

Волчек А. А., Мешик О. П., Мешик А. О.

ВЫЯВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ г. БРЕСТА)

Введение. Начиная с постиндустриальной эпохи, во всём мире происходит стремительный рост урбанизации. Естественные ландшафты и экосистемы превращаются в освоенные человеком, застроенные территории, объектами которых являются искусственно созданные элементы: здания, сооружения, дороги, паркинги и т. д. Как правило, такие объекты – аккумуляторы тепла, они имеют малую отражательную способность.

Воздействие урбанизации имеет как локальные, так и глобальные эффекты на окружающую среду. На современные города приходится около 60 % общего водопотребления, 70 % энергии различных видов, 80 % древесины, используемой для промышленных целей. Как следствие, на долю городов приходится большая часть выбросов парниковых газов – около 80 % [1].

За последние 50 лет глобальная урбанизация не только ускорила темпы роста городского населения, но и приняла новые формы развития. Эти изменения внесли большой вклад в освоение экосистем, ландшафтов, а также биосферы, что ускорило наступление так называемой эпохи антропоцена.

Увеличение доли городского населения вызывает потребности повышения качества жизни и создания комфортной и экологически безопасной городской среды [2]. Комфортность проживания во многом зависит от температурного режима. Как известно, в теплое время года в городской среде присутствует такой феномен, как «городской остров тепла», характеризующийся повышенными температурными показателями в центральной части города, в сравнении с эквивалентной территорией в ближайшей сельской местности. Во многом это является следствием трансформации типа и свойств подстилающей поверхности в городской среде. Искусственные поверхности, такие как асфальт, стекло, металл, бетон и керамика, интенсивно вытесняют естественные зелёные зоны, но, к сожалению, не обладают достаточными транспирирующими характеристиками и имеют низкий коэффициент испаряемости, таким образом влияя на энергетический баланс в городской застройке [3].

Эффект «городского острова тепла» впервые был описан в исследовании Люка Ховарда в 1820 году, который отметил разницу температур между городом и сельской местностью, особенно в ночное время [4].

Дисбаланс температуры в тёплое время года приводит к таким негативным явлениям, как:

- снижение уровня человеческого комфорта;
- угроза здоровью;
- ухудшение качества воздуха и воды;
- повышенный расход энергии на охлаждение и кондиционирование.

Однако изменения тепловой нагрузки в городской среде можно контролировать качественно и количественно при помощи инновационных технологий, таких как дистанционное зондирование территории. Агентство NASA предоставляет в открытом доступе снимки территорий, полученные при помощи спутников, для детальной оценки ландшафтов, включая урбанизированные территории. При помощи этих снимков можно получить представление об объёмах, занятых растительным покровом, соотношении урбанизированных и естественных ландшафтов, выявить границы акваторий, а также получить данные о температурах земной поверхности в видимом и тепловом диапазонах.

Материалы и методы. В качестве подосновы были использованы данные каналов снимков спутника Landsat 8 (действующего с 2013 г. и по настоящее время). Данный спутник получает снимки в видимом, ближнем и дальнем ИК диапазоне волн с разрешением 15-30-100 м на точку. Сенсоры OLI и TIRS имеют высокое отношение сигнал/шум (SNR) и позволяют снимать до 12 бит на точку [5].

Цифровые данные, полученные при помощи снимков Landsat 8, требуют дешифрования при помощи специализированного программного-аппаратного обеспечения. Основная сложность заключается в получении качественных снимков за определённый временной период, что представляется не всегда возможным из-за погодных условий и повышенной облачности.

Для обработки космических снимков было использовано программное обеспечение ESRI ArcGIS Pro. Данное приложение позволяет обрабатывать и управлять данными, полученными со спутников, проводить пространственный анализ и визуализировать результаты. Благодаря ArcGIS Pro можно комбинировать слои метаданных каналов и получать необходимую информацию. Снимки Landsat 8 обладают диапазоном в 11 каналов, которые можно комбинировать между собой [6].

Основные комбинации каналов позволяют получить индексы – рассчитанные из многоканальных изображений. Подобные индексы получаются путём комбинирования, умножения, деления, вычитания и суммирования каналов в разных пропорциях. Индексы привязаны к определённым каналам, расположенным в некоторых определённых частях электромагнитного спектра.

Для территории Бреста и окрестностей применены следующие индексы для визуализации различных объектов:

- NDVI (нормализованный вегетационный индекс), отражающий наличие и относительную биомассу растительности. Его можно получить используя красный канал Red (поглощение пигментом хлорофилла) и инфракрасный канал NIR (высокая отражательная способность растительного сырья) [6] (рисунок 1)
$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}; \quad (1)$$
- MNDWI (модифицированный стандартизированный индекс различий воды), отражающий границы акватории заданной территории. Изображение получается при помощи комбинации каналов Green и SWIR, которые позволяют снизить значения застроенных областей и улучшить визуализацию открытых водных пространств [6] (рисунок 2)
$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}; \quad (2)$$
- NDBI (стандартизированный индекс различий застройки), выделяющий области застройки. Комбинация каналов NIR и SWIR (ближний инфракрасный и коротковолновый инфракрасный), приглушающих атмосферные воздействия и разницу в освещённости [6] (рисунок 3)
$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}. \quad (3)$$

Рисунки 1–3 контрастируют объекты, имеющие различное альбедо, что, в итоге, дает возможность оценить теплосодержание поверхности. Рисунок 1 и индекс NDVI дают возможность дифференцировать растительность на древесную (хвойную и лиственную), кустарниковую и травянистую. Водные объекты (рисунок 2) имеют наибольшую контрастность в случае различий температур воды и окружающих объектов. По длине реки Мухавец можно оценить ее тепловое загрязнение, например ниже ТЭЦ. Самые яркие – промышленные объекты и городская застройка (рисунок 3), выделяющие тепло в атмосферу и позволяющие выявить тепловые аномалии города.

Мешик Олег Павлович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой природообустройства Брестского государственного технического университета.

Мешик Алина Олеговна, магистрант кафедры природообустройства учреждения образования Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

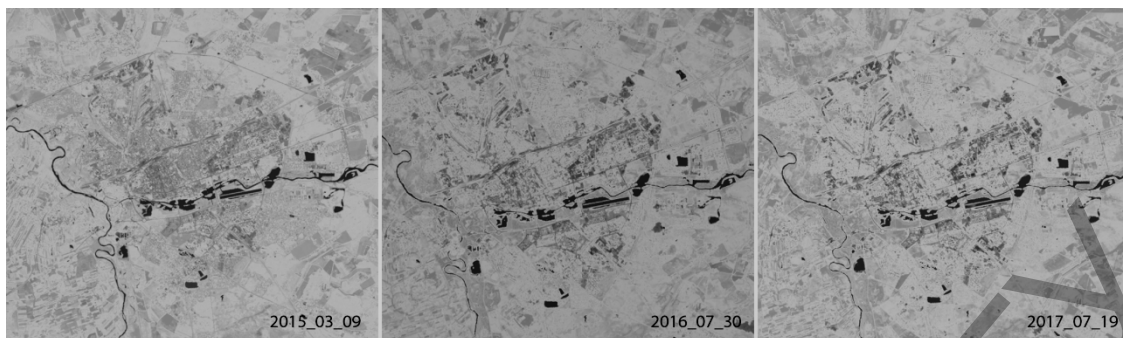


Рисунок 1 – Карты визуализации индекса NDVI в г. Бресте за весенне-летний период 2015–2017 гг. (ярко-зелёным оттенком отображена растительность)



Рисунок 2 – Карты визуализации индекса MNDWI в г. Бресте за весенне-летний период 2015–2017 гг. (контрастно подчеркнута площадь городской акватории)

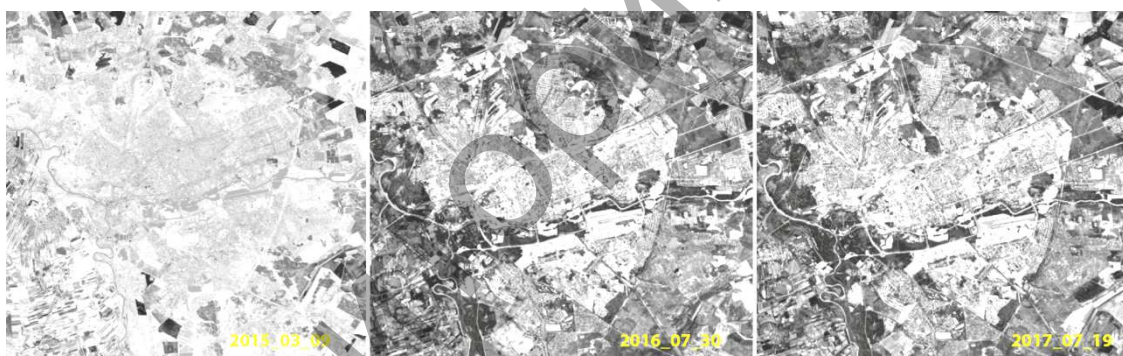


Рисунок 3 – Карты визуализации индекса NDBI в г. Бресте за весенне-летний период 2015–2017 гг. (контрастно выделяются объекты промышленного и гражданского строительства, транспортные коммуникации)

Городскому микроклимату г. Бреста, как крупному урбанизационному образованию, характерен перепад средних температур на 1–2 °С по сравнению с сельской местностью, в весенне-летний период. На материалах геоснимков NASA нами выявлены основные проблемные места в пределах территории города Бреста и окрестностей и проведен анализ динамики тепловых аномалий.

Для оценки динамики изменения температуры поверхности микроклимата г. Бреста были использованы данные спектрального канала 10 с длиной волны 10,3–11,3 мкм. Исходные данные представляются в виде изображений в калиброванных цифровых значениях DN (digital numbers) их необходимо переводить в значения по градусам Цельсия.

Коррекция материалов производилась на базе программного обеспечения ESRI ArcGIS Pro и включала в себя два этапа.

Первый этап – расчёт интенсивности спектральной радиации, полученной датчиком, по формуле [7]

$$L\lambda = ML \times Qcal + AL, \quad (4)$$

где $L\lambda$ – интенсивность спектральной радиации ($Watts/(m^2 \times sr \times \mu m)$), ML – калибровочный коэффициент ($RADIANCE_MULT_BAND_10$, взятый из txt. файла с метаданными снимка), AL – дополнительный калибровочный коэффициент ($RADIANCE_ADD_$

$BAND_10$ из txt. файла с метаданными снимка), $Qcal$ – дискретное калиброванное значение пикселя снимка (DN).

Второй этап – конвертация данных в температурные значения по градусам Цельсия. Расчёт проводится по следующей формуле [7]

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} - 273,15, \quad (5)$$

где T – температура в градусах Цельсия, °С, $L\lambda$ – интенсивность спектральной радиации ($Watts/(m^2 \times sr \times \mu m)$), $K1$ – калибровочная константа ($K1_CONSTANT_BAND_10$ из txt. файла с метаданными снимка); $K2$ – калибровочная константа ($K2_CONSTANT_BAND_10$ из txt. файла с метаданными снимка).

Данные проведённых расчётов были получены в виде тепловых карт (рисунок 4), подробный анализ которых показал наиболее тёплые участки в пределах городской территории.

Таковыми участками являются кварталы, окружающие градообразующую ул. Московскую, а также с развитием города в юго-западном направлении подобные центры выделились и в заречных микрорайонах (рисунок 5). Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что городские температурные аномалии сосредоточены в

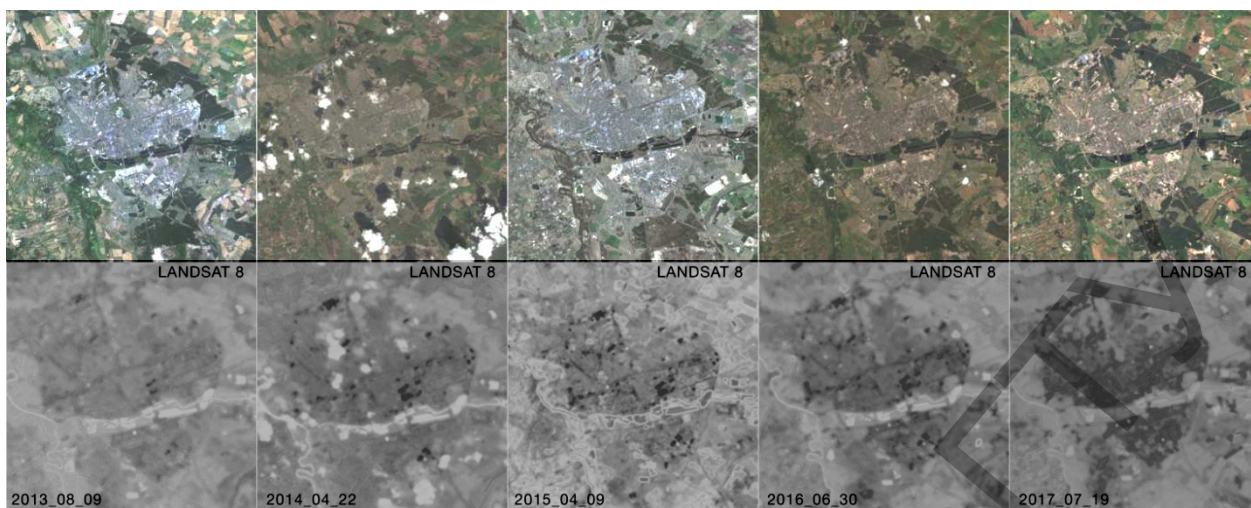


Рисунок 4 – Карты динамики изменения температуры подстилающей поверхности в г. Бресте за весенне-летний период 2013–2017 гг.

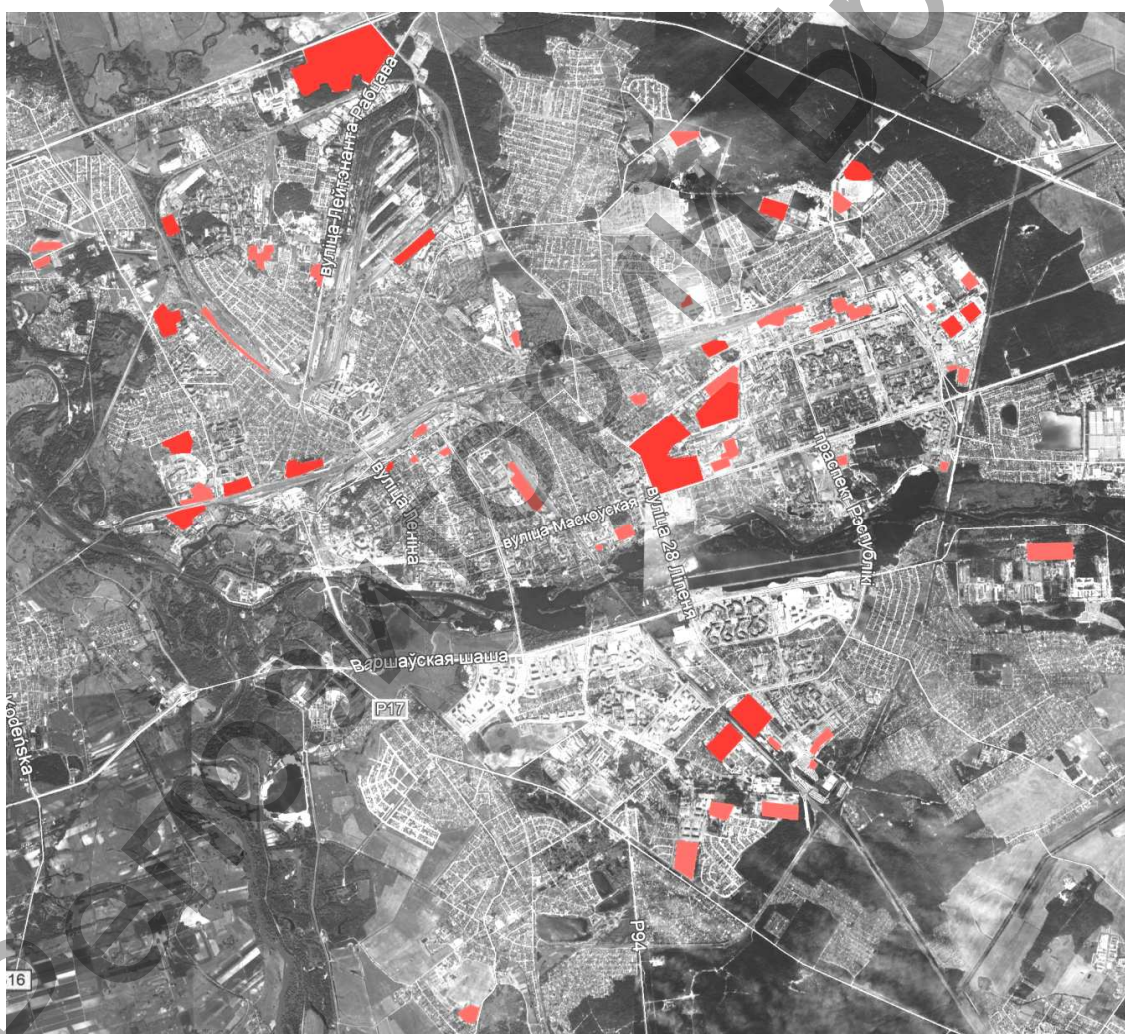


Рисунок 5 – Карта-схема размещения тепловых аномалий г. Бреста

месте расположения существующих и бывших производственных территорий, гаражных кооперативов и складских зон. Ярко-красным цветом выделены наиболее значимые из них. Карты доказывают, что основными источниками теплового загрязнения являются именно промышленные производства. Ориентировочная площадь территории, занимаемая ярко выраженными тепловыми аномалиями, составляет около 8–10 % от площади городской застройки.

В восточном направлении выделяется тепловая аномалия по ул. Московской на территории электромеханического завода. Данная

территория и ее окружение характеризуется очень малой площадью зелёных насаждений. Большую площадь территории промзоны занимают бытовые корпуса.

В северо-западном и западном направлениях наибольшая тепловая нагрузка приходится на территорию производств «Санта-Бремор» и «Брестский мясокомбинат».

Выполненные расчеты и дешифровка спутниковых карт позволила установить максимальные температуры в ядрах тепловых аномалий г. Бреста (таблица 1).

Из полученных данных просматривается взаимосвязь существующих тепловых аномалий с расположением производственных объектов и технических зон в урбанизационной структуре г. Бреста. Особое внимание следует уделить участку по ул. Московской (рисунок 6), т. к. данная территория используется в качестве общественно-торговой зоны и существует вероятность большего негативного воздействия на посетителей торговых объектов, проживающих вблизи данной территории людей.

Таблица 1 – Максимальные температурные показатели в точках тепловых аномалий г. Бреста

Дата	Температура, °C
2013.08.09	42,6
2014.04.22	42,5
2015.04.09	36,5
2016.06.30	34,7
2017.07.19	43,9

В работе [8] разделяются все типы поверхностей на 4 группы, согласно их пиковой дневной температуре:

- деревья, трава, растительность представлены наиболее холодными поверхностями, с характерной максимальной дневной температурой (T_{veg});
- искусственно созданные покрытия, такие как дороги, тротуары, парковки, являются более тёплыми. Максимальная температура представляется как (T_{pav});
- тёмные и серые городские поверхности обладают максимальной температурой (T_{dpav});
- кровли представляются самыми горячими поверхностями в городской среде с максимальной дневной температурой (T_{roof}).

Рассматриваемая территория, по ул. Московской интегрирует в себе различные типы подстилающих поверхностей (рисунок 6).



Рисунок 6 – Карта исследуемого участка территории электротехнического завода по ул. Московской (пунктирной линией выделена территория завода; оранжевая линия – кровли; зелёная линия – растительность; остальная территория – искусственные покрытия: тротуарная плитка, асфальт и др.)

Зная значения максимальных дневных температур, получаем среднюю пиковую температуру территории с градацией по типу (T_i) согласно формуле [8]

$$T_i = T_{veg} S_{veg} + T_{pav} S_{pav} + T_{dpav} S_{dpav} + T_{roof} S_{roof}, \quad (6)$$

где T_i – максимальная температура подстилающей поверхности, °C; S – площадь подстилающей поверхности, %.

Полученные данные зональной статистики на основе рисунка 3 отражены в таблице 2. Результаты показывают градацию территории в зависимости от типологии подстилающей поверхности с учётом вклада каждой в общую площадь исследуемой территории.

Таблица 2 – Оценка теплового эффекта на территории электротехнического завода по ул. Московской

Тип подстилающей поверхности	Площадь поверхности, %	Температура поверхности, °C
Деревья, трава, растительность	16	15-38
Светлые искусственные покрытия	20	49-60
Тёмные искусственные покрытия	14	60-71
Кровли	50	66-88
Территория завода по ул. Московской	100	54-72

Заключение. Оценка поверхностной температуры городских территорий, основанная на дистанционном зондировании с использованием снимков спутников серии Landsat, подходит для наблюдения и контроля микроклимата городских и сельских районов. Подобные данные спутниковых снимков дают последовательную информацию за многолетний период, благодаря непрерывному функционированию, таким образом позволяя выявлять направление и динамику изменений, существующих в городской среде.

Проведённые расчёты позволяют провести комплексную оценку эффективности мероприятий, направленных на повышение уровня человеческого комфорта. Полученные результаты показали, что основной путь снижения температурных негативных явлений заключается в изменении функционального зонирования территории и изменении площади искусственных подстилающих поверхностей. Одним из способов может стать увеличение доли покрытий, обладающих повышенным альбедо, например светлые строительные материалы, светлый асфальт и тротуары. Также следует стремиться к уравниванию площади зелёных зон и искусственных поверхностей.

Однако это не всегда осуществимо ввиду уже сложившейся планировки и высокой плотности застройки. Тогда «оздоровлению» территории также может способствовать применение зелёных кровель и фасадов, что позволит регулировать температурный режим в течение всего вегетационного периода растений в тёплое время года.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jianguo, Wu. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions / Jianguo Wu // Landscape and Urban Planning. – 2014. – P. 1–13.
2. Walker, B.H. Global Change and Terrestrial Ecosystems / B.H. Walker, W.L. Steffen – Cambridge UK: Cambridge University Press IGBP Book Series No. 2, 1996. – P. 637.
3. Li, X. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS / X. Li, A.G.-O. Yeh // Landscape and Urban Planning. – 2004. – № 69. – P. 335–354.
4. Howard, L. The Climate of London: Deduced from Meteorological Observation. – Cambridge UK: Cambridge University Press. 2012 – P. 376.
5. Landsat Data Continuity Mission // U.S. Geological Survey [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <https://pubs.usgs.gov/fs/2012/3066/fs2012-3066.pdf>. – Дата доступа: 14.03.2018.
6. Галерея индексов // ArcGis Pro [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/data/image-gallery/indices-gallery.htm>. – Дата доступа: 12.03.2018.
7. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook L8DS-1574 version 2.0 // USGS EROS [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>. – Дата доступа: 09.03.2018.
8. Gartland, L. Heat islands. – London: Sterling VA, 2008. – P. 215.

Материал поступил в редакцию 10.06.2018

VOLCHAK A.A., MESHYK A.P., MESHYK A.A. Revealing of microclimate anomalies in urban landscapes using remote sensing methods on example of Brest

The article focuses on using remote sensing methods for assesment of heat stress in urban areas. Revealed principle thermal anomalies of Brest, identified maximum temperatures and connection of appearing anomalies depending of surface type.