

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ОСТРОВОВ ТЕПЛА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

С.А. Лысенко¹⁾, П.О. Зайко²⁾, И.В. Буяков³⁾

¹⁾ *Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

²⁾ *Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь, Polly_LO@tut.by*

³⁾ *Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

В статье проводится анализ многолетних рядов (1955 – 2019 гг.) среднесуточных температур воздуха для областных центров Беларуси и г.Минска, с выделением «волн тепла», где среднесуточная температура воздуха на территории города превышала 5-й процентиль более 5 суток подряд. Затем проводился анализ аномалий распределения температуры подстилающей поверхности (LST, MODIS Terra) на основе 8-мидневных композитных спутниковых снимков. Анализ спутниковых снимков позволил рассчитать аномалии среднесуточной, дневной, ночной температуры подстилающей поверхности, относительно прилегающих неурбанизированных районов, с выделением максимумов и минимумов. С помощью численной модели WRF-ARW было спрогнозировано распределение температуры воздуха на 2 м в пределах г.Бреста, с разрешением 300м, что позволило зафиксировать «остров тепла» в около ночные сроки, а также уловить «волну тепла» на ранних сроках моделирования (до 72 ч).

Ключевые слова: городской остров тепла; волны тепла; методы дистанционного зондирования; численные модели прогноза погоды.

Интенсификация процессов урбанизации на территории Беларуси в последние 30 лет привела к формированию крупных городских индустриальных кластеров, в пределах которых имеются свои метеорологические и климатические особенности. Урбанизированные территории оказывают значительное влияние на процессы осадкообразования, мезомасштабную циркуляцию, имеют особенный температурный режим, связанный с распределением подстилающей поверхности в пределах города.

Одним из проявлений микроклиматических особенностей урбанизированных территорий является наличие «городского острова тепла». Данное метеорологическое явление характеризуется повышением средних температур воздуха и подстилающей поверхности, в пределах города относительно прилегающих к городу территорий и сельской местности. Разница температур между городом и прилегающими районами зависит от синоптической ситуации, скорости и направления ветра, орографии, сезона и времени суток. В пределах крупных городских агломераций положительные аномалии температуры могут достигать 10-15°C. Кроме того, эффект «острова тепла» может распространяться на прилегающие к городу территории, проявляясь в виде теплового следа и увеличении сумм осадков с подветренной стороны города [1].

Основными причинами формирования такой температурной аномалии являются сокращение естественного растительного покрова в пределах города, изменение альбедо поверхности и теплофизических свойства зданий и городских улиц, измененный гидрологический режим, а так же выбросы аэрозолей связанные с антропогенной деятельностью.

Формирование «городского острова тепла» может иметь как положительные, так и негативные последствия. Так в зимний период наличие данного явления позволяет сократить энергопотребление и повысить метеорологическую комфортность [2]. В летние месяцы формирование острова тепла может являться дополнительным фактором, создающим угрозу для здоровья и жизни людей, а также повлечь дополнительные финансовые затраты, связанные с кондиционированием.

В связи с этим изучение особенностей формирования, анализ, моделирование микроклиматических условий на урбанизированных территориях Беларуси является весьма актуальным.

В условиях изменяющегося глобального климата происходит трансформация микроклиматических систем городских территорий, которая проявляется в увеличении жарких и засушливых периодов, или так называемых «волн тепла». Данное явление представляет собой период, когда среднесуточная температура воздуха превышает 5-й протенциль в течение 5 или более суток подряд. Совокупный эффект от «острова тепла» и «волн тепла» в летний период могут создавать крайне неблагоприятные условия как для промышленности, так и для населения [3].

В данной работе проводился анализ распределения поля температуры в периоды «волн тепла» на основе данных наблюдений наземных метеорологических станций и спутниковых снимков. Кроме того, проводилось моделирование «острова тепла» для г. Бреста, с последующим сравнительным анализом результатов прогноза на способность моделировать данного явления.

На первоначальном этапе проводился статистический анализ температурных рядов (среднесуточная температура) метеорологических наблюдений на 50 станциях Беларуси за период инструментальных наблюдений (1955-2019 гг.). В результате анализа для каждой из станций была построена гистограмма нормального распределения среднесуточной температуры воздуха на 2 м, с выделением случаев, в которых значение данной температуры превышало 5-й процентиль (табл. 1).

Таблица 1 – Количество «волн тепла» за 2001–2019 гг.

Город	Число волн тепла
Брест	5
Витебск	9
Гомель	9
Гродно	8
Минск	8
Могилев	8

На основе полученных случаев были выбраны композитные спутниковые снимки (MODIS Terra), отражающие среднюю температуру подстилающей поверхности (LST) за 8 суток (рис. 1) [4]. Затем выделялась область, в которую входила городская территория и ее неурбанизированные окрестности, с последующим расчетом разницы средней температуры подстилающей поверхности в пределах города и его окружения.

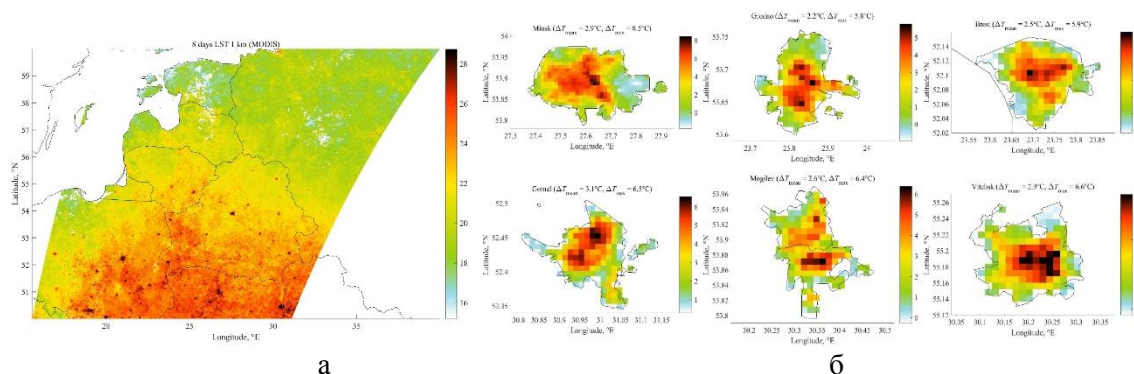


Рисунок 1 – Характеристика волны тепла 3–10 июля 2012 г., а – пространственное распределение температура подстилающей поверхности (°C), б – пространственное распределение аномалии температуры подстилающей поверхности в черте городов (°C)

Максимальная температурная аномалия была зафиксирована для г.Минска и составила порядка 8,5°C, минимальные значения наблюдались на востоке и северо-западе города, где находится лесной массив и гидрологические объекты. Максимальные значения аномалий для всех областных городов наблюдались в районах расположения крупных промышленных предприятий и многоэтажной жилой застройки (табл. 1).

При анализе внутрисуточного распределения температуры для дневных сроков характерны более высокие значения положительных аномалий (до 12°C), в ночные и утренние сроки в процессе остывания и переизлучения подстилающих поверхностей

(бетон, асфальт т.д.) наблюдается снижение разницы температур подстилающих поверхностей между городскими областями и прилегающими территориями (табл. 2).

Таблица 2 – Средние аномалии LST в областных городах и Минске

Город	Брест	Витебск	Гомель	Гродно	Минск	Могилев
День						
Средняя аномалия	1,7	2,6	3,1	1,8	2,7	2,4
Средняя максимальная по городу	6,3	6,2	7,4	5,9	9,1	6,4
Ночь						
Средняя аномалия	2,1	1,8	2,3	1,5	1,9	2,1
Средняя максимальная по городу	4,9	5,1	5,0	4,4	5,8	4,8
Сутки						
Средняя аномалия	2,0	2,2	2,7	1,6	2,3	2,2
Средняя максимальная по городу	5,0	5,4	5,8	4,6	6,6	5,2

Особый интерес представляет решение задачи прогнозирования явлений «городского острова» и «волн тепла». Повышение точности прогноза и анализа метеорологических условий на урбанизированных территориях, позволит снизить уровень негативного влияния метеорологических явлений на погодозависимые отрасли экономики и население.

В рамках данной работы проводилось моделирование явления городского острова и волны тепла для г.Бреста для летнего периода (август 2015 г.), с последующим сравнительным анализом результатов пространственного распределения метеорологических полей внутри города с данными спутниковых наблюдений. В частности, эффекты городского острова и волны тепла исследуются с помощью модели атмосферных процессов WRF (Weather Research and Forecasting) [5].

Для проведения исследования применялась негидростатическая численная мезомасштабная модель WRF-ARW. При моделировании погодных условий использовались 4 вложенных области: 9, 3, 1 и 0,3 км. с центром над брестским районом. Моделирование проводилось с заблаговременностью 5 дней для 3 случаев волн тепла на сетках в 165 узлов по направлениям север-юг, запад-восток и на 27 уровнях по вертикали, имеющих наибольшую плотность в приземном слое.

Основой для начальных и граничных боковых условий были результаты прогноза глобальной численной модели GFS (Global Forecast System) с пространственным разрешением $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ [6]. Для описания физических процессов подсеточного масштаба в модели WRF представлены наборы схем параметризации от подстилающей поверхности до микрофизических процессов и конвекции. При моделировании метеорологических условий для г.Бреста использовались следующие параметризации физических процессов: микрофизика – WSM6, коротковолновая и длинноволновая радиация – RRTMG, подстилающая поверхность – Noah, конвекция на крупномасштабных сетках – Grell3D, пограничный слой – схема университета Ёнсей [5].

Для представления физических эффектов городского масштаба использовалась многоуровневая схема BEP. Это городская модель направлена на учет большего количества динамических эффектов зданий, таких как поглощение и излучение энергии зданиями, крышами и др. Данная схема позволяет учесть дополнительные ландшафтные классы в пределах городской застройки, такие как высокоуплотненные высотные дома, промышленные объекты, низкоэтажная застройка и др. (WUDAPT) [7].

Для моделирования такого метеорологического явления как волна тепла с помощью модели WRF с пространственным разрешением 300 была создана цифровая модель урбанизированных классов землепользования. Для этого был проведен экспертный анализ спутниковых снимков территории города Бреста и прилегающих территорий, на предмет выделения областей входящих в классификацию локальных климатических зон (LCZ) для урбанизированных территорий. Выделение областей проводилось с помощью приложения Google Earth [8], с последующим использованием стороннего генератора классов городских территорий – LCZ Generator [7] (рис. 2).

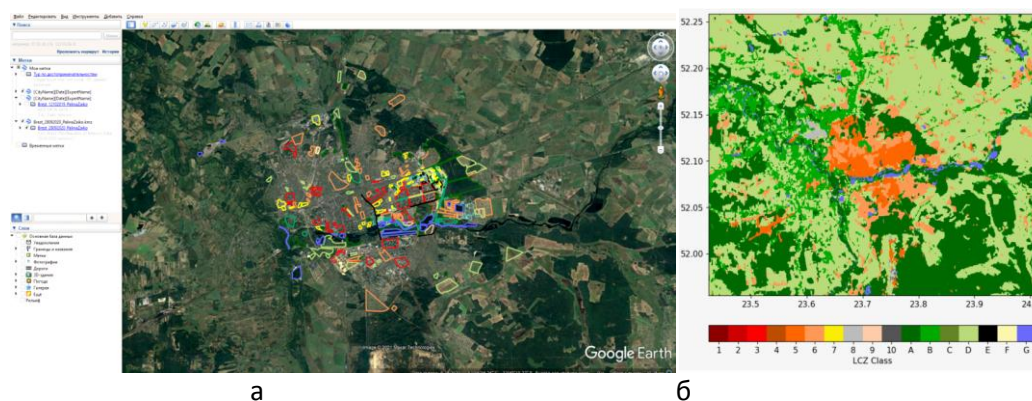


Рисунок 2 – Локальные климатические зона г.Бреста, а) экспертные области урбанизированных классов, б) цифровая модель урбанизированных классов г.Брест

Применение генератора локальных климатических зон позволило получить цифровой набор урбанизированных классов землепользования для г. Бреста, который в последующем был использован при инициализации характеристик подстилающей поверхности для запуска модели WRF-ARW.

В результате моделирования были получены значения температуры воздуха на 2 м в пределах г. Бреста и прилегающих территорий. Были рассчитаны средние значения температуры воздуха на 2 м для дня и ночи (рис. 3).

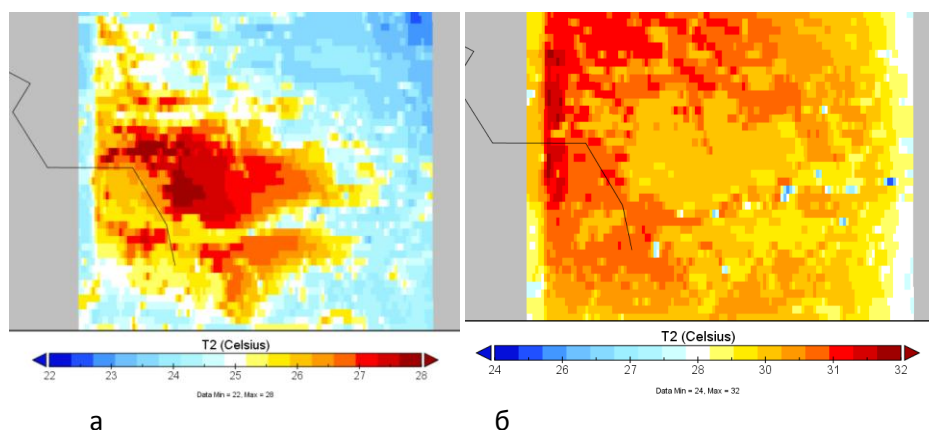


Рисунок 3 – Температура воздуха на 2 м (°C), а – ночь (00 UTC), б – день (12 UTC)

В результате моделирования для всех прогнозируемых сроков визуально выделяется «остров тепла» г. Бреста. Максимальная амплитуда температуры воздуха на 2 м наблюдалась для ночных сроков (до 5,5°C). Для дневных сроков (до 18 UTC), в отличие от спутниковых наблюдений фиксируется некоторое охлаждение городской территории относительно прилегающих районов. Это может быть связано с особенностью учета процессов коротковолновой и длинноволновой радиации для урбанизированных классов землепользования. Модель адекватно воспроизводит явление волны тепла на ранних сроках моделирования (до 72 ч).

Библиографические ссылки

1. Юшков В.П. Моделирование городского острова тепла в период экстремальных морозов в Москве в январе 2017 г. / В.П.Юшков [и др.] // Известия РАН.Физика атмосферы и океана. – 2019. – Т.55. – №5. – С.13–31
2. Варенцов М.И. Изучение феномена городского острова тепла в условиях полярной ночи с помощью экспериментальных измерений и дистанционного зондирования на примере Норильска / М.И. Варенцов, [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т.11. – №4. – С. 329–337.

3. Ревич Б.А. Особенности воздействия волн холода и жары на смертность в городах с резкоконтинентальным климатом. / Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников // Сибирское медицинское обозрение. – 2017. – №2. – С.84–90.
4. MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V006. [Electronic resource]. Режим доступа: [https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C194001212-LPDAAAC_ECS&pg\[0\]\[gsk\]=-start_date&fp=Terra&tl=1624265762.881!3!!](https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C194001212-LPDAAAC_ECS&pg[0][gsk]=-start_date&fp=Terra&tl=1624265762.881!3!!). Дата доступа: 10.03.2021.
5. A description of the Advanced Research WRF Version 3: NCAR Techn. Note/ ed.: Skamarock W.C. et al. — Boulder: National Center for Atmospheric Research, 2008. — 125 p.
6. Global Forecast System (GFS). [Электронный ресурс]. – Режим доступ: <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast>. Дата доступа: 12.09.2021.
7. Stewart ID, Oke TR. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull Am Meteorol Soc. 2012;93(12):1879-1900.
8. Google Earth. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earth.google.com>. Дата доступа: 12.09.2021.
9. Demuzere, M., Kittner, J., Bechtel, B. (2021). LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. Frontiers in Environmental Science 9:637455.