

МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ В ПРЕДЕЛАХ МИКРОРАЙОНОВ ГОРОДА МИНСКА

М. А. Алиева¹, А. Е. Яротов², Т. В. Шлендер¹

¹Факультет географии и геоинформатики БГУ, Минск, Беларусь, m.alieva5030@gmail.com

²ОО «Белорусское географическое общество», Минск, Беларусь, yarotau@gmail.com

Аннотация

В данной статье рассмотрена классификация и особенности тепловых микроклиматических индексов. Впервые для Беларуси в тестовом режиме для двух микрорайонов г. Минска опробована микроклиматическая модель SkyHelios для определения фактора обзора неба (SVF) и средней температуры излучения (T_{mrt}), которые являются промежуточным звеном для получения значения термических индексов комфортности.

Ключевые слова: тепловой комфорт, тепловой баланс, тепловые индексы, микроклимат, фактор обзора неба, уровень теплового стресса.

MICROCLIMATIC MODELING THERMAL INDICES WITHIN MICRODISTRICTS OF MINSK CITY

M. A. Alieva, A. E. Yarotov, T. V. Schlender

Abstract

This article discusses the classification and features of thermal indices. The first microclimatic model SkyHelios was tested in a test mode for two microdistricts of Minsk to determine the Sky View Factor (SVF) and the average radiation temperature (T_{mrt}), which are an intermediate link for obtaining the values of thermal comfort indices.

Keywords: thermal comfort, thermal balance, thermal indices, microclimate, Sky View Factor, thermal stress level.

Введение. Климат городов характеризуется меньшим тепловым потоком испарения, более высоким уровнем поглощения коротко- и длинноволновой радиации, слабым воздухообменом и большим количеством тепла, выделяемого в атмосферу, что определяется феноменом городского острова тепла (УИТ) [1]. Большая часть людей в мире проживает в городах – согласно Отчету Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН уровень урбанизации в мире в 2018 году составил 55 %. Продолжающийся рост городов, городского населения и распространение городского уровня приведет к 75 % урбанизации населения мира жизни к 2050 году [2]. Доля городского населения в 2022 году в Беларуси составила 80,3 % [3].

На основе оценки уровня теплового комфорта в городах могут быть предприняты смягчающие меры (меры митигации), путем градостроительного планирования, изменения конфигурации застройки, применения других поверхностных материалов, озеленения [4].

Эффект метеорологических условий, влияющих на человека, часто количественно определяется с использованием тепловых индексов, основанных на энергетическом балансе человека [5, 6].

Тепловые условия для человека зависят не только от температуры воздуха, а также от влажности (давления водяного пара), скорости ветра и потоков радиации – коротковолновой и длинноволновой [4].

Физиологически-термальные условия анализируются в городах по всему миру в порядке оценки преобладающих микроклиматических условий для количественной оценки мер митигации (смягчения последствий и адаптации) [7, 8, 9, 10].

Целью работы является получение промежуточных микроклиматических моделей двух микрорайонов города Минска.

Материалы и методы. Изучение прямых и косвенных связей между геофизическими факторами среды и организмом человека – одна из задач биометеорологии человека, возникшей на стыке метеорологии, геофизики и биологии.

Базис биометеорологических исследований – это уравнение теплового баланса человека

$$M + W + R + C + ED + ERe + ES_w + S = 0, \quad (1)$$

где M – скорость обмена веществ; W – теплоотдача при физической работе; C – конвективный поток тепла; ED – поток скрытого тепла, расходуемого на потоотделение; ERe – сумма потоков тепла, направленных на нагрев и увлажнение вдыхаемого воздуха; ES_w – поток тепла, идущий на испарение пота; S – аккумуляция энергии, используемой для нагревания или охлаждения организма из уравнения, описывающего поток тепла FSC , направленный через слой одежды от кожи к поверхности одежды $FSC = (1/I_{cl}) \times (T_{sk} - T_{cl})$, где I_{cl} – термостойкость одежды ($K \cdot m^2 / Вт$); T_{cl} – средневзвешенная температура поверхности одежды; T_{sk} – средневзвешенная температура кожи [5].

Из тождества (1) можно выделить четыре группы факторов теплового баланса: физиологический, метеорологический, фактор теплозащитных свойств одежды, физических нагрузок.

Для определения мощности и направления радиационных потоков используют приближение атмосферы города в виде полусферы, отношение солнечной радиации, получаемой точкой на плоскости, при учете данной формы внешней среды также называется фактором обзора неба (Sky View Factor, SVF), является показателем закрытости горизонта [11]

$$\Psi_s = \sum_{i=1}^n \sin^2 \beta_i \left(\frac{\alpha_i}{360^\circ} \right), \quad (2)$$

где β – угол возвышения (зенит); α – азимут.

Значение фактора изменяется в диапазоне от 0 до 1. При $SVF = 1$ можно утверждать, что в системе «поверхность-небо (атмосфера)» нет существенных препятствий, при значении $SVF = 0$ испускаемое поверхностью коротковолновое излучение не идет вверх в тропосферу, а блокируется препятствиями [3].

В последних исследованиях SVF играет важную роль в анализе микроклимата. Точное распределение значения SVF играет важную роль в соотношении влияния конфигурации застройки к тепловой среде городов.

В работе [16] рассматривается наиболее полный список тепловых индексов, разработанных за последние 100 лет – всего 162 индекса. Все индексы были разбиты на восемь первичных классов.

Индексы также можно разделить на тепловые и тепло-физиологические (таблица 1). Тепловые индексы рассчитываются на основе только метеорологических параметров, большая часть тепло-физиологических индексов разрабатывалась исходя из уравнения (1), то есть учитывают физиологический фактор путем введения обобщенной модели человека и фактор одежды.

RayMan и SkyHelios – открытое программное обеспечение для построения микромасштабных климатических моделей, подразумевающих прежде всего вычисление фактора обзора неба (SVF – показателя закрытости горизонта). На его основе оценивается продолжительность солнечного сияния, затенение и радиация в каждой точке. Помимо этих показателей данные ПО способны оценить тепло-физиологические индексы (таблица 1).

Таблица 1 – Тепло-физиологические индексы

Индекс	Определение	Уравнение теплового баланса
Воспринимаемая температура (Perceived Temperature – PT) [13]	температура воздуха в типичных условиях, при котором тепловое восприятие такое же, как и в реальной среде	$M - W_o = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + S_{sk} + S_{cr}$, где M – скорость обмена веществ; W_o – теплоотдачи при физической работе; C – конвективный поток тепла; R – радиация; $E_{Res, sk, cr}$ – скрытая теплота респираторной системы, кожи, сердечно-сосудистой системы; S – накопленная энергия (можно пренебречь)
Эквивалентно-физиологическая температура (PET) [14]	температура воздуха, при которой в типичных условиях внутри помещения (без действия ветра и солнца) энергетический баланс человеческого тела сбалансирован с температурой тела и кожи снаружи	$M + W_o + R + C + E_{sk} + E_{res} + E_{sw} + S = 0$
Универсальный индекс теплового комфорта (UTCI) [15, 16]	температура воздуха, которая в типичных условиях могла вызвать такую динамическую нагрузку физиологической модели, что и реальная среда	$M - W - [Q_H(Ta, v) + Q^*(Tmrt)] - [Q_L(e, v) + Q_{sw}(e, v)] - Q_{re}(Ta, e) \pm S = 0$, где $Q_H, *, L, SW, Re$ – кожный теплообмен турбулентный, радиационный, скрытой теплоты, потоотделения и теплообмен респираторной системы (явная и скрытая теплота) [16]

Результаты и обсуждение. Были рассмотрены территории двух микрорайонов города Минска – микрорайона Каменная Горка-4 и Сосновый квартал Новой Боровой (рисунок 1), находящимися в пределах городской черты и в 250 м от нее соответственно.

Важно также указать день, время и погодные условия. В нашем случае – это 23 июня 2021 года, 9:00 утра. Июнь 2021 года в Беларуси характеризовался положительно аномальными температурами (выше климатической нормы на 3,5°C. В конце месяца на территории страны была волна жары [21]. Исходными материалами являлись векторные слои зданий с внесенным атрибутом этажности, а также данные архивов погоды – температура воздуха, влажность, облачность, скорость и направление ветра [22].

Конечным результатом моделирования являются значения фактора обзора неба (SVF) и средняя температура излучения (T_{mrt}), они являются промежуточным звеном для получения значения термических индексов, представлены в виде картосхем (рисунок 1, рисунок 2).

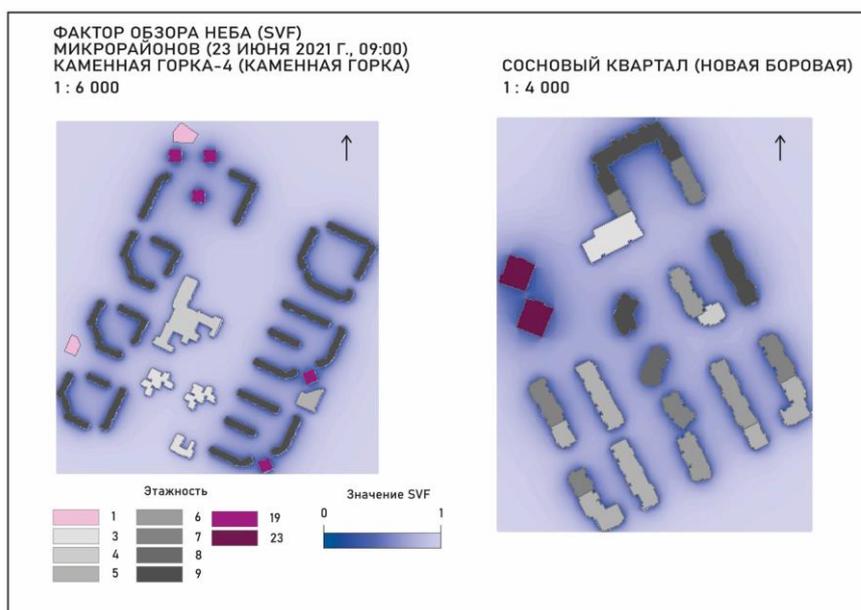


Рисунок 1 – Фактор обзора неба

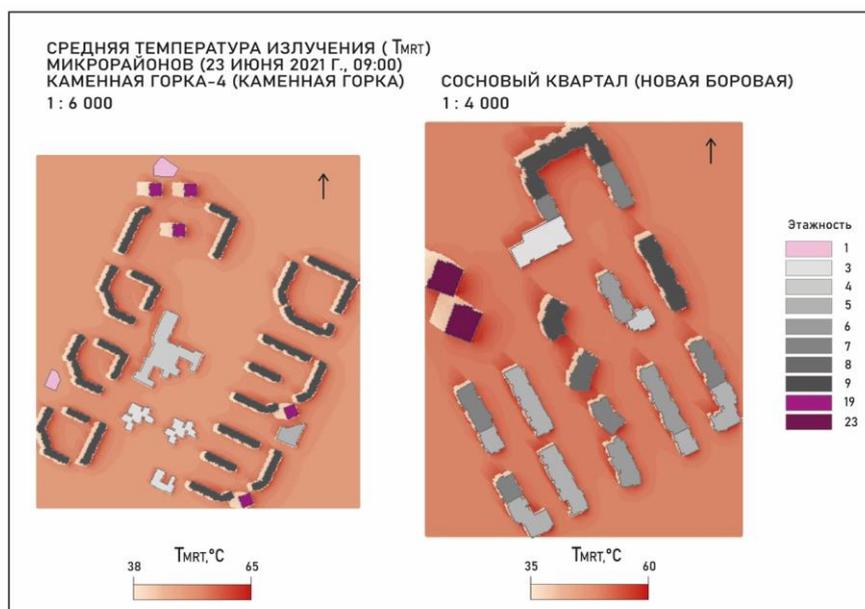


Рисунок 2 – Средняя температура излучения

Закключение. На данном этапе были построены две микроклиматические модели микрорайонов Минска в SkyHelios, ранее не применяемом для исследований микроклимата города, но позволяющим быстро получить биоклиматические данные для дальнейшего анализа и принятия решений.

Список цитированных источников

1. Oke, T. R. *Boundary Layer Climates*; Routledge: Abington-on-Thames, UK, 2002.
2. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: United Nations.
3. *World Population Review* [Электронный ресурс] – Режим доступа: Most Urbanized Countries 2022 (worldpopulationreview.com) – Дата доступа: 20.05.2022.
4. Fröhlich, D., Matzarakis, A. (2018) *Spatial Estimation of Thermal Indices in Urban Areas—Basics of the SkyHelios Model*. *Atmosphere*.
5. Gagge, A.; Fobelets, A.; and Berglund, L., (1986): A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions* (92), 709–731.
6. Höppe, P. R. (1999): The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol* 43, 7.
7. Jendritzky, G.; Dear, de R.; and Havenith, G., (2012): UTCI-Why another thermal index? *Int J Biometeorol* (56), 421–428.
8. Lin, T.-P. and Matzarakis, A., (2011): Estimation of outdoor mean radiant temperature by field experiment and modelling for human-biometeorology use. In: *Proceedings of the 11th annual meeting of the European Meteorological Society, 2011–2089*. Berlin, Germany.
9. Fröhlich, D. and Matzarakis, A., (2013): Modeling of changes in thermal bioclimate: examples based on urban spaces in Freiburg, Germany. *Theoretical and Applied Climatology* (111), 547–558. DOI: 10.1007/s00704-012-0678-y.
10. Charalampopoulos, I.; Tsiros, I.; Chronopoulou-Sereli, A.; and Matzarakis, A., (2013): Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece. *Urban Ecosystems* 16(2), 217–233. DOI: 10.1007/s11252-012-0252-5.
11. Matzarakis, Andreas Matuschek, Olaf. (2011). Sky view factor as a parameter in applied climatology - Rapid estimation by the SkyHelios model. *Meteorologische Zeitschrift*. 20. 39-45. 10.1127/0941-2948/2011/0499.
12. C. R. de Freitas & E. A. Grigorieva (2015) A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices *Int J Biometeorol* 59:109–120 DOI 10.1007/s00484-014-0819-3.
13. Jendritzky G, Staiger H, Bucher K, Graetz A, Laschewski G. (2000) The perceived temperature—the method of the Deutscher Wetterdienst for the assessment of cold stress and heat load for the human body. In: *Internet Workshop on Windchill, hosted by Environment Canada, April 3–7, 2000*.
14. Mayer H, Höppe P (1987) Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor Appl Climatol* 38:43–49.

15. Jendritzky G, Havenith G, Weihs P, Batchvarova E (2009) Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being. Final Report COST Action 730, Freiburg.
16. Jendritzky G, de Dear R, Havenith G (2012) UTCI—why another thermal index? *Int J Biometeorol* 56(3):421–428.
17. VDI, (2008): VDI Guideline 3787, Part 2: Environmental Meteorology. Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level. Part I: Climate. VDI.
18. Staiger, H.; Laschewski, G.; and Graetz, A., (2012): The perceived temperature - a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. *International Journal of Biometeorology* 56(1), 165–176. doi: 10.1007/s00484-011-0409-6.
19. Matzarakis, A.; Mayer, H.; and Iziomon, M. G., (1999): Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology* 43(2), 76–84. DOI: 10.1007/s004840050119.
20. Matzarakis, A. and Mayer, H., (1996): Another kind of environmental stress: Thermal stress. *WHO Newsletter* (18), 7–10.
21. Климатическая характеристика июня 2021 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-karakteristika-ijunja-2021-goda-4361-2021/>. – Дата доступа : 20.05.2022.
22. Архив погоды – Беларусь – Минск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=26850> – Дата доступа : 20.05.2022.

УДК 631.674

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПОЛИВНЫХ НОРМ ПРИ ОРОШЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

А. С. Анженков, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина

РУП «Институт мелиорации», Минск, Беларусь, nimel@mail.ru

Аннотация

Разработана методика определения оптимальных поливных норм, которая позволяет установить наиболее экономически выгодное соотношение между прибавкой урожая и суммарными затратами на ее получение на орошаемом поле с учетом технико-экономических показателей конкретной оросительной системы.

Ключевые слова: методика, поливная норма, сельскохозяйственные издержки, водно-физические свойства почв, затраты на орошение.

DETERMINATION OF OPTIMUM IRRIGATION RATES FOR IRRIGATION OF AGRICULTURAL PLANTS

A. S. Anzhenkov, A. P. Likhatsevich, G. V. Latushkina