урбанизации на среду, позволяя контролировать микроклимат городских районов, выявлять направление и динамику изменений, существующих в городской среде. При планировке города необходимо учитывать результаты исследования с целью компенсации воздействия городского острова тепла. Первостепенная задача заключается в передаче знаний о городском климате в повседневную практику городского планирования и проектирования.

Ключевые слова: городская среда, градостроительная нагрузка, дистанционное зондирование, озеленённость, остров тепла, тепловое загрязнение среды, тепловые аномалии

Для цитирования: Скрипчинская Е. А., Тасенко Д. С., Каган М. Б. Пространственно-временная динамика теплового загрязнения среды г. Ессентуки // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 63-96. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.3>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 08.02.2024;
одобрена после рецензирования 16.04.2024;
принята к публикации 06.05.2024.

1.6.12.

Physical Geography and Biogeography, Soil Geography and Geochemistry Landscapes (Geographical Sciences)
Research article

Spatial-temporal dynamics of thermal pollution of the environment in Essentuki

**Evgeniya A. Skripchinskaya¹,
Dmitriy S. Tasenko^{2*},
Mikhail B. Kagan³**

^{1, 2} North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation)

³ Saint-Petersburg State University (7-9, Universitetskaya Embankment, St. Petersburg, 199034, Russian Federation)

¹ gerdtea@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1490-3361>

² dimitri.tasenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2038-4561>

³ kagan.mikko@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-5106-6365>

* Corresponding author

Abstract.

The object of the study is the urban landscapes of the city of Essentuki. The aim of the work is to study spatial-temporal dynamics of thermal pollution of the environment in Essentuki and identify the factors influencing this process. The key task of the study is to identify the dependence of changes in the temperature of the earth's surface on the degree of residential development and landscape. Methods of remote sensing and geographic information systems have been applied. Satellite images of the Landsat 8 and Sentinel-2 satellites were used for the analysis. The work involves channels – infrared near and thermal (Landsat 8 satellite), as well as the visible range. The average, maximum and minimum values of surface temperature for microdistricts are calculated. For a comparative analysis, the coefficients of landscaping, urban planning load and free territory were applied. Data processing has been verified in the QGIS environment. The average, maximum and minimum values of surface temperature for microdistricts are calculated. The coefficients of landscaping, urban planning load and free territory are calculated. Based on the results of the work, the spatial features of the distribution of thermal anomalies associated with the active development of microdistricts of the city were established. Cartographic material on the temperature of the earth's surface for 2014, 2018 and 2022 years has been created and the areas of built-up areas and green infrastructure have been calculated. Such studies provide a comprehensive assessment of such a phenomenon as "heat islands" and make a significant contribution to the study of the city's climate and the impact of urbanization processes on the environment, allowing to control the microclimate of urban areas, identify the direction and dynamics of changes existing in the urban environment. When planning a city, it is necessary to take into account the results of the study in order to compensate for the impact of the urban heat island. The primary task is to transfer knowledge about the urban climate into the daily practice of urban planning and design.

Keywords:

urban environment, urban planning load, remote sensing, landscaping, heat island, thermal pollution, thermal anomalies

For citation:

Scripchinskaya EA, Tasenko DS, Kagan MB. Spatial-temporal dynamics of thermal pollution of the environment in Essentuki. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):63-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.3>

Conflict of interest:

the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 08.02.2024;
approved after reviewing 16.04.2024;
accepted for publication 06.05.2024.

Введение

Тепловое загрязнение – это изменение температуры окружающей среды, нарушающее естественные процессы экосистемы, превышающее естественный диапазон ее температурной изменчивости. В пределах городской среды отмечаются существенные антропогенные преобразования земной поверхности (плотная застройка; сокращение площадей, занятых зелеными насаждениями). С каждым годом власти городов сталкиваются с проблемой повышения температуры на урбанизированных территориях. Данный термин получил название «острова тепла». Это определяет формирование острова тепла, метеорологического явления, заключающегося в повышении температуры городского пространства относительно окружающих его природных ландшафтов [1]. Изучение «острова тепла» является одним из важнейших вопросов современного территориального планирования и градостроительства.

Важным инструментом регулирования качества городской среды является создание сбалансированной системы «озелененность – застроенность». Уравновешенные системы способны нивелировать и минимизировать неблагоприятное антропогенное воздействие [2].

Вопросы, которые касаются изысканий по «островам тепла» актуальны и рассматриваются в работах С. Кнайта, К. Смит, М. Робертса, Ф. Ван Дер Хувена, А. Вандла, Д. Басара, Б. Илстона, К. Кроуфорда, А. Буантуева, Д. Ву, В.В. Алексашина, Ле Минь Туан, А.А. Медведкова, А.А. Высоцкой, А.В. Ольчева, П.В. Спорышева, В.М. Катцова, А.С. Горшкова, Н.И. Ватина, П.П. Румкевича, М. Парсай, М.М. Джоубари, П.А. Мизраел, А.А. Волчек, О.П. Мешик, В.Д. Оленькова, А.Д. Бирюкова, В.А. Сухорукова, Е.В. Варламова, В.С. Соловьева, Е.А. Балдиной, П.И. Константинова, М.Ю. Грищенко, М.И. Варенцева [1, 4, 5, 9, 15–23].

Материалы и методы исследований

Появление «островов тепла» в городской среде можно контролировать качественно и количественно при помощи современных технологий, таких как дистанционное зондирование территории. В данной работе применены методы дистанционного зондирования в оценке островов тепла в пределах городской среды Ессентуков.

В качестве исходных данных для изучения температуры поверхности земли применялись снимки американского спутника Landsat 8. Данные являются открытыми и находятся в свободном доступе на геопортале Геологической службы США [3]. Эти данные позволяют оценить внутреннюю пространственную структуру городских островов тепла и проследить динамику во времени и пространстве локальных тепловых аномалий [4]. Цифровые данные, полученные при помощи снимков Landsat 8, требуют предобработки и последующей постобработки при помощи специализированного программно-аппаратного обеспечения в области географических информационных систем.

Для решения задачи по определению температуры поверхности земли урболандшафта города Ессентуки был выбран летний промежуток времени за период в 8 лет: 2014 год (07.06; 03.08; 19.08) / 2018 год (27.06; 29.07; 14.08) / 2022 год (07.07; 08.07; 31.07). Даты выбраны из-за отсутствия облачности, дыма над городом Ессентуки и хорошей сопоставимости по погодным условиям. Данные за летний период каждого года усреднены. Снимки взяты с геопортала с 1 уровнем обработки данных, который не включает в себя атмосферную коррекцию [5].

В ПО QGIS через модуль Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) проведена атмосферная коррекция, которая устраняет влияние атмосферы на снимок, а также преобразует значения радиации дошедших до сенсора спутника в значения реально отражённого от земли спектрального излучения солнечного света.

Для построения карт, отображающих показатели температур поверхности земли, необходимо произвести расчеты:

- 1) яркости;
- 2) яркостной температуры;
- 3) вегетационного индекса;
- 4) отражательной способности поверхности;
- 5) температуры поверхности.

Для этого необходимо воспользоваться определенными каналами Landsat 8, такими как: красный, ближнеинфракрасный и тепловой. Для работы рекомендован 10 тепловой канал, так как он в отличие от 11 канала менее подвержен бликам и засветам.

При создании карт температуры поверхности надо помнить про перевод из Кельвинов в градусы Цельсия. Стоит не забывать, что температура поверхности не равна температуре воздуха.

Исходной информацией для расчёта специализированных показателей, связанных с градостроительной нагрузкой, свободной территорией и озелененностью являются снимки спутника дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства Sentinel-2. Данные предоставляются в открытом доступе с улучшенным пространственным разрешением по сравнению с Landsat [6]. Для определения типа территории получен снимок с общедоступного информационного портала EarthExplorer [3] за 2022 г. и затем была проведена атмосферная коррекция.

Методика исследования основана на определении нормализованного относительного индекса растительности – NDVI, вычисляемого по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра.

Расчеты показателей NDVI и определения площадей произведено в программном обеспечении QGIS в следующей последовательности действий:

1. Загрузка двухканальных растровых снимков в пространство QGIS.
2. Создание границ города и микрорайонов Ессентуков с помощью тега «admin_level» модуля OpenStreetMap.
3. Обрезка растровых снимков по загруженным контурам районов.
4. Определение диапазона зеленой растительности по NDVI для дальнейшего расчёта значений на территорию города Ессентуки.
5. Синтезирование полученных значений.
6. Классификация изображений в интегрированном

плагине SCP на основе участков-эталонов, данные о которых получены на спутниковом снимке с комбинацией каналов «естественные цвета».

7. Определение площадных характеристик в инструментах анализа «Зональная статистика растров».

Также в исследовании использовался генеральный план города, картографический материал по функциональному зонированию и кадастровые карты.

Озеленённость территорий города понимается как совокупность незастроенных и незапечатанных (т.е. не покрытых искусственными материалами: бетоном, асфальтом и т.п.) территорий с растительным покровом разного характера, предоставляющих экосистемные услуги.

Коэффициент озеленённости рассчитывался как отношение площади, занятой зелёными насаждениями, к площади квартала [7, 8]:

$$\text{Козел.} = S_{\text{зел.назед.}} \div S_{\text{квартала.}} \quad (2)$$

Застроенной территорией считается территория, на которой имеются существующие или ещё строящиеся здания или сооружения.

Коэффициент градостроительной нагрузки – это отношение площади строений, находящихся внутри квартала, к площади квартала:

$$\text{Кград.} = S_{\text{строений}} \div S_{\text{квартала.}} \quad (3)$$

Свободная территория подразумевает под собой открытые городские пространства, свободные от застройки в границах города.

Коэффициент свободной территории представляет собой отношение площади, незанятой строениями и зелеными насаждениями, к площади квартала:

$$\text{Ксвоб.} = S_{\text{своб.}} \div S_{\text{квартала.}} \quad (4)$$

Для обоснования полученных данных, касательно пространственной неоднородности температурных значений поверхности земли были рассчитаны, с использованием геоинформационные технологии, площадные показатели озелененности, застроенности и свободных территорий города [9].

Результаты исследований и их обсуждение

Город Ессентуки располагается на юге России, в Ставропольском крае и занимает площадь в 51,05 км², из которой 24,574 км² отведена под жилой фонд. Население города составляет 117,168 тыс. чел. по данным на 2022 год [10]. В сравнении с 2014 годом численность населения увеличилась на 13,65 % и составляла 103,093 тыс. чел. Прирост населения порождает строительство новых жилых кварталов, увеличиваться площадь застройки, зачастую расширение идет за счет зеленой инфраструктуры и свободных территорий.

Город Ессентуки дифференцирован на 17 микрорайонов, которые обозначены на рисунке 1.

По результатам обработки космических снимков построены карты температур поверхности земли города Ессентуки за летний период 2014, 2018 и 2022 годы и проведён их сравнительный анализ.

Средняя температура поверхности земли города Ессентуки в летний период 2014 году составляет 32,8 °С. Большая часть территории города имеет температуру в диапазоне от 25 °С до 30 °С. В 2014 году только начиналась активная застройка окраинных территорий города, таких как микрорайоны: Белый Уголь, Южный, Озеро, Дачи, Пятая Школа и Восточный. Аномальное повышение температуры наблюдается лишь в микрорайоне Прибрежный. Данный микрорайон можно определить, как «проблемный», а, следовательно, требуется особое внимание к его озеленению (рис. 2). Именно 2014 год является переломным моментом в интенсивной урбанизации территории Ессентуков сопровождающейся масштабной застройкой.

В 2018 году средняя температура поверхности земли города Ессентуки, в исследуемый период, составила 34,7 °С, что почти на 2 °С выше, в сравнении с 2014 годом. Тепловые аномалии террито-

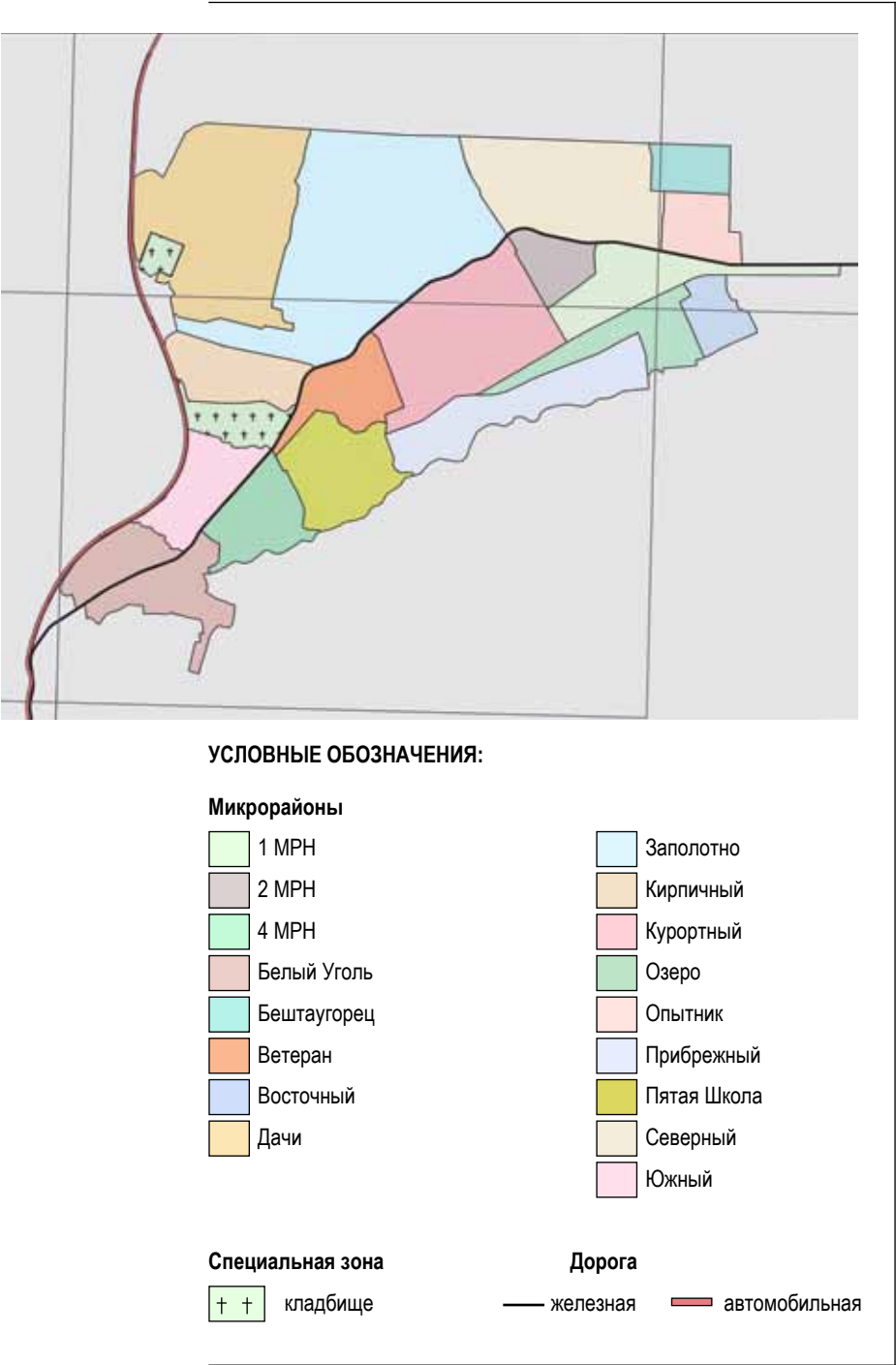


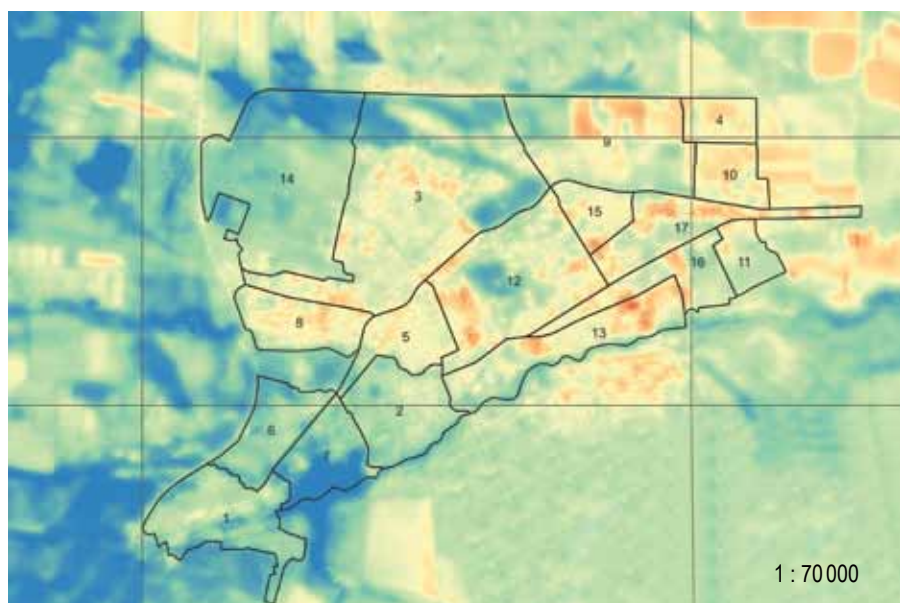
Рис. 1.

Микрорайоны города Ессентуки.

Fig. 1. Microdistricts of the city of Essentuki.

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:****Микрорайоны**

- | | | |
|----------------|---------------|----------------|
| 1. Белый Уголь | 7. Озеро | 13. Прибрежный |
| 2. Пятая Школа | 8. Кирпичный | 14. Дачи |
| 3. Заполотно | 9. Северный | 15. 2 МРН |
| 4. Бештаугорец | 10. Опытник | 16. 4 МРН |
| 5. Ветеран | 11. Восточный | 17. 1 МРН |
| 6. Южный | 12. Курортный | |

Температура в °С**Спутники**

Landsat 8 7 июня 2014 г.
Landsat 8 3 августа 2014 г.
Landsat 8 19 августа 2014 г.

Рис. 2.**Температура поверхности земли г. Ессентуки
(лето, 2014 г.) (°С).**

Fig. 2. The temperature of the ground surface in Essentuki
(summer, 2014) (°С).

Источник:

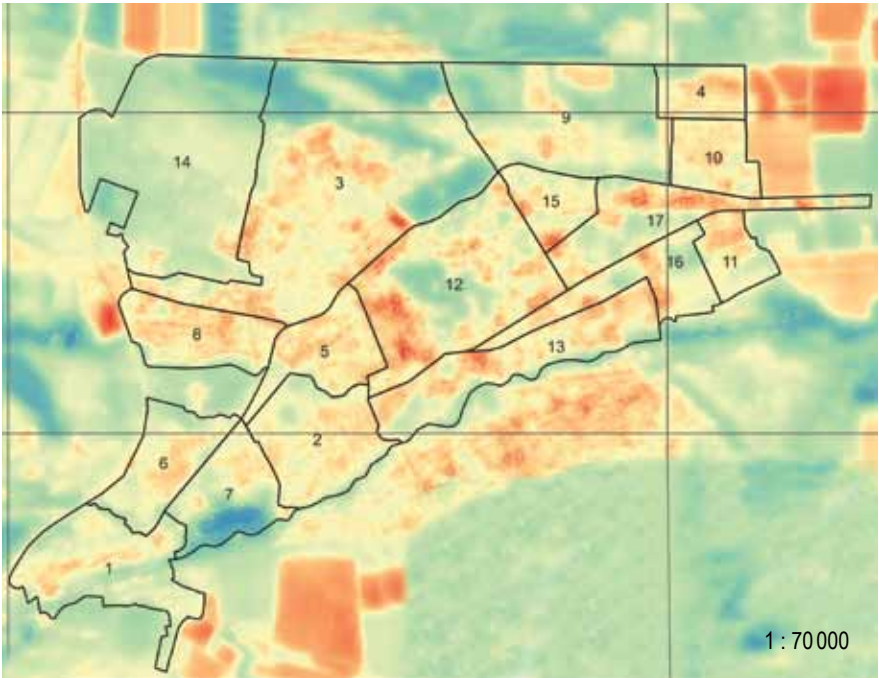
составлено авторами / Source: compiled by the authors.

рии отмечаются в микрорайоне Курортный, вблизи центра города и рекреационной зоной Курортного парка; в микрорайоне 1 МРН, неподалёку от выезда из города, что связано с большой транспортной нагрузкой; в микрорайоне Заполотно, около рекреационной зоны Парка Победы. В 2018 году ещё не начата застройка микрорайонов Озеро, где расположен локальный «остров прохлады» города, Северный, Восточный и Дачи, ввиду их окраинного территориального размещения. Данные тенденции по показателям температур поверхности земли хорошо прослеживаются на картографическом материале, визуализируются значительные площади с температурой 35–40 °С (рис. 3).

В июле 2022 году увеличиваются темпы прироста средней температуры поверхности земли города (+2,4 °С). Происходит повышение температуры с 34,7 °С (2014 г.) до 37,1 °С. Сохраняется тенденция усиления городского острова тепла. В данный год, его летний период, отмечается увеличение площадей с температурами от 40 °С до 45 °С и с резким уменьшением площадей с поверхностной температурой 30 °С и ниже (рис. 4).

Тепловые аномалии («проблемные» зоны) наблюдаются вкраплениями в микрорайонах Южный, Озеро, Прибрежный, Заполотно, Северный, 4 МРН, Бештаугорец, а также почти вся территория микрорайона Восточный. Существенно увеличилась температура в микрорайоне Дачи, в северной её части, т.к. на данной территории произведена распашка, отведенная впоследствии под строительство. Увеличение температуры связано с отсутствием в микрорайонах рекреационных зон, застройкой новых микрорайонов (Северный, Бештаугорец и Восточный), новым типом планировки территории, который подразумевает низкое количество зеленых насаждений и высокую плотность застройки, а также с интенсивным развитием инфраструктуры.

При сопоставлении данных по показателю средней температуры поверхности земли города за три исследуемых года выявляется положительная траектория: +1,9 (с 2014 по 2018 гг.), +2,4 (с 2018 по 2022 гг.). Общий показатель увеличения температура поверхности земли за восьмилетний период составил 4,3°С (рис. 5).

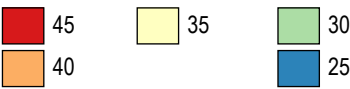


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Микрорайоны

- | | | |
|----------------|---------------|----------------|
| 1. Белый Уголь | 7. Озеро | 13. Прибрежный |
| 2. Пятая Школа | 8. Кирпичный | 14. Дачи |
| 3. Заполотно | 9. Северный | 15. 2 МРН |
| 4. Бештаугорец | 10. Опытник | 16. 4 МРН |
| 5. Ветеран | 11. Восточный | 17. 1 МРН |
| 6. Южный | 12. Курортный | |

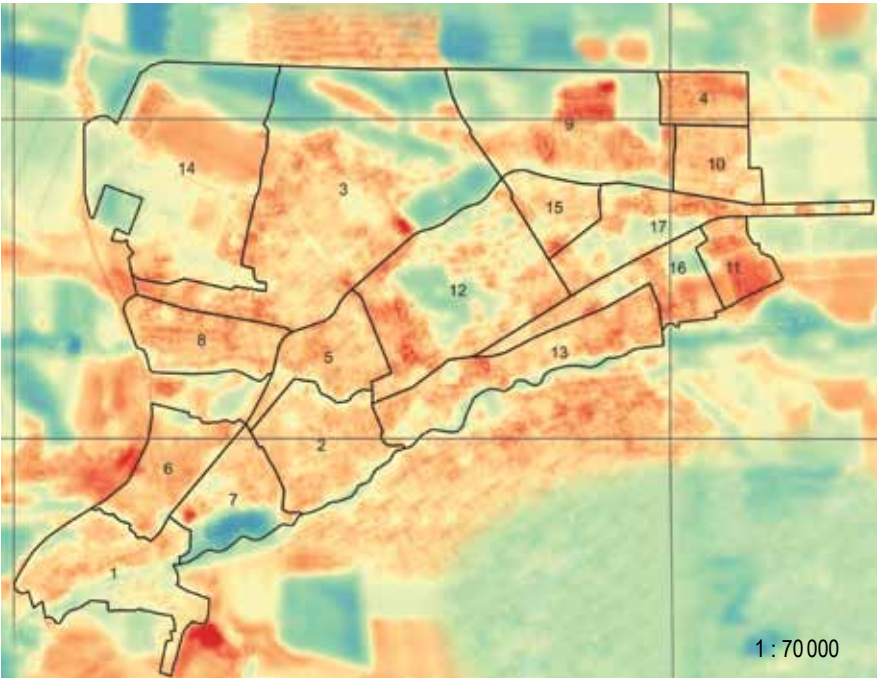
Температура в °С



Спутники

Landsat 8 27 июня 2018 г.
 Landsat 8 29 июля 2018 г.
 Landsat 8 14 августа 2018 г.

Рис. 3. Температура поверхности земли г. Ессентуки (лето, 2018 г.) (°С).
 Fig. 3. The temperature of the ground surface in Essentuki (summer, 2018) (°C).
 Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

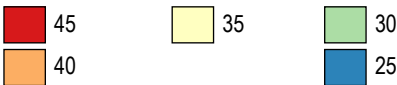


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Микрорайоны

- | | | |
|----------------|---------------|----------------|
| 1. Белый Уголь | 7. Озеро | 13. Прибрежный |
| 2. Пятая Школа | 8. Кирпичный | 14. Дачи |
| 3. Заполотно | 9. Северный | 15. 2 МРН |
| 4. Бештаугорец | 10. Опытник | 16. 4 МРН |
| 5. Ветеран | 11. Восточный | 17. 1 МРН |
| 6. Южный | 12. Курортный | |

Температура в °С



Спутники

Landsat 8 7 июля 2022 г.
 Landsat 9 8 июля 2022 г.
 Landsat 8 31 августа 2022 г.

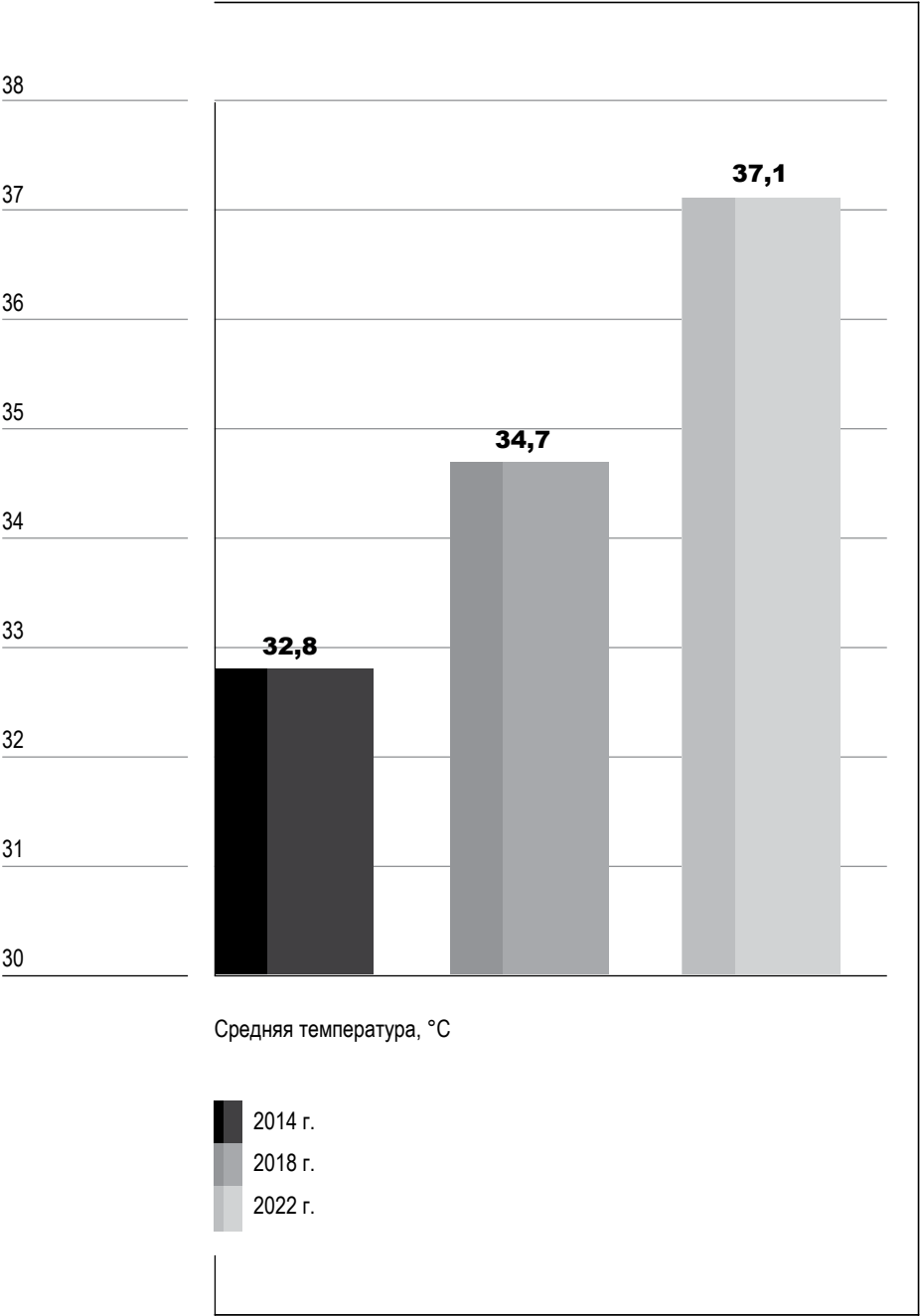
Рис. 4.

Температура поверхности земли г. Ессентуки (лето, 2022 г.) (°С).

Fig. 4. The temperature of the ground surface in Essentuki (summer, 2022) (°C).

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.



**Рис. 5. Средняя температура поверхности земли города
Ессентуки за исследуемый летний период 2014 г., 2018 г.,
2022 г. (°C).**

Fig. 5. The average temperature of the ground surface of the city
of Essentuki for the studied summer period 2014, 2018, 2022 (°C).
Источники: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Для подтверждения данных исследования, по аналогичным датам, проведены расчеты температурного фона, с вычислением среднего значения температуры воздуха в исследуемые периоды. Температура воздуха исследуемых дат в 2014 составляла 26,17 °С, в 2018 – 29,83 °С и в 2022 – 26,83 °С, соответственно с 2014 по 2018 изменение составило +3,66 °С; а с 2018 по 2022 – снижение на 3 °С.

Прямая корреляционная зависимость в показателях температура воздуха (по данным метеостанции) [11] и температура поверхности земли не выявлена, т. е. что свидетельствует о том, что усиление острова тепла за 8 лет связано во многом именно с результатом градостроительной практики, а не фоновыми колебаниями температуры.

В пределах города Ессентуки на пространственно-временную динамику локальных тепловых аномалий первостепенное влияние оказывает особенность использования городских земель. Прослеживается взаимосвязь селитебных, рекреационных и промышленных функциональных зон города с интенсивностью теплового излучения. Изменения тепловой нагрузки в городской среде в отдельных кварталах, микрорайонах связано с активной застройкой, а также наблюдаться связь мощности растительного покрова и интенсивности теплового излучения.

Максимальное повышение температуры за восьмилетний период характерно для микрорайонов Южный, Озеро, Восточный, Пятая Школа, Белый Уголь и Дачи (8,6 °С; 8,6 °С; 7,6 °С; 6,4 °С; 6,3 °С, соответственно). Минимальный прирост температур свойственен для микрорайонов Опытник, 2 МРН и Северный (2 °С; 2,1 °С; 2,1 °С, соответственно). Это связано с высокой долей озеленённости, расположением рекреационных территорий вблизи или на территории микрорайонов, а также грамотной территориальной планировкой (табл. 1).

В 2014 и 2018 годах микрорайонов, не имеющих превышение температуры поверхности земли, в сравнении со средним значением по городу отмечено в количестве 6.

В 2022 году в 8 из 17 микрорайонах температурный показатель не превышает среднее значение по городу. Показатель температуры по отдельным микрорайонам ниже на 0,1–1,5 °С. Остальные

Таблица 1. СРЕДНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ГОРОДА
ЕССЕНТУКИ ЗА 2014, 2018, 2022 ГОДЫ (ИССЛЕДУЕМЫЙ ЛЕТНИЙ
ПЕРИОД) (°С)
Table 1. Average temperatures of the earth's surface of the city of
Essentuki for 2014, 2018, 2022 (summer period under study) (°C)

№	Название микрорайонов города	Средняя температура поверхности, °С		
		2014 г.	2018 г.	2022 г.
1	Белый Уголь	30,0	33,9	36,3
2	Пятая Школа	31,2	35,5	37,6
3	Заполотно	33,3	34,7	36,7
4	Бештаугорец	35,6	35,9	39,4
5	Ветеран	34,7	36,2	38,1
6	Южный	29,6	34,5	38,2
7	Озеро	27,6	33,4	36,2
8	Кирпичный	35,1	36,3	38,4
9	Северный	34,0	33,3	36,1
10	Опытник	35,9	35,9	37,9
11	Восточный	32,6	35,5	40,2
12	Курортный	34,1	35,6	36,6
13	Прибрежный	34,4	35,9	37,8
14	Дачи	29,6	32,6	35,6
15	2 МРН	34,9	35,3	37,0
16	4 МРН	33,9	35,3	37,8
17	1 МРН	35,0	35,5	36,7
	Среднее значение	32,8	34,7	37,1

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

9 микрорайонов имеют температуру поверхности земли выше среднего значения (превышение в диапазоне от 0,5 до 3,1 °С).

Наиболее интенсивные темпы увеличения температуры поверхности земли характерны для окраинных микрорайонов, расположенных в основном в южной части города. Это связано в первую очередь с застройкой, формированием новых микрорайонов. Минимальные изменения характерны для районов, простирающихся на северо-востоке города, строительство на данных территориях ведется не интенсивно, или вовсе отсутствует. Для вышеуказанных районов характерен высокий коэффициент по озелененности и низкий коэффициент застроенности (рис. 6).

В границах городской территории заложено три профиля (рис. 7), отражающих пространственную изменчивость температуры поверхности земли с несколькими ядрами острова тепла.

На профилях 1, 2, 3 (рис. 8–10) синим фоном выделены районы со значительными превышениями температур поверхности за восьмилетний период; зеленый фон – незначительные превышения температуры поверхности за восьмилетний период; красный фон – температурные аномалии (острова тепла).

На профиле 1 резкий скачок температуры обусловлен застройкой северной части микрорайона Дачи новым жилым комплексом, а также плотной застройкой частными жилыми домами микрорайон Восточный. Профиль 1 удостоверяет средостабилизирующую роль зеленых насаждений. Центральная часть города с рекреационной зоной и развитой зеленой инфраструктурой имеет параболическую форму, на графике с низкими значениями температуры поверхности земли. На современном этапе (2022 г.) визуализируется плотная застройка в микрорайонах Заполотно и 2 МРН, с существенным всплеском температурных показателей в сравнении с 2014, 2018 гг. (рис. 8).

График по линии профиля 2 подчеркивает важность озеленённых и незастроенных окраинных территорий, выполняющих экологические функции для урбанизированной территории. На профиле 2 происходит застройка в микрорайонах Озеро, Пятая Школа и Северный. Микрорайоны – Белый Уголь, Озеро и Северный (рис. 9) имеют рост температурных показателей, в сравнении с дру-

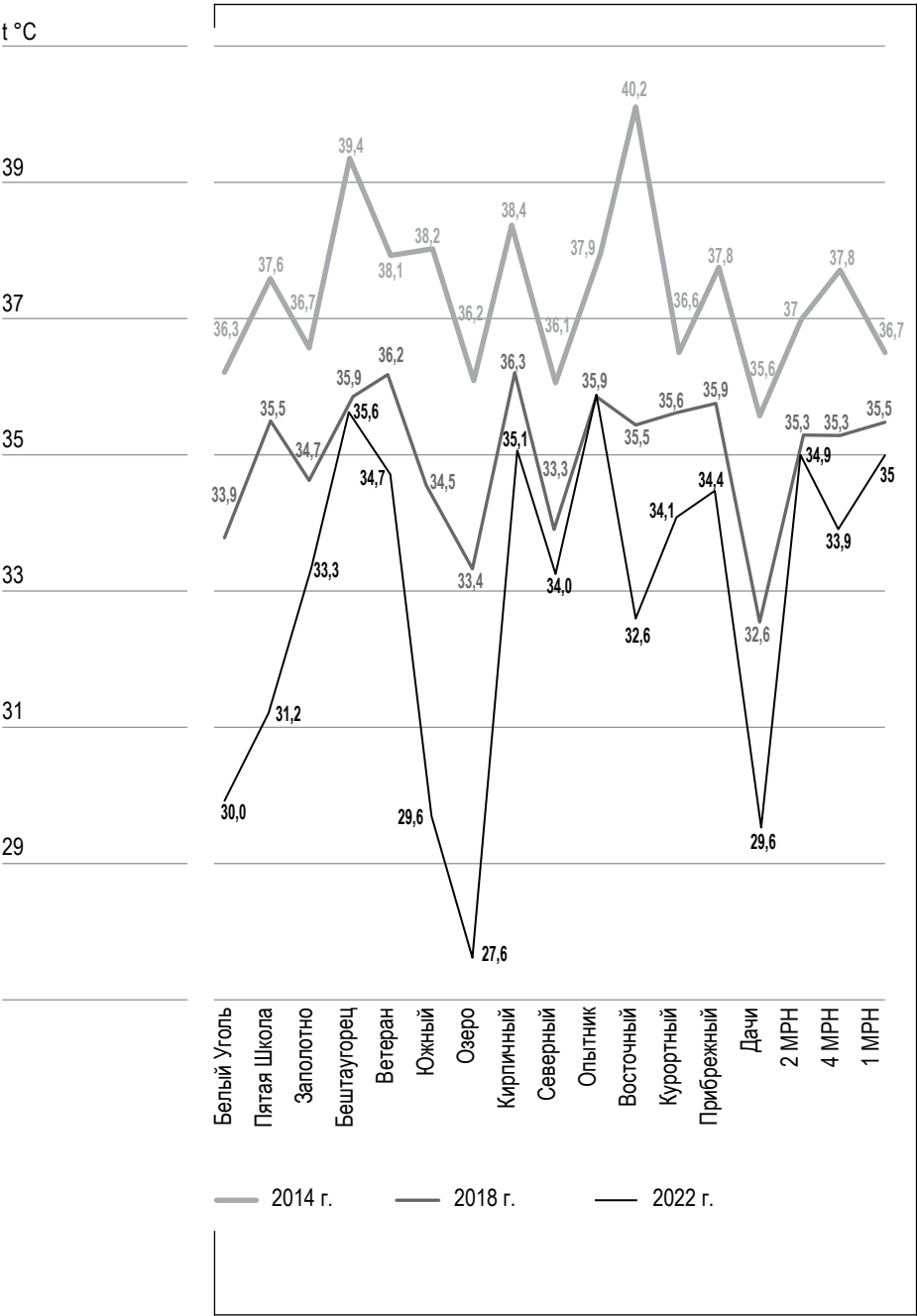
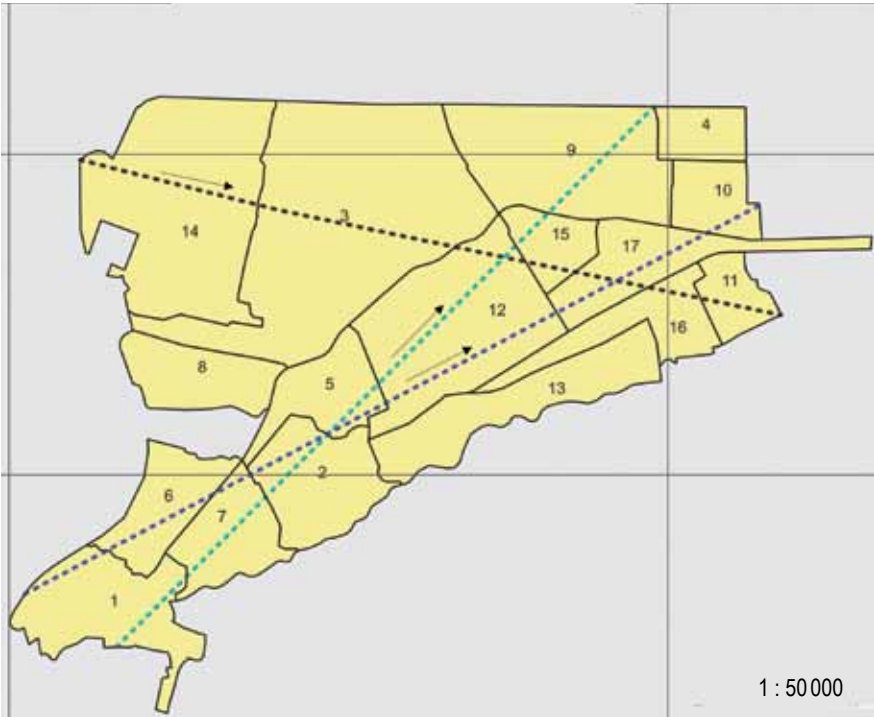


Рис. 6. Средняя температура поверхности земли микрорайонов города Ессентуки за период 2014 г., 2018 г., 2022 г. (°C).

Fig. 6. Average ground surface temperature of the residential districts of the city of Essentuki for the period 2014, 2018, 2022 (°C).

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Микрорайоны

- | | |
|----------------|----------------|
| 1. Белый Уголь | 10. Опытник |
| 2. Пятая Школа | 11. Восточный |
| 3. Заполотно | 12. Курортный |
| 4. Бештаугорец | 13. Прибрежный |
| 5. Ветеран | 14. Дачи |
| 6. Южный | 15. 2 МРН |
| 7. Озеро | 16. 4 МРН |
| 8. Кирпичный | 17. 1 МРН |
| 9. Северный | |

- 1
--- 2
--- 3

Рис. 7.

Профильные линии в границах города Ессентуки.

Fig. 7. Profile lines within the boundaries of the city of Essentuki.

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

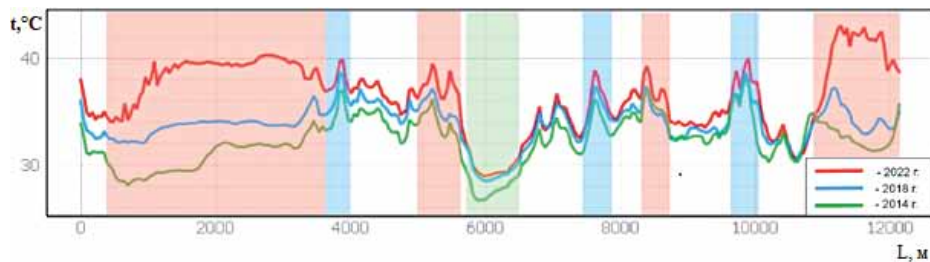


Рис. 8. График по линии профиля № 1 ($^\circ\text{C}$).

Fig. 8. Graph along profile line No. 1 ($^\circ\text{C}$).

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

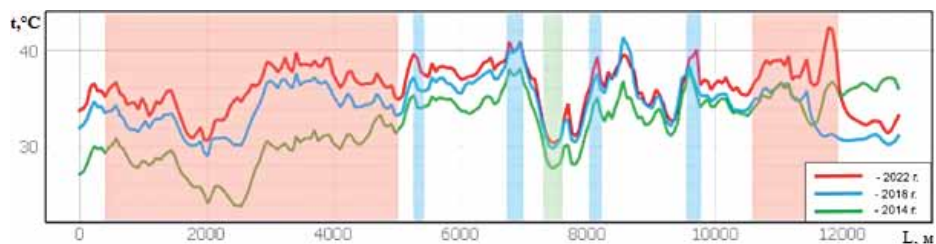


Рис. 9. График по линии профиля № 2 ($^\circ\text{C}$).

Fig. 9. Graph along profile line No. 2 ($^\circ\text{C}$).

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

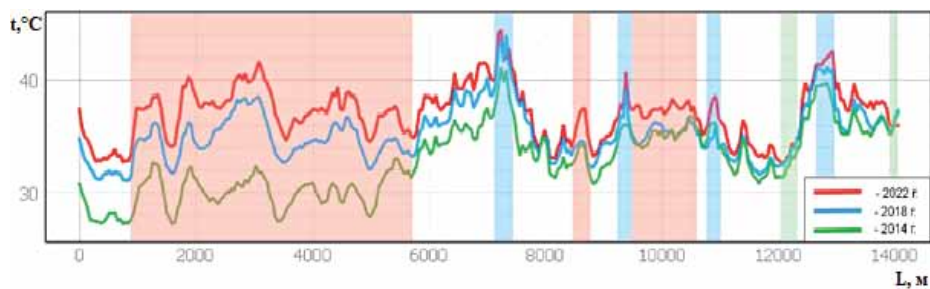


Рис. 10. График по линии профиля № 3 ($^\circ\text{C}$).

Fig. 10. Graph along profile line No. 3 ($^\circ\text{C}$).

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

гими районами по линии профиля. Территориальное планирование должно строиться с учетом закладки пригородного зеленого кольца, т. к. окраинные территории должны сохранять свой средостабилизирующий статус, и их активная застройка нежелательна (рис. 9). Острова тепла наблюдаются в микрорайонах Озеро, Пятая школа, Ветеран и 2 МРН. Низкие температурные показатели наблюдаются в рекреационной части микрорайона Курортный.

Профильная линия 3 отображает более равномерное увеличение температуры поверхности земли на протяжении каждого микрорайона по пути трансекты. На профиле 3 резкий скачок температуры наблюдается в микрорайоне Южный, Озеро, Пятая Школа, и в конце линии профиля в 1 МРН. Все эти микрорайоны за исключением 1 МРН имеют частную жилую застройку. На графике четко отобразилось формирование в городе нескольких островов тепла, сформированных в различных микрорайонах – Курортный и 1 МРН (рис. 10). Значительные повышения температуры поверхности за восьмилетний период наблюдаются в 6 микрорайонах: Белый Уголь, Южный, Озеро, Пятая Школа, Ветеран и Курортный (рис. 10). Низкие показатели, а именно снижение температуры подстилающей поверхности, наблюдаются в микрорайоне Опытник (рис. 10).

С целью подтверждения, на примере города Ессентуки, связи неравномерных показателей поверхностной температуры и формирования в городской среде тепловых аномалий с соотношением застроенных, свободных от застройки и занятых растительным покровом, территорий с использованием ГИС-технологий, были рассчитаны и проанализированы показатели озеленённости, градостроительной нагрузки и свободных территорий.

За исследуемый восьмилетний период город претерпел существенные преобразования, зафиксировано площадное изменение города и показатель общей озелененности.

Площадь города [10] Ессентуки за период с 2014 по 2022 год изменилась на 1,35 км² (табл. 2). Связано это со строительством новых жилых районов в окраинных частях города, особенно в северном и восточном направлениях. Изменения характерны и для такого показателя среды города как озелененность, в период с 2014 по 2018 годы отмечается незначительное увеличение (менее чем на 1 км²),

Таблица 2. ПЛОЩАДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОРОДА ЕССЕНТУКИ 2014 г., 2018 г., 2022 г. (км²)
Table 2. Areal indicators of the city of Essentuki 2014, 2018, 2022 (km²)

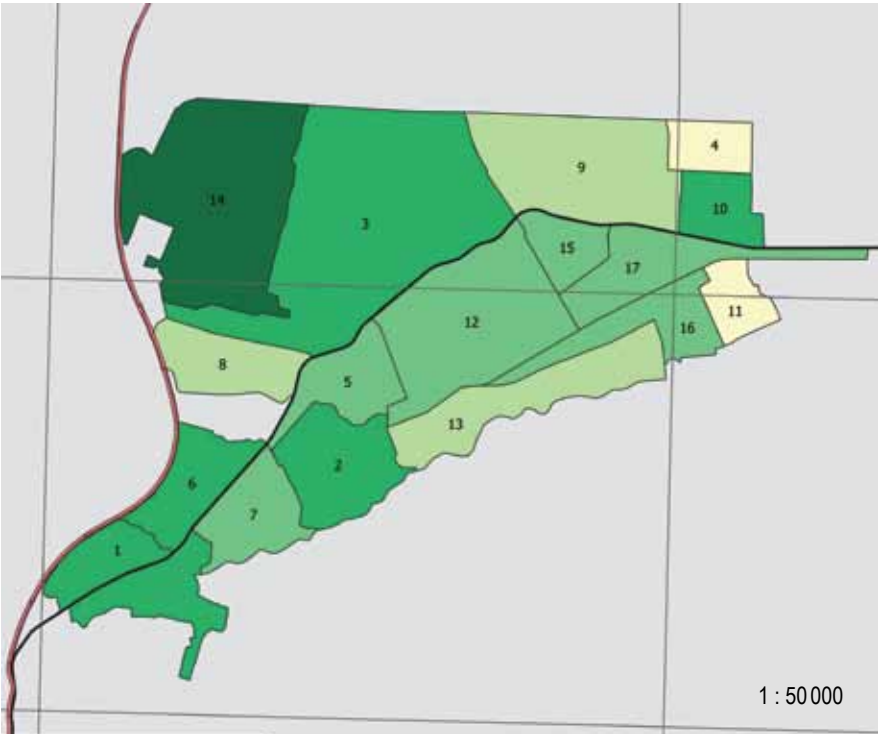
Годы Показатели	2014	2018	2022
Площадь города, км ²	49,73	51,05	51,05

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

тогда как в период с 2018 по 2022 годы площадь озеленённой территории возросла на 15,5 км², что объясняется преобразованием незастроенных земель в микрорайонах Заполотно и Озеро в новые скверы («Пограничный сквер» в микрорайоне Заполотно, «Приозерный сквер» в микрорайоне Озеро), а также постройкой новых жилых комплексов «Левобережный», «Прибрежный» и «Озерный», которые относятся к новому типу застройки с высокой площадью засаженных древесных и кустарниковых насаждений, низкой незанятой территорией и многоэтажными квартирными домами.

Также необходимо отметить значительную территорию, на которой была высажена древесная растительность в старых микрорайонах города, таких как Заполотно и Золотушка, и в новых Северный, Опытник и Бештаугорец, дабы увеличить долю зеленых насаждений, приходящуюся на человека. В данный момент показатель нормы площади озеленённости в городе Ессентуки составляет 213,54 м²/чел., тогда как норма площади озеленённости городов, установленная Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) [12] составляет 50 м²/чел.

Проведенные расчеты, показывают, что по $K_{\text{озел}}$ самые высокие (благоприятные) показатели в микрорайонах Дачи, Опытник, Заполотно, Пятая Школа, Южный и Белый Уголь, где показатели озеленённости более 70 % территории; самые низкие показатели в микрорайонах Восточный и Бештаугорец, где показатели меньше 50 % (рис. 11) [13].



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Микрорайоны

- | | | | |
|----------------|--------------|----------------|-----------|
| 1. Белый Уголь | 6. Южный | 11. Восточный | 16. 4 МРН |
| 2. Пятая Школа | 7. Озеро | 12. Курортный | 17. 1 МРН |
| 3. Заполотно | 8. Кирпичный | 13. Прибрежный | |
| 4. Бештаугорец | 9. Северный | 14. Дачи | |
| 5. Ветеран | 10. Опытник | 15. 2 МРН | |

Озелененность в %

- | | | |
|------------|-------|----------|
| 80 и более | 60–70 | менее 50 |
| 70–80 | 50–60 | |

Дорога

- железная — автомобильная

Спутник Sentinel – 2B

Рис. 11.

Доля озеленённости микрорайонов города Ессентуки (%).

Fig. 11. The share of landscaping of microdistricts of the city of Essentuki (%).

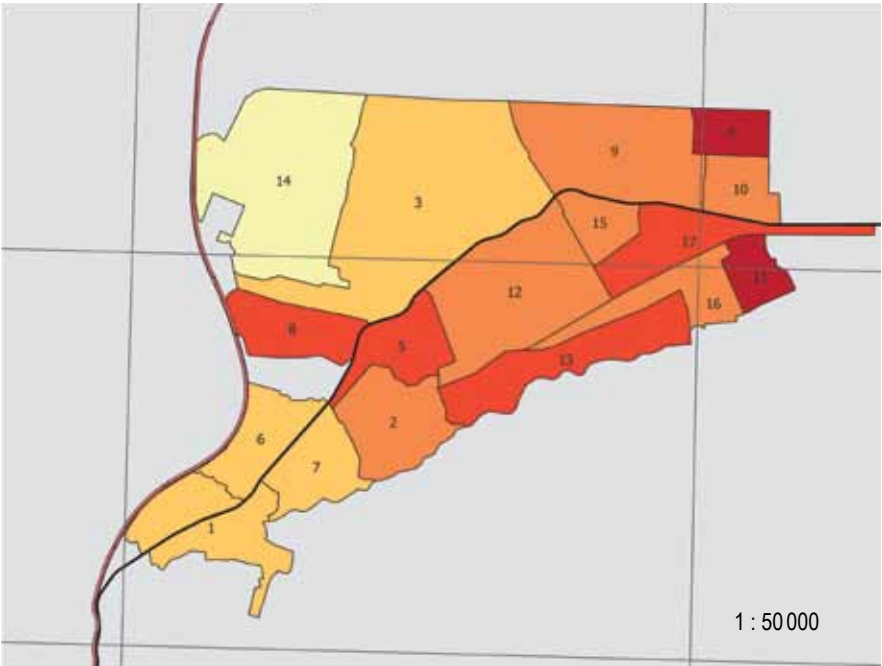
Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Расчеты показывают, что по $K_{\text{град}}$ самые высокие и неблагоприятные показатели в микрорайонах Восточный, Бештаугорец, 1 МРН, Прибрежный, Ветеран и Кирпичный, где показатель застройки территории более 30 %; самые низкие и наилучшие показатели в микрорайонах Дачи, Белый Уголь, Южный, Озеро и Заполотно, где показатель менее 20 % (рис. 12).

Анализ $K_{\text{своб}}$ выявляет самые высокие показатели в микрорайонах Восточный, Северный, Опытник, Прибрежный, Кирпичный и Южный, где более 5 % свободно; самые низкие показатели – в микрорайонах Озеро, Пятая Школа и Заполотно, где менее 2 % свободной территории (рис. 13) [14].

Исследование пространственно-временной динамики температуры земной поверхности в городе Ессентуки подтверждает научные факты о прямопропорциональной зависимости: повышение температуры от степени застроенности кварталов, а также взаимосвязь возникновения островов тепла со временем застройки отдельных микрорайонов. Активная застройка не всегда является отрицательным фактором. В микрорайоне Северный активная застройка с грамотой планировкой и озеленённой территорией даёт низкий показатель повышения температуры поверхности, нежели чем в других районах, таких как Озеро, где при активной застройке температура поверхности поднялась на 8,6 градуса за 8 лет. Температура поверхности земли в микрорайоне Северный увеличилась на 2,1°C, в Опытнике с 2014 года – на 2°C, что является низким показателем по сравнению с остальными микрорайонами, ввиду грамотной планировки и наличия озелененных территорий. В микрорайоне Бештаугорец с начала застройки в 2015 году температура подстилающей поверхности увеличилась на 3,8 °C. Также, как и в микрорайоне Заполотно, в Прибрежном температура изменилась на 3,4 °C. В Микрорайоне Озеро при активной застройке с нерациональной планировочной структурой и отсутствию озеленённых территорий температура подстилающей поверхности изменилась на 8,6 °C, что является высоким (неблагоприятным) показателем по сравнению с другими микрорайонами и средним показателем, что свидетельствует о несбалансированности территорий по показателям градостроительных нагрузок и озелененности.



Условные обозначения:

Микрорайоны

- | | | | |
|----------------|--------------|----------------|-----------|
| 1. Белый Уголь | 6. Южный | 11. Восточный | 16. 4 МРН |
| 2. Пятая Школа | 7. Озеро | 12. Курортный | 17. 1 МРН |
| 3. Заполотно | 8. Кирпичный | 13. Прибрежный | |
| 4. Бештаугорец | 9. Северный | 14. Дачи | |
| 5. Ветеран | 10. Опытник | 15. 2 МРН | |

Градостроительная нагрузка в %

- | | | |
|----------|-------|----------|
| более 40 | 20–30 | менее 10 |
| 30–40 | 10–20 | |

Дорога

- железная автомобильная

Рис. 12.

Доля застройки микрорайонов города Ессентуки (%).

Fig. 12. The share of development of microdistricts of the city of Essentuki (%).

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Микрорайоны

- | | | | |
|----------------|--------------|----------------|-----------|
| 1. Белый Уголь | 6. Южный | 11. Восточный | 16. 4 МРН |
| 2. Пятая Школа | 7. Озеро | 12. Курортный | 17. 1 МРН |
| 3. Заполотно | 8. Кирпичный | 13. Прибрежный | |
| 4. Бештаугорец | 9. Северный | 14. Дачи | |
| 5. Ветеран | 10. Опытник | 15. 2 МРН | |

Градостроительная нагрузка в %

- | | | |
|----------|-----|---------|
| более 10 | 3–5 | менее 2 |
| 5–10 | 2–3 | |

Дорога

- железная — автомобильная

Рис. 13.

Доля свободной территории микрорайонов города
Ессентуки (%).

Fig. 13. The share of the free territory of the microdistricts of the city
of Essentuki (%).

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Заключение

Подобные исследования дают многостороннюю оценку такого явления как «остров тепла» и вносят существенный вклад в исследования климата города и воздействия процессов урбанизации на среду, позволяя контролировать микроклимат городских районов, выявлять направление и динамику изменений, существующих в городской среде.

Проведенное исследование позволило установить пространственные особенности распределения тепловых аномалий, связанных с активной застройкой микрорайонов города в определенные временные интервалы. Результаты анализа данных дистанционного зондирования показали наиболее тёплые участки в пределах городской территории, основные «проблемные» кварталы/микрорайоны, а также динамику тепловых аномалий.

Факторами, влияющими на пространственно-временное распределение теплового загрязнения среды г. Ессентуки, являются площадные соотношения таких градостроительных показателей, как озелененность микрорайонов и их застроенность.

Отчетливо прослеживается связь того, что при активной застройке микрорайонов города на данных территориях наблюдается тенденция к повышению температуры поверхности земли и формированию островов тепла.

- 2014 год – микрорайоны Прибрежный.
- 2018 год – микрорайоны Курортный, 1 МРН, Заполотно.
- 2022 год – микрорайоны Южный, Озеро, Прибрежный, Заполотно, Северный, 4 МРН, Бештаугорец, а также Восточный и Дачи.

Максимальное повышение температуры за восьмилетний период характерно для микрорайонов: Южный, Озеро, Восточный, Пятая Школа, Белый Уголь и Дачи (8,6 °С, 8,6 °С, 7,6 °С, 6,4 °С, 6,3 °С, соответственно).

Проведенные расчеты $K_{\text{озел}}$, $K_{\text{град}}$ и $K_{\text{своб}}$ подтверждают зависимость пространственного распределения температурных показателей от степени сбалансированности градостроительной системы. Среднее значение процентного соотношения площадей зон микрорайонов к площадям озеленённых территорий составляет

70,5 %; свободных территорий – 5,1 %, а с градостроительной нагрузкой – 24,2 %.

Общий показатель увеличения температура поверхности земли в пределах города за восьмилетний период составил 4,3 °С.

Исследование подтверждает важность сохранения и расширения площади зеленых насаждений для снижения температуры земной поверхности и формирования благоприятного микроклимата города. Благодаря процессу транспирации зеленые насаждения способствуют снижению негативного воздействия теплового загрязнения.

Проведённые расчёты по сравнительному анализу площадей застроенных территорий и зеленой инфраструктуры позволили провести комплексную оценку, направленную на выработку эффективных мероприятий по повышению уровня человеческого комфорта городской среды. При планировке города необходимо учитывать результаты исследования с целью скомпенсировать воздействие городского острова тепла. Первостепенная задача заключается в передаче знаний о городском климате в повседневную практику городского планирования и проектирования.

Список источников

1. Knight S., Smith C., Roberts M. Mapping Manchester's urban heat island // WEATHER. 2010. No. 65 (7). P. 188–193.
2. Скрипчинская Е. А., Тасенко Д. С. Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли // Проблемы устойчивого развития территорий: сборник трудов II Международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию Северо-Кавказского федерального университета (Ставрополь, 09–10 декабря 2021 года). Ставрополь: Бюро новостей, 2021. С. 425–433.
3. Геопортал Earth Explorer Геологической службы США [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 24.02.2022).
4. Волчек А. А., Мешик О. П., Мешик А. О. Тепловое загрязнение урбанизированных территорий (на примере города Бреста) // Природообустройство Полесья. Рязань:

- Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2019. С. 93–98.
5. Оленьков В. Д., Бирюков А. Д., Сухоруков В. А. Использование данных дистанционного зондирования земли для построения карты городского острова тепла // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году: сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. Москва, 2020. С. 286–294.
 6. Landsat 8 [Электронный ресурс]. URL: <https://innoter.com/sputniki/landsat-8> (дата обращения: 20.02.2022).
 7. Климанова О. А., Колбовский Е. Ю., Илларионова О. А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 2. С. 127–146.
 8. Пасхина М. В. Выявление, типология и оценка городских морфотипов (на примере г. Ярославля) // Ярославский педагогический вестник. Естественные науки. 2012. № 4. Т. III. С. 245–250.
 9. Варламова Е. В., Соловьев В. С. Влияние глобального потепления на пространственно-временные тренды индекса NDVI растительности Восточной Сибири // Международная конференция по изменениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды. Якутск, 2018. С. 259–261.
 10. Администрация города Ессентуки [Электронный ресурс]. URL: <https://essentuki.gosuslugi.ru/> (дата обращения: 12.09.2023).
 11. Ставропольский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: <http://stavpogoda.ru/> (дата обращения: 12.09.2023).
 12. Всемирная Организация Здравоохранения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/ru> (дата обращения: 12.09.2023).
 13. Тасенко Д. С., Скрипчинская Е. А., Водопьянова Д. С., Нефедова М. В. Озелененность, градостроительная на-

- грузка и свободная территория как ведущие показатели современного состояния городской среды в предгорном районе Ставропольского края (на примере г. Ессентуки) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2022. Т. 16. № 4. С. 100–106. <http://doi.org/10.31161/1995-0675-2022-16-4-100-106>
14. Тасенко Д. С. Интегральная оценка состояния городской среды в пределах микрорайонов г. Ессентуки // Сборник материалов участников XIX Большого географического фестиваля, посвящённого 220-летию со дня начала первой русской кругосветной экспедиции под руководством И. Ф. Крузенштерна и Ю. Ф. Лисянского (1803-1806 гг.). Санкт-Петербург: Свое издательство, 2023. с. 424–429.
 15. Балдина Е. А., Константинов П. И., Грищенко М. Ю., Варенцов М. И. Исследование городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном диапазоне // Земля из космоса. 2015. № 5. С. 38–42.
 16. Ван Дер Хувен Ф., Вандл А. Создание карты городского острова тепла // Проект Байкал. 2015. Т. 12. № 45. С. 138–145.
 17. Basara J., Basara H., Illston B., Crawford K. The impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City. *Advances in Meteorology*. 2010. P. 1–10.
 18. Buyantuyev A., Wu J. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*. 2010. No. 25. P. 17–33.
 19. Алексашина В. В., Ле Минь Туан. Влияние эффекта острова тепла на экологию мегаполиса // Проблемы региональной экологии. 2018. № 5. С. 36–40.
 20. Medvedkov A., Vysotskaya A., Olchev A. Detection of Geocryological Conditions in Boreal Landscapes of the Southern Cryolithozone Using Thermal Infrared Remote Sensing Data: A Case Study of the Northern Part of the Yenisei Ridge // *Remote Sensing*. 2023. No. 15 (2), 291. С. 1–16.
 21. Спорышев П. В., Катцов В. М. Пространственно-временные особенности глобального потепления // Доклады Академии наук. 2006. Т. 410. № 4. С. 532–537.
 22. Gorshkov A. S., Vatin N. I., Rymkevich P. P. Climate change

- and the thermal island effect in the million-plus city // Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. Vol. 89. No. 8902. P. 1–41. <http://doi.org/10.18720/CUBS.89.2>
23. Parsaee M., Joybari M. M., Mirzaei P. A., Haghghat F. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans // Environmental Technology & Innovation. 2019. Vol. 14. P. 1–16. <http://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100341>

References

1. Knight S, Smith C, Roberts M. Mapping Manchester's urban heat island. WEATHER. 2010;7:188-193.
2. Skripchinskaya EA, Tsenko DS. Innovative technologies in the oil and gas industry. In Problems of sustainable development of territories: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference dedicated to the 10th anniversary of the North-Caucasus Federal University, Stavropol, December 09-10, 2021. Stavropol: "Bureau of News"; 2021;425-433. (In Russ.).
3. Geoportal Earth Explorer of the US Geological Survey. Available from: <https://earthexplorer.usgs.gov> [Accessed 24 February 2022].
4. Volchek AA, Meshik OP, Meshik AO. Thermal pollution of urbanized territories (on the example of the city of Brest). Nature management of Polesie. Ryazan: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova; 2019. P. 93-98. (In Russ.).
5. Olenkov VD, Biryukov AD, Sukhorukov VA. Using Earth remote sensing data to build a map of an urban heat island. Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2019. Collection of scientific papers of the Russian Academy of Sciences. The Russian Academy of Architecture and Building Sciences. Moscow; 2020. P. 286-294. (In Russ.).
6. Landsat 8. Available from: <https://innoter.com/sputniki/landsat-8> [Accessed 20 February 2022]
7. Klimanova OA, Kolbovsky EYu, Illarionova OA. The ecological framework of the largest cities of the Russian

- Federation: modern structure, territorial planning and development problems. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* = Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences. 2018;2:127-146. (In Russ.).
8. Pashkina MV. Identification, typology and assessment of urban morphotypes (on the example of Yaroslavl). *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*. 2012;4:245-250. (In Russ.).
 9. Varlamova EV, Solovyov VS. The influence of global warming on the spatial and temporal trends of the NDVI vegetation index of Eastern Siberia. In International Conference on Measurements, Modeling and Information Systems for Environmental Studies. Yakutsk; 2018:259-261. (In Russ.).
 10. Essentuki City Administration. Available from: <https://essentuki.gosuslugi.ru/> [Accessed 12 September 2023]. (In Russ.).
 11. Stavropol Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Available from: <http://stavpogoda.ru/> [Accessed 12 September 2023]. (In Russ.).
 12. World Health Organization. Available from: <https://www.who.int/ru> [Accessed 12 September 2023]. (In Russ.).
 13. Tsenko DS, Skripchinskaya EA, Vodopyanova DS, Nefedova MV. Landscaping, Urban Planning Load and Free Territory as Leading Indicators of the Current State of the Urban Environment in the Foothill Area of the Stavropol Territory (on the Example of Essentuki). *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*. 2022;4:100-106. <http://doi.org/10.31161/1995-0675-2022-16-4-100-106> (In Russ.).
 14. Tsenko DS. Integral assessment of the state of the urban environment within the neighborhoods of Yessentuki. A collection of materials from participants of the XIX Great Geographical Festival dedicated to the 220th anniversary of the beginning of the first Russian circumnavigation expedition led by I. F. Kruzenshtern and Yu. F. Lisiansky (1803-1806). St. Petersburg: Svoe izdatelstvo; 2023:424-429. (In Russ.).
 15. Baldina EA., Konstantinov PI., Grishchenko MYu., Varentsov MI. The study of urban heat islands using remote sensing data in the infrared range. *Earth from space*. 2015;5:38-42. (In Russ.).
 16. Van Der Hoeven F, Vandal A. Creating a map of the urban heat island. *Proekt Bajkal* = The Baikal Project. 2015;45:138-145. (In Russ.).

17. Basara J, Basara H, Illston B, Crawford K. The impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City. *Advances in Meteorology*. 2010. P. 1-10. (In Russ.).
18. Buyantuyev A, Wu J. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*. 2010;25:17-33.
19. Aleksashina VV, Le Minh Tuan. The effect of the heat island effect on the ecology of the metropolis. *Regional environmental issues*. 2018;5:36-40. (In Russ.).
20. Medvedkov A, Vysotskaya A, Olchev A. Detection of Geocryological Conditions in Boreal Landscapes of the Southern Cryolithozone Using Thermal Infrared Remote Sensing Data: A Case Study of the Northern Part of the Yenisei Ridge. *Remote Sensing*. 2023;15(2)291:1-16.
21. Sporyshev PV, Kattsov VM. Spatial and temporal features of global warming. *Doklady Akademii nauk* = Reports of the Academy of Sciences. 2006;4:532-537. (In Russ.).
22. Gorshkov AS, Vatin NI, Rymkevich PP. Climate change and the thermal island effect in the million-plus city. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2020;89(8902):1-41. <http://doi.org/10.18720/CUBS.89.2>
23. Parsaei M, Joybari MM, Mirzaei PA, Haghighat F. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental Technology & Innovation*. 2019;14:1-16. <http://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100341>

Информация об авторах

Евгения Андреевна Скрипчинская – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и кадастров, высшая школа географии и геоинформатики Северо-Кавказского федерального университета, Researcher ID: JZE-5559-2024.

Дмитрий Сергеевич Тасенко – магистрант 2 года обучения кафедры физической географии и кадастров, высшая школа географии и геоинформатики Северо-Кавказского федерального университета, Researcher ID: GVU-6019-2022.

Михаил Борисович Каган – аспирант 1 года обучения кафедры экономической и социальной географии, институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Researcher ID: JYQ-4123-2024.

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Evgeniya A. Skripchinskaya – Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cadastre, Higher School of Geography and Geoinformatics, North-Caucasus Federal University, Researcher ID: JZE-5559-2024.

Dmitriy S. Tasenko – Master student, “Territorial planning and geomarketing” course, Department of Physical Geography and Cadastre, Higher School of Geography and Geoinformatics, North-Caucasus Federal University, Researcher ID: GVU-6019-2022.

Mikhail B. Kagan – PhD student, Department of Economic and Social Geography, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University. Researcher ID: JYQ-4123-2024.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.