

Опыт изучения феномена влияния на живые организмы природных и техногенных физических полей показывает, что эффект воздействия наблюдается как у растений и животных, так и в человеческом организме. По мере расширения городов и усложнения их инфраструктуры возрастает количество и сложность задач. В первую очередь это обеспечение экологической безопасности проживания и жизнедеятельности городского населения, комфортности самих городов и прилегающих территорий.

Изучение влияния антропогенеза на эколого-геофизическое состояние городской среды подтвердило целесообразность и своевременность создания нового научного направления – геофизической урбоэкологии, ориентированного на решения задач экологической безопасности и повышения комфорта проживания и жизнедеятельности городского населения.

УДК 551.511.331

П. О. ЗАЙКО, С. А. ЛЫСЕНКО

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: Polly_LO@tut.by

СТАТИСТИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ «ОСТРОВОВ ТЕПЛА» НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Общерегionalные тенденции к активной урбанизации последних 50 лет привели к формированию на территории Беларуси крупных городских индустриальных кластеров. В пределах городских территорий сформировались свои метеорологические и климатические условия, проявляющиеся в особом температурно-влажностном режиме, в зависимости от распределения городских ландшафтов.

Одним из проявлений микроклиматических особенностей урбанизированных территорий является наличие городского «острова тепла», который представляет собой повышение средних температур воздуха и подстилающей поверхности в пределах города относительно прилегающих к нему территорий и сельской местности. Положительные аномалии температуры для крупных городов могут достигать 10–15 °С.

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

К дополнительным факторам, влияющим на разницу температур между городом и прилегающими территориями, относятся синоптическая ситуация в регионе, скорости и направления ветра, орография, сезон года и время суток.

В условиях изменяющегося глобального климата и трансформации микроклиматических систем городских территорий вопросы изучения и моделирования городского «острова тепла» весьма актуальны и для Беларуси.

В данном исследовании проводился анализ городских, температурных аномалий, изучался вклад отдельных геофизических факторов внутри городов Беларуси на формирование «островов тепла» с определением наиболее значимых из них, а также были проведены эксперименты по статистическому и численному моделированию метеорологических условий на базе модели WRF-ARW.

Материалы и данные. Анализ проводился на основе комплексной базы данных метеорологических и геофизических параметров городов Беларуси, полученным по наземным и спутниковым измерениям за период 2000–2021 гг. База содержит данные о площади города, численности населения, доли древесных насаждений, травянистой и разреженной растительности, доли сельскохозяйственных земель, доли водных объектов, доли искусственных городских поверхностей (включая застройку и дороги), средней температурной аномалии в городе для дневного и ночного времени суток (MODIS, 1 км), сферическом альбедо подстилающей поверхности (Landsat 7), вегетационных индексах (NDVI, EVI; MODIS, 250 м), нормализованном разностном водном индексе (NDWI; Landsat 7), высоте местности (NASADEM, 30 м), зональной и меридиональной компонентах скорости ветра на 10 м (ERA 5, 11 км), количестве атмосферных осадков (IMERG, 11 км), температуре воздуха на 2 м. Для актуализации структуры землепользования в пределах городов Беларуси использовался информационный продукт WorldCover 10 m 2020 с разрешением 10 м. Интенсивность «острова тепла» оценивалась по разности средних температур для города и пригородной территории. Температура воздуха в городах Беларуси определялась на основе суточных данных метеорологической сети, интерполированных методом простого кригинга к координатам городов.

Результаты. Анализ спутниковых данных по температуре подстилающей поверхности в крупных городах Беларуси за 2000–2021 гг. показал, что областные центры летом в среднем теплее окружающих их пригородных районов на 2–3 °С днем и на 1,2–2,3 °С ночью. Максимальные же температурные аномалии для дневного времени суток составили 5,3–7,8 °С, для ночного – 2,6–4,4 °С. За период, прошедший с начала

текущего столетия, областные центры потеплели днем в среднем на 1,1–2,2 °С, а ночью на 1,3–1,9 °С. Максимальный рост дневных и ночных температур в городах Беларуси составил соответственно 3,1–6,0 °С и 2,4–4,4 °С. Отсутствие трендов в рядах средней интенсивности городских «островов тепла» за 2000–2020 гг. указывает на то, что потепление в городах Беларуси и их пригородах происходит примерно с одинаковой скоростью.

Анализ зависимости городских «островов тепла» от структуры землепользования в городах показал следующее: для Гомеля, имеющего минимальный среди областных центров процент древесных насаждений (29,5 %), интенсивность аномалии и скорость летнего потепления по величинам уступают лишь Минску; для Бреста же, имеющего максимальный процент древесных насаждений (40,5 %), «остров тепла» выражен в наименьшей степени, а летнее потепление городской среды происходит даже медленнее, чем в среднем по стране.

Численный эксперимент по замене непроницаемых городских поверхностей и промышленных зон ландшафтами, покрытыми травой или низкорастущими растениями, в цифровой модели урбанизированных классов землепользования (WUDAPT) показал, что реализация подобного сценария приводит к существенной трансформации структуры теплового баланса подстилающей поверхности в городе: для дневных часов средний для города поток явного тепла увеличивается на 21–22 %, а поток скрытого тепла уменьшается на 32–33 %; общий вертикальный турбулентный поток тепла на уровне подстилающей поверхности возрастает на 1,1–1,4 % (3,5–4,0 Вт/м²), что способствует увеличению отвода тепла с территории города и понижению средней для него температуры воздуха (в пределах 0,2 °С). Для ночных часов наблюдаются обратные тенденции. Массовая доля водяного пара в городе при таком сценарии понижается в пределах 8 % от ее среднего для города значения, что вызывает уменьшение нисходящего к подстилающей поверхности длинноволнового излучения примерно на 0,5 Вт/м². Как в дневное, так и в ночное время отмечается увеличение скорости ветра в городе и пригороде. В ночное время к тому же увеличивается высота планетарного пограничного слоя атмосферы, что способствует улучшению городской вентиляции.

На основе созданной базы данных и алгоритма машинного обучения XGBoost (экстремального градиентного бустинга) построены модели суточных и среднесезонных температурных аномалий городской среды, учитывающие большую совокупность естественных и антропогенных факторов формирования городских «островов тепла».

Максимальная аномалия температуры городской среды регистрируется в летний период и в дневное время – среднее значение 2,35 °С,

межквартильный размах 1,22–3,49, минимальная в зимний период – 0,39 °С, межквартильный размах 0–0,76.

Модель позволила установить, что наиболее значимыми факторами в интенсивности «острова тепла» в летний период являются численность населения, относительная площадь пустырей, широта местности, относительная площадь городской застройки, альbedo поверхности, относительная площадь водных объектов и общая площадь города (рисунок).

В определении суточной изменчивости температурной аномалии городской среды используются вегетационный NDVI и водный NDWI индексы, характеризующие растительный покров города и содержание жидкой воды в растительных покровах (рисунок).

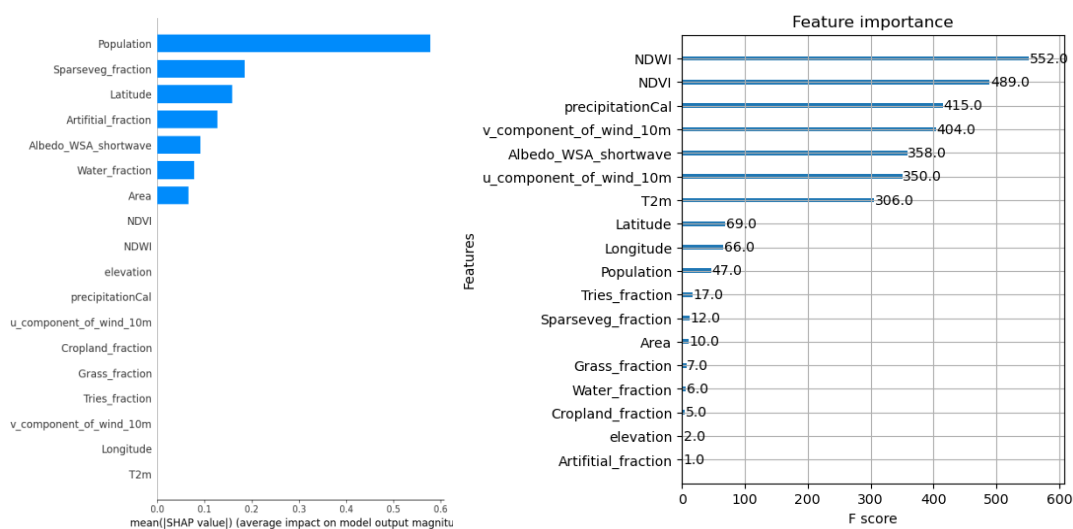


Рисунок – Оценки статистической значимости факторов формирования городской температурной аномалии для летнего периода (слева); оценки статистической значимости факторов, влияющих на суточную температурную аномалию городской среды (справа)

Таким образом, главными внутренними факторами терморегуляции городской среды являются эвапоэтранспирация и альbedo, а главными естественными факторами – атмосферные осадки, северные вторжения и западный перенос. При этом увеличение альbedo поверхностей оказывает примерно такой же эффект на температуру в городе, как и западный перенос, что говорит в пользу эффективности мер по использованию ярких отражающих покрытий в городе для борьбы с эффектом городского «острова тепла». Другими эффективными мерами являются увеличение площади зеленых зон города, в том числе за счет зеленых насаждений на крышах зданий, и увеличение количества водных объектов, в том числе за счет использования устойчивых дренажных систем.