

## ВАРИАЦИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЛОКАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ГОРОДА МИНСКА И ГОМЕЛЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА LANDSAT-8

Е. А. Ярош<sup>1</sup>, М. В. Бируков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>кафедра общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, г. Минск

<sup>2</sup>кафедра почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, г. Минск,  
zenya2004.6@gmail.com

Т. В. Шлендер<sup>1</sup>, А. Е. Яротов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>кафедра общего землеведения и метеорологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета; НИИЦ мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета, г. Минск

<sup>2</sup> кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и образовательных технологий факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, timajaya@mail.ru

В работе рассмотрено понятие локальных климатических зон для городских территорий. Построена карта локальных климатических зон города Минска и Гомеля по международной классификации WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools). Использовалась методика определения поверхностной температуры по данным Landsat-8 с помощью интернет ресурса Google Earth Engine. Показано распределение поверхностного температурного поля г. Минска и г. Гомеля за период 2013 – 2022 гг. в локальных климатических зонах городов. Сделаны выводы о пространственном распределении теплых и прохладных зон в рамках городов и их сравнительная характеристика с помощью зональной градации поверхностной температуры в программном пакете QGIS.

**Ключевые слова:** локальные климатические зоны; температура земной поверхности; LST; Landsat-8; Google Earth Engine.

В глобальном масштабе наиболее ярким примером проекта по построению базы данных о структуре и свойствах городов является WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools, <http://www.wudapt.org>) [1]. WUDAPT представляет собой открытый общественный международный проект, нацеленный на подготовку, обобщение и хранение данных о городах мира, полученных из открытых источников с помощью свободного программного обеспечения.

WUDAPT предполагает выделение нескольких уровней подготовки данных о структуре и свойствах города по мере повышения детализации и перехода от зонирования города к характеристикам отдельных объектов. На самом крупномасштабном уровне данных используется подход, основанный на концепции локальных климатических зон (local climate zones, LCZ). Выделение локальных климатических зон на территории городов и их окрестностей обеспечивает

возможность простого и универсального описания структуры городов в различных регионах планеты в наиболее удобном виде для использования в климатических исследованиях.

Таким образом, в WUDAPT формируется единый набор категорий (LCZ), обеспечивая некую унификацию и возможность сравнительного анализа результатов, получаемых при подготовке данных и моделировании для различных городов. Конкретные локальные климатические зоны связаны с измеримыми характеристиками городской территории и процессов функционирования города, а также с отличительными температурными особенностями локального городского климата, которые обусловлены свойствами городской поверхности и интенсивно изучались в рамках исследований феномена городского острова тепла для различных городов. Наконец, было показано, что выбранные типы LCZ могут быть легко идентифицированы на основе различных данных наблюдений, включая как спутниковые, так и радарные измерения с воздуха [1].

В настоящий момент в WUDAPT содержатся предоставленные участниками проекта данные по разбиению на LCZ для ряда городов мира, и этот перечень постоянно расширяется. Предлагаемый алгоритм подготовки данных по умолчанию основывается на использовании находящихся в свободном доступе спутниковых данных Landsat в сочетании с «локальными данными» о рассматриваемом городе, при этом для обработки используется свободная ГИС.

Выделение категорий LCZ в WUDAPT основывается на следующих критериях [2]:

1. Высота объектов (зданий и растительности);
2. Плотность размещения объектов (зданий и растительности);
3. Характер поверхности вокруг объектов (проницаемые поверхности из низкой растительности или почвы, непроницаемые каменные или бетонные поверхности);
4. Тепловые свойства строительных материалов (высокая или низкая тепловая инерция).

Полный перечень LCZ приводится в таблице 1.

*Таблица 1*

**Перечень локальных климатических зон WUDAPT [2].**

LCZ №	Название	Описание
1	Компактная высокоэтажная застройка	Плотно расположенные здания высотой в десятки этажей Деревья малочисленны или отсутствуют Зелёные зоны малые или отсутствуют Стройматериалы: бетон, сталь, камень и стекло Малые изменения температуры в течение суток

LCZ №	Название	Описание
2	Компактная среднеэтажная застройка	Плотно расположенные здания высотой от 3 до 9 этажей Деревья малочисленны или отсутствуют Зелёные зоны малые или отсутствуют Стройматериалы: камень, кирпич, плитка и бетон Малые изменения температуры в течение суток
3	Компактная низкоэтажная застройка	Плотно расположенные здания высотой от 1 до 3 этажей Деревья малочисленны или отсутствуют Зелёные зоны малые или отсутствуют Стройматериалы: бетон, сталь, камень и стекло Средние изменения температуры в течение суток
4	Открытая высокоэтажная застройка	Свободно стоящие здания высотой в десятки этажей Изобилие деревьев и растительного покрова Стройматериалы: бетон, сталь, камень и стекло Малые изменения температуры в течение суток
5	Открытая среднеэтажная застройка	Свободно стоящие здания высотой 3-9 этажей Изобилие деревьев и растительного покрова Стройматериалы: бетон, сталь, камень и стекло Средние изменения температуры в течение суток
6	Открытая низкоэтажная застройка	Свободно стоящие здания высотой 1-3 этажа Изобилие деревьев и растительного покрова Стройматериалы: дерево, кирпич, камень, плитка и бетон
7	Легкая низкоэтажная застройка	Лёгкие строительные материалы, высота 1-2 этажа Деревья малочисленны или отсутствуют Земная поверхность плотно утрамбованная Большие изменения температуры в течение суток
8	Крупная низкоэтажная застройка	Крупные, свободно стоящие здания высотой 1-3 этажа Деревья малочисленны или отсутствуют Земная поверхность в основном с покрытием (асфальт или др.) Средние изменения температуры в течение суток
9	Редкая застройка	Редко расположенные малые или средние здания Естественный ландшафт Изобилие земной поверхности без покрытия (проницаемой) Большие изменения температуры в течение суток
10	Промышленная зона	Низкие или средние по высоте промышленные объекты Деревья малочисленны или отсутствуют Поверхность в основном с покрытием или плотно утрамбованная Стройматериалы: сталь и бетон
A	Густой лес	Густой лес из листопадных и/или вечнозелёных деревьев. Земная поверхность в основном проницаемая (низкая растительность).
B	Редкий лес	Редкий лес из листопадных и/или вечнозелёных деревьев. Земная поверхность в основном проницаемая (низкая растительность).

LCZ №	Название	Описание
C	Кустарники	Свободно располагающиеся кусты и низкорастущие деревья. Земная поверхность в основном проницаемая (почва или песок).
D	Трава, сельскохозяйственные растения	Ландшафт, покрытый травой или низкорастущими / сельскохозяйственными растениями. Деревья малочисленны или отсутствуют.
E	Свободная каменистая поверхность	Свободная каменистая поверхность или поверхность с покрытием (асфальт и др.). Деревья малочисленны или отсутствуют.
F	Свободная поверхность почвы или песка	Свободная поверхность почвы или песка. Деревья или другие растения малочисленны или отсутствуют.
G	Водные объекты	Крупные открытые водоёмы (моря, озёра) или малые водоёмы (реки, водохранилища и лагуны).

**Методы и данные.** С помощью Google Earth Planet были выделены полигоны локальных климатических зон г. Минска и г. Гомеля согласно классификации WUDAPT. Готовый файл (формата kml, kmz) был отправлен на интернет-ресурс LCZ-Generator [2], который автоматически сгенерировал итоговую карту локальных климатических зон городов.

Распределение поверхностной температуры г. Минска и г. Гомеля было получено на основе снимков спутника Landsat – 8 за период 2013 – 2022 гг. на интернет-ресурсе Google Earth Engine, где прописывался скрипт итоговой карты поверхностной температуры, Land Surface Temperature (LST) [3]. 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. Метод получения снимков поверхностной температуры описан в работе [4].

В итоге, в QGIS был создан векторный слой карты локальных климатических зон двух городов, на который накладывался слой карты средних значений поверхностной температуры методом зональной статистики. То есть для каждой локальной зоны была получена своя средняя поверхностная температура в рамках границ этой зоны. После была сделана градуированная заливка по полученным средним значениям зон и районов г. Минска и г. Гомеля. Система координат проекта: EPSG 4326 - WGS 84.

**Результаты.** Карта LCZ (рисунок 1) показывает, что в г. Минске больше всего по площади занимает зона открытой средневысотной застройкой – 50% территории, далее – промышленная зона и лесопарки – по 15%. Остальные зоны занимают в общей сложности 20% площади города. В целом, классификация WUDAPT детализирует зоны г. Минска с учетом расположения высотности, компактности застройки и наличия природных территорий.

Полученные карты определения средней поверхностной температуры локальных климатических зон г. Минска (рисунок 2) показали, что наиболее распространенный диапазон температур характерный для города – 20,1-22,1 °С. Промзоны имеют наибольший показатель поверхностных температур – 24,1-28,1°С. Водные объекты, такие как река Свислочь, охлаждающие водоемы, водохранилища имеют самые низкие значения поверхностных температур – ниже 12,1 °С. Интересно, что водоемы в черте города теплее, чем в пригороде. Например, водохранилище Дрозды значительно отличается от других водоемов города, таких как Чижовка, Цнянка и русло реки в районе Немиги. Возможно за счет сточных вод. Итоговая разница между этими водоемами составляет около 4°С. Лесные массивы, лесопарки отличаются умеренными значениями температур – от 12,1 до 16,1 °С.

Карта локальных климатических зон (рисунок 3) показывает, что в г. Гомеле больше всего по площади занимает зона открытой средневысотной и малоэтажной застройки – 60 % территории, далее – промышленная зона – 15 %, и зона природных объектов – 15%. Остальные зоны занимают в совокупности 10%. В целом, классификация WUDAPT детализирует зоны г. Минска с учетом расположения высотности, компактности застройки и наличия природных территорий.

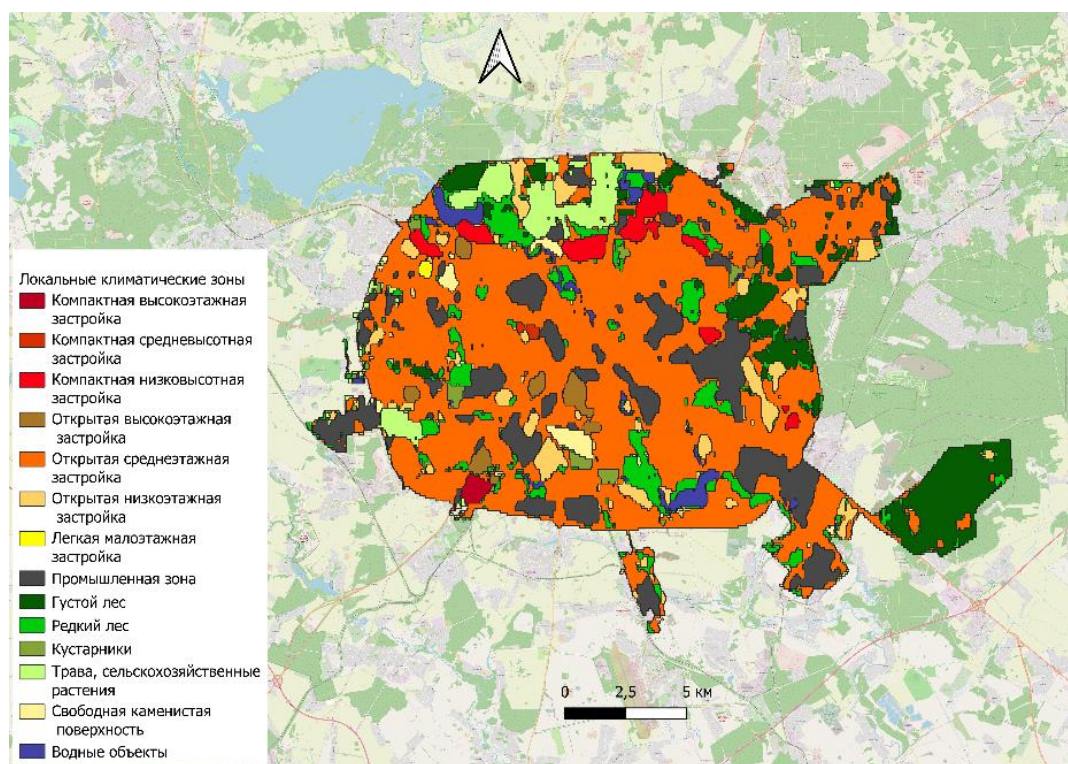


Рис. 1. Карта локальных климатических зон г. Минска

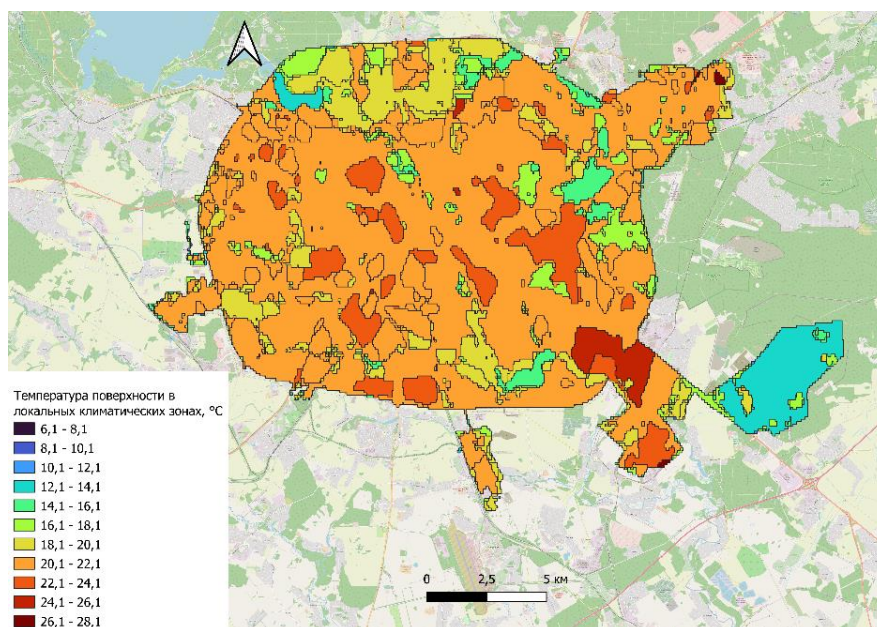


Рис. 2. Карта средней поверхностной температуры в каждой локальной климатической зоне г. Минска.

Интересно отметить, что территории с отходами фосфатов на западе города LCZ-generator определил, как площадь песка и голой почвы. К этой зоне относятся и все городские пляжи. Компактной застройки в г. Гомеле нет. Только открытые среднеэтажные и малоэтажные застройки, что и будет видно на температурных показателях.

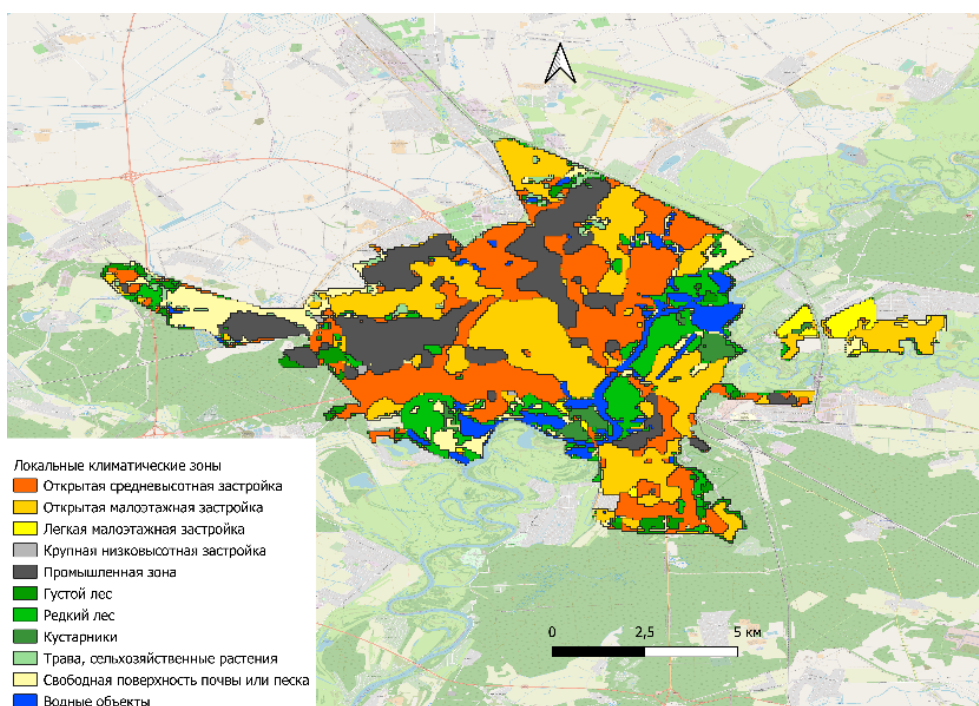


Рис. 3. Карта локальных климатических зон г. Гомеля

Полученные карты определения средней поверхностной температуры локальных климатических зон г. Гомеля (рисунок 4) показали, что наиболее распространенный диапазон температур характерный для города – 20,7-21,7 °С. Промзоны имеют наибольший показатель поверхностных температур – 21,7-25,9°С. Водные объекты, такие как река Сож, охлаждающие водоемы, старицы, озера имеют самые низкие значения поверхностных температур – ниже 18,6 °С, вплоть до 15,5 °С в отдельных местах.

Водоемы в г. Гомеле также теплее пригородных речных зон. Лесные массивы, лесопарки отличаются умеренными значениями температур – от 18,6 до 21,7 °С. Именно по природным территориям (водоемы и лесопарки) г. Гомель отличается повышенными значениями по сравнению с г. Минском. Разница составляет около 6 °С. Для жилых районов ситуация обратная, так как в г. Гомеле отсутствует компактная застройка и присутствует многочисленные частные сектора, низкоэтажная застройка с растительностью.

**Выводы.** Сравнительная характеристика двух городов показала, что г. Гомель менее застроен компактными зданиями, что отражается на пониженной средней поверхностной температуре по сравнению с г. Минском. Но природные зоны (реки, водоемы и лесопарки) имеют более высокие значения температур за счет большего радиационного воздействия, чем в г. Минске.

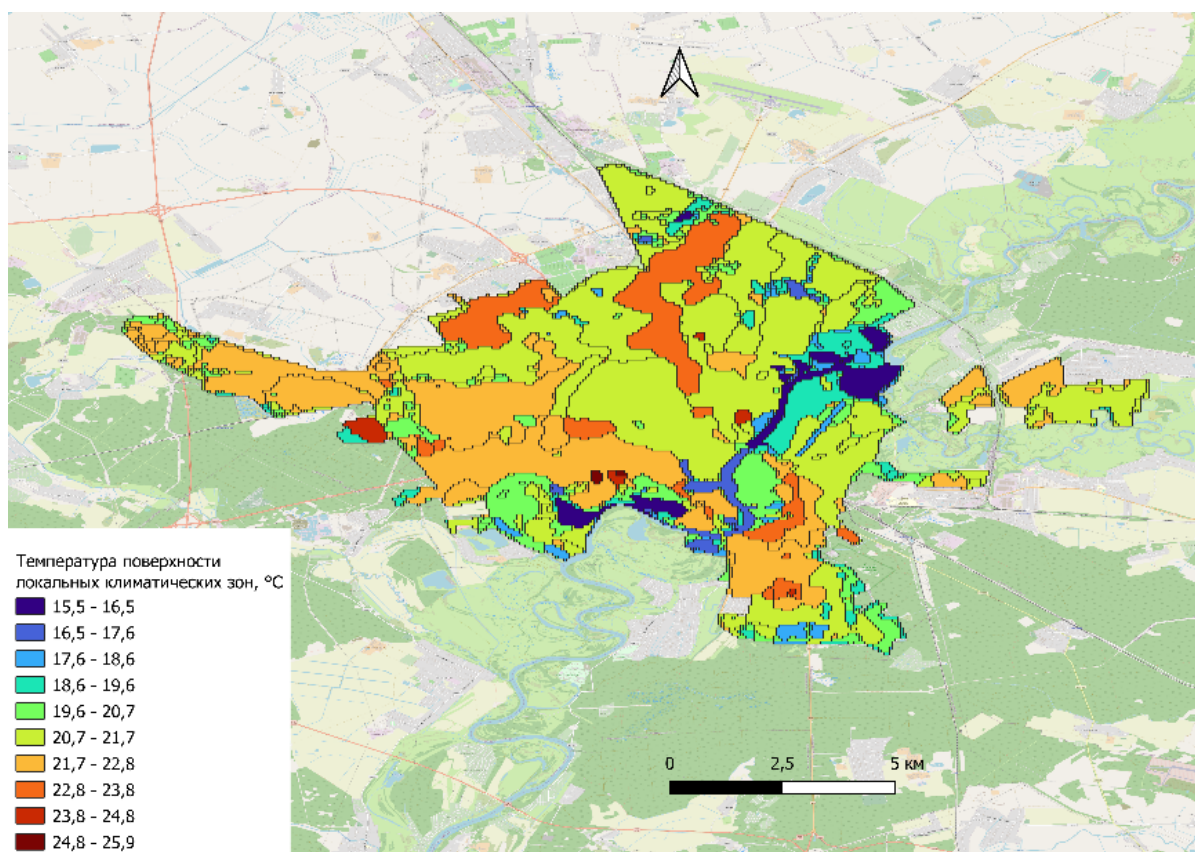


Рис. 4. Карта средней поверхностной температуры в каждой локальной климатической зоне г. Гомеля.

Таким образом, полученные оценки локальных климатических зон могут использоваться в дальнейших исследованиях изменений микроклимата различных городских зон, городского острова тепла, параметров термальной комфортности населения, зон проветривания города. Полученные векторные слои могут быть использованы в численных моделях определения городских атмосферных мезо-микромасштабных изменений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Bechtel B., Alexander P., Böhner J., Ching J., Conrad O., Feddema J., Stewart I. Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2015. – 4(1). – P.199–219.
2. Demuzere M., Kittner J., Bechtel B. LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps – *Frontiers in Environmental Science* – 2021. – №9. – P.637455.
3. Ermida S.L., Soares P., Mantas V., Göttsche F.-M., Trigo I.F. Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series. *Remote Sens*. 2020, 12, – p. 1471.
4. Ярош Е.А., Бируков М.В., Прокопчик Е.А., Шлендер Т.В. Температура земной поверхности крупных городов Беларуси по данным спутника LANDSAT-8. ГИС-технологии в науках о Земле [Электронный ресурс]: материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 17 нояб. 2021 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Н. В. Жуковская (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2021. – С. 98-104.