

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Г.МИНСКА  
В ЛЕТНЕЕ И ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ ГОДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКА LANDSAT-8  
STUDY OF THERMAL POLLUTION IN MINSK  
IN SUMMER AND WINTER, ACCORDING TO LANDSAT-8 SATELLITE DATA**

***T. В. Шлендер<sup>1</sup>, Н. В. Жуковская<sup>2</sup>, Г. Д. Бурченко<sup>2</sup>, Е. А. Прокопчик<sup>2</sup>, Е. А. Чумаков<sup>2</sup>  
T. Schlender<sup>1</sup>, N. Zhukovskaya<sup>2</sup>, H. Burchanka<sup>2</sup>, Y. Prakopchyk<sup>2</sup>, E. Chumakov<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Национальный научно-исследовательский центр озоносферы БГУ*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет, Факультет географии и геоинформатики*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*timajaya@mail.ru*

*heorhiburchanka2001@gmail.com*

*ogurchikop7@gmail.com*

*zhenya.chumakov.02@mail.ru*

*zhukovskaya@bsu.by*

<sup>1</sup>*National Ozone Monitoring and Research Educational Center BSU*

<sup>2</sup>*Faculty of geography and geoinformatics BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В данной работе показано распределение температурного поля г. Минска, а также влияние городского острова тепла на тепловое загрязнение города по данным спутника Landsat - 8. Были определены области повышенного теплового загрязнения в городской черте, в частности, в областях с промышленными и зелеными зонами. Проведен также анализ температурного поля г. Минска по отношению к городской застройке, этажности. Сделан вывод о качественном и количественном влиянии городского острова тепла на различные районы г. Минска.

This paper shows the distribution of the temperature field in Minsk, as well as the influence of the urban heat island on the thermal pollution of the city according to the Landsat-8 satellite. Areas of high thermal pollution in urban areas have been identified, in particular in areas with industrial and green zones. The analysis of the temperature field of the city of Minsk in relation to urban development, number of storeys was also carried out. The conclusion is made about the qualitative and quantitative influence of the city heat island on various districts of Minsk.

*Ключевые слова:* городской остров тепла, температура земной поверхности, тепловое загрязнение, Landsat-8, городская геоэкология.

*Keywords:* urban heat island, earth surface temperature, thermal pollution, Landsat-8, urban geoeology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-379-382>

Феномен городского острова тепла (Urban heat island; УИ) заключается в значительном повышении температуры городской территории (по сравнению с сельской местностью). Первые исследования данного явления появились еще в 19 веке. На раннем этапе изучения УИ делался акцент на наземных метеорологических наблюдениях, уделяя особое внимание сравнительному анализу полученных данных [1,2]. Спутниковые методы позволяют детально и дифференцировано представить тепловое загрязнение и УИ городских территорий [3]. Рост урбанизации, загрязнения городского воздуха и увеличение промышленных зон в городской черте – одна из главных антропогенных причин УИ [4].

Феномен УИ оказывает негативное влияние на качество жизни местного населения (тепловой дискомфорт, летний тепловой шок и т.д.), поэтому исследования и анализ по данной проблеме важны для рационального городского планирования [5].

В исследовании [1] было показано, что городской остров тепла определяется как для внутригородского слоя (ВГС), так и для городского пограничного слоя (ГПС). ВГС включает измерения на месте и данные от датчиков, установленных на мобильных платформах (автомобили, велосипеды и т.п.). Другими словами ВГС – это воздух, который находится между городскими зданиями и прочими объектами городской застройки. На температуру воздуха в ВГС оказывает влияние окружающие объекты, их структура, материалы и геометрия. В случае ГПС слоя (выше ВГС), источниками данных являются метеозонды, самолеты, квадрокоптеры, спутники и т.п. Воздух в ВГС является частью атмосферных воздушных масс, характеристики которого изменяются при наличии городских территорий в нижней границе.

На данный момент, было определено, что эффект УИ лучше всего проявляется в теплую часть года, в то время как в дневном цикле наибольшая интенсивность УИ наблюдается ночью. Интенсивность УИ снижается

по мере увеличения облачности и роста скорости ветра, и является максимальной при антициклонических условиях [1].

Также существует четкая взаимосвязь между размером города и величиной УНІ, который линейно коррелирует с логарифмом численности населения. В крупных американских городах при благоприятных погодных условиях интенсивность УНІ может превышать 12°C, тогда как в европейских городах она часто достигает 10°C.

В настоящее время все больше и больше исследований пытаются охарактеризовать феномен УНІ с помощью данных дистанционного зондирования. В связи с этим в данной работе рассмотрена связь между городским островом тепла и функциональными зонами г. Минска по данным спутника Landsat-8. Это поможет объяснить наличие конкретных тепловых аномалий в различных районах города Минска.

В качестве данных распределения температуры земной поверхности использовались снимки спутника Landsat - 8. Обработка снимка производилась с помощью экспериментального модуля Landsat Surface Temperature (LST) в Quantum Geographic Information System ver.2 (QGIS). Данные были использованы с сайта EarthExplorer, где скачиваются все снимки спутников Landsat. Модуль Landsat Surface Temperature QGIS перед тем как получить поверхностную земную температуру рассчитывает показатели Радиации (Radiance), далее температурную яркость (Brightness Temperature), после индекс NDVI, далее через него определяется значение излучательной способности земной поверхности – Emissivity. После предварительных расчетов модуль позволяет внести атмосферные параметры или коррекцию по географическим координатам, атмосферному давлению, относительной влажности, высоте местности и приземной температуре. Итоговая расчетная формула LST производится следующим выражением:

$$LST = T_B / [1 + (\lambda * T_B / c_2) * \ln(e)],$$

где  $T_B$  – температурная яркость

$\lambda$  – длина волны излучения

$c_2 = h * c / s = 1.4388 * 10^{-2} \text{ m K}$

$h$  – Постоянная Планка =  $6.626 * 10^{-34} \text{ J s}$

$s$  – Постоянная Больцмана =  $1.38 * 10^{-23} \text{ J/K}$

$c$  – скорость света =  $2.998 * 10^8 \text{ m/s}$

$e$  – излучательная способность земной поверхности

Все расчеты производились по 10 каналу (Band) снимков спутника. Полученная карта LST далее редактировалась в QGIS, где выбирались цветовые заливки, рисовались необходимые слои и редактировалась итоговая карта. Разрешение карты - 30 метров в одном пикселе.

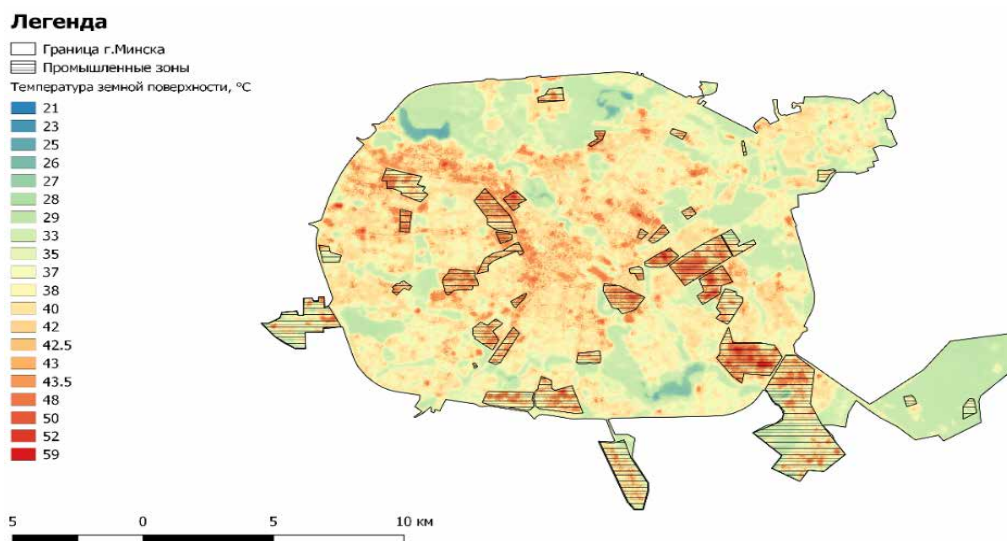
В качестве исходных данных для выделения промышленных зон был использован генеральный план г. Минска и векторные данные Open Street Maps (OSM) (граница г. Минска). Система координат проекта: WGS 84 / UTM Zone 35N.

Был проведен сравнительный анализ распределения температур земной поверхности различных районов г. Минска в зимнее и летнее время года. Для работы были выбраны снимки на 11 июня 2020 г. (9:00 UTC), а также 6 февраля 2021 г. (9:00 UTC), ввиду того, что снимки спутника Landsat-8 без облачности были доступны только в эти дни, где наблюдались антициклональные погодные условия и только в это время. По данным городских наземных автоматических метеостанций приземная температура воздуха на высоте 2 м в г. Минске на 11.06.2020 в 12 ч (местного времени) утра была около +30 °C, а 06.02.2021 в 12 ч (местного времени) утра – около -13°C.

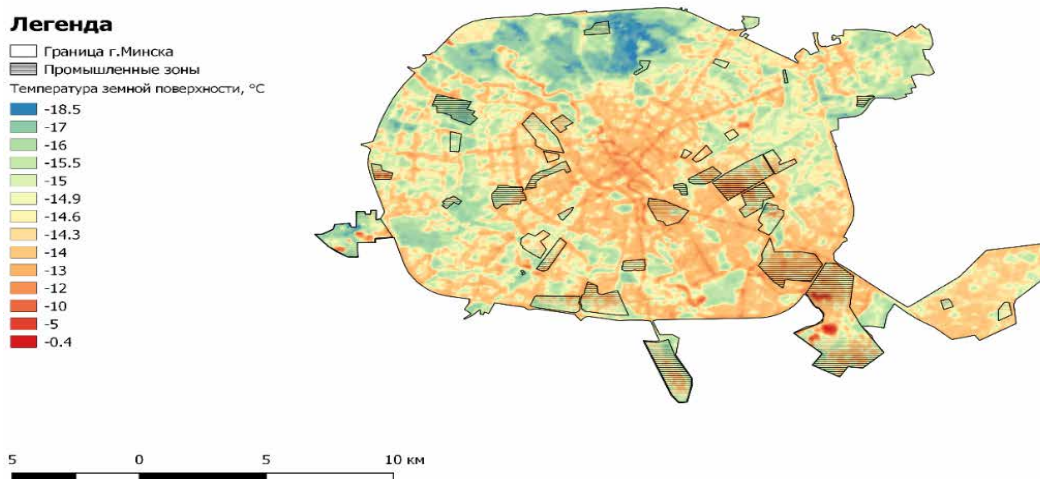
На рис. 1 представлено распределение температур земной поверхности (LST) и расположение промышленных зон г. Минска на 11 июня 2020 г. Видно, что большинство крупных температурных положительных аномалий совпадает с расположением промышленных зон. Наибольшие аномалии наблюдаются на территориях заводов МАЗ и МЗКТ. Это обусловлено в первую очередь большой площадью заасфальтированной поверхности, а также отсутствием растительного покрова. За счет низкого альбедо заасфальтированной поверхности поглощается много поступающей солнечной радиации, в результате чего температуры доходят до 59 °C, что в 2 раза больше средней температуры в городе.

Помимо прочего промышленные зоны выделяют химические выбросы, загрязняющие приземный слой атмосферы и создающие парниковые эффекты в локальной местности. Также в летний период жилые многоэтажные кварталы имеют повышенные значения температуры поверхности (Красный Бор, Масюковщина, Каменная Горка, Центр, Осмоловка, Веснянка и др.), что связано с высокой долей площади бетона и асфальта. В среднем, значения температуры земной поверхности на 11 июня 2020г колебались от 35 до 42 °C. Самые низкие значения температуры (21-23 °C) совпадают с расположением водоемов, объектов гидрографии и парковых территорий. Это обусловлено хорошей отражательной способностью воды и ее уникальным свойством теплоемкости.

На рис. 2 представлено распределение температур земной поверхности и расположение промышленных зон г. Минска на 6 февраля 2021 г. Наибольшие положительные температурные аномалии (около -0.4 °C) наблюдались в промышленной зоне микрорайона Шабаны на юго-востоке г. Минска. Скорее всего это связано с химическими газовыми выбросами в приземный слой атмосферы. Более теплые участки карты совпадают с расположением автомобильных дорог, хотя это был и выходной день, суббота. Это основные магистрали города г. Минска – проспект Победителей, Партизанский, Независимости, Машерова, Маяковского, Жукова и др. Отрицательные температурные аномалии наблюдаются в микрорайоне Новинки (до -18.5 °C). В среднем, значения поверхностной температуры на 6 февраля 2021г колебались от -16 до -12 °C.



*Рис. 1 – Карта температур земной поверхности (LST) и расположение промышленных зон г. Минска на 11 июня 2020 г.*



*Рис. 2 – Карта температур земной поверхности (LST) и расположение промышленных зон г. Минска на 6 февраля 2021 г.*

В данной работе использовался критерий SUHI (Surface Urban Heat Island) для изучения городского острова тепла по данным снимков LST спутника Landsat-8. С другой стороны, эффект городского острова тепла определяется еще ГПС и ВГС. Иначе, той атмосферной воздушной массой, которая находится над определенной городской застройкой. Больше всего тепловое загрязнение в городах происходит во время блокирующих антициклонов, где воздух опускаясь вниз, нагревается и препятствует переносу газов в городских условиях [4]. Это вызывает застой теплого воздуха в узких бетонных и асфальтных кварталах города, что приводит к усилению теплового эффекта, городскому смогу, ухудшению качества атмосферного воздуха в районах с плотной городской застройкой, где проживает большое количество людей. Это может способствовать к повышению сердечно-сосудистых и дыхательных заболеваний среди людей пожилого возраста.

В итоге распределение температурного поля г. Минска имеет следующие закономерности. В летнее время года возрастает влияние промышленных зон Минска, где температура земной поверхности в этих зонах может в 2 раза превышать температуру других частей города. Летом водоемы, объекты гидрографии и лесные зоны подвержены меньшему тепловому нагреву за счет высокой отражательной способности воды и ее уникальных свойств теплоемкости, широких крон деревьев. Жилые районы с высокой плотностью и высотой зданий подвержены большему тепловому воздействию, в отличие от частного жилого сектора. Повышение доли зеленых насаждений

в районах с высокой плотностью населения и городской застройкой поможет снизить тепловую нагрузку на проживающих там людей и повысить качество воздуха.

В зимний период амплитуда температур в 2 раза меньше, чем летом и вклад промышленных зон в формировании городского острова тепла ниже, чем летом. Возрастает роль основных автомобильных магистралей с высоким трафиком в увеличении температур земной поверхности. В первую очередь, это происходит за счет автомобильных выбросов, которые создают дополнительный газовый нагрев и уменьшают альбедо близлежащих поверхностей. Незастроенные территории в рамках городской черты, за счет большой площади снежного покрова и высокой отражательной способности поверхности, создают отрицательные аномалии температур.

Конечно, исследование единичных случаев городского острова тепла не дают полной картины изменения температурного поля г.Минска. Поэтому пополнение базы данных безоблачных снимков спутника Landsat-8 и их усредненная обработка может дать более однозначные выводы данного явления. С другой стороны, подобные исследования конкретных случаев дают определенное понимание происходящих процессов с точки зрения их взаимодействия.

Метод определения SUHI является неполноценным для исследования городского острова тепла, и должен дополняться методами наземной сети наблюдений и численным моделированием состояния атмосферного воздуха. Так как SUHI не учитывает перемещение атмосферных воздушных масс, например, блокирующих антициклонов, и связанные с этим, волны тепла в летний период и холода в зимний период.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Majkowska, A., Kolendowicz, L., Pótrolniczak, M. et al.* The urban heat island in the city of Poznań as derived from Landsat 5 TM. *Theor Appl Climatol* 128, 769–783 (2017).
2. *Гольберг, М. А.* Климат Минска / М. А. Гольберг. – Мн.: Выш. шк., 1976. – 288 с.
3. *Бурченко Г. Д., Прокопчик Е. А., Чумаков Е. А.* Изучение теплового поля территории г. Могилева по данным спутника LANDSAT-8. ГИС-технологии в науках о Земле [Электронный ресурс]: материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 18 нояб. 2020 г. 2020 Минск, Республика Беларусь, стр.171-177, БГУ
4. *Dempsey F.* A Survey of Regional-Scale Blocking Patterns and Effects on Air Quality in Ontario, Canada. *Atmosphere*. 2018. 9. 10.3390/atmos9060226.
5. *Barbieri, T.; Despini, F.; Teggi, S.* A Multi-Temporal Analyses of Land Surface Temperature Using Landsat-8 Data and Open Source Software: The Case Study of Modena, Italy. *Sustainability* 2018, 10, 1678.

### АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ НАКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ТЕРНОПОЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ (УКРАИНА)

### ANTHROPOGENIC ENVIRONMENTAL CHANGES DUE TO ACCUMULATION OF SOLID HOUSEHOLD WASTE IN TERNOPIL REGION (UKRAINE)

**О. М. Ярема, Л. Я. Федонюк, Е. И. Скиба, А. Мочук**  
**O. M. Yarema, L. Ya. Fedonyuk, O. I. Skyba, A. Lesniak-Mochuk**

*Тернопольский национальный медицинский университет имени И. Я. Горбачевского*  
*МЗ Украины, г. Тернополь, Украина*  
*jaremaom@tdmu.edu.ua*

*I. Horbachevsky Ternopil National Medical University*  
*Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine*

Во всем мире переработка и утилизация бытовых отходов становятся все более злободневной проблемой. В процессе хозяйственного освоения нетронутых земель происходило постепенное разрушение природных экосистем и замена их антропогенными, нарушалось равновесие между отдельными видами растительного и животного миров. Это нежелательное воздействие на природу особенно проявляется на современном этапе развития человечества, характеризуется чрезвычайно стремительным демографическим ростом и быстрым научно-техническим и социально-экономическим развитием общества. Увеличение численности населения способствует росту отходов - веществ, материалов и предметов, образующихся в процессе человеческой деятельности и которые не имеют дальнейшего использования по месту образования или выявления.

All over the world, the recycling and disposal of household waste are becoming an increasingly pressing issue. In the process of economic development of virgin lands, there was gradual destruction of natural ecosystems and their replacement by anthropogenic ones, the balance between certain species of flora and fauna was disturbed. This undesirable impact of labor on nature is especially evident at the present stage of human development, which