

УДК 551.588
DOI 10.17513/use.38039

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТРОВА ТЕПЛА ГОРОДА УФА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Смертин Г.Ю., Насырова Э.С.

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, e-mail: Nasyrova.ES@ugatu.su

Антропогенные преобразования земной поверхности в пределах городов привели к появлению такого явления, как городской остров тепла. Высотная застройка городов породила эффект городского каньона. В настоящее время эти два явления изучают не по отдельности, а вместе, и в основном исследуют особенности городского острова тепла в городском каньоне. Выделяют два основных типа островов тепла: связанный с температурой воздуха и с температурой земной поверхности (поверхностный остров тепла). В зависимости от типа острова тепла используются различные методы исследования. Для выявления первого типа анализируются данные температуры воздуха, измеряемые в городе на метеостанциях. Для выявления второго типа используются спутниковые снимки, охватывающие всю территорию города и также загородную зону. В работе обработаны снимки со спутника Landsat 8 (10 канал) в программе QGIS и получены температурные снимки поверхности города Уфа с 2014 по 2018 года по сезонам. В соответствии с полученными результатами обработанных снимков, видно, что остров тепла в городе Уфа присутствует во все сезоны и в каждом году. На снимках отчетливо выделяются водотоки и водоем-охладитель ТЭЦ. Внутри города выделяются зоны с наивысшей температурой поверхности, соответствующие скоплениям автомобилей, нагретым крышам, выбросам с предприятий и объектов электроэнергетики.

Ключевые слова: городской острова тепла, городской каньон, температура поверхности, спутниковый снимок, Landsat 8, QGIS, город Уфа

RESEARCH OF HEAT ISLAND IN UFA CITY ACCORDING TO SATELLITE IMAGES

Smertin G.Y., Nasyrova E.S.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, e-mail: Nasyrova.ES@ugatu.su

Anthropogenic transformations of the earth's surface within cities have led to the appearance of such a phenomenon as an urban heat island. High-rise urban development has generated the effect of an urban canyon. Currently, these two phenomena are not studied separately, but together and mainly investigate the features of the urban heat island in the urban canyon. There are two main types of heat islands: associated with air temperature and with the temperature of the earth's surface (surface heat island). Depending on the type of heat island, various research methods are used. To identify the first type, air temperature data measured in the city at weather stations are analyzed. To identify the second type, satellite images are used, covering the entire territory of the city and also the suburban area. The work processed images from the Landsat 8 satellite (channel 10) in the QGIS program and obtained surface temperature images of the Ufa city from 2014 to 2018 by season. According to the results of the processed images, it is clear that the heat island in the Ufa city is present in all seasons and in every year. The images clearly show the watercourses and the cooling reservoir of the CHP. Inside the city, zones with the highest surface temperature are allocated, corresponding to accumulations of cars, heated roofs, emissions from enterprises and electric power facilities.

Keywords: urban heat island, urban canyon, surface temperature, satellite image, Landsat 8, QGIS, Ufa city

Урбанизированная территория изменяет температуру поверхности по сравнению с температурой природного окружения (загородной зоны) на несколько градусов. Данное явление назвали – феномен городского острова тепла (urban heat island). Основная причина повышения температуры воздуха и поверхности в городах – антропогенные преобразования земной поверхности за счет: плотной застройки; использования искусственных материалов, поглощающих тепловое излучение; уменьшения зеленых насаждений; увеличения автомобильного транспорта и промышленных предприятий; загрязнения атмосферного воздуха (изменения радиационных свойства атмосферы над городом) [1]. Формирование городского острова тепла связывают также с архитектурными особенностями урбанизи-

рованной территории. Современные города характеризуются точечными высотными застройками, которые имеют большую площадь поверхности для отражения и поглощения солнечного излучения, что приводит к увеличению нагрева прилегающих территорий, также они блокируют ветры и соответственно снижают интенсивность конвективного охлаждения. Данное явление назвали – эффект городского каньона (urban canyon effect).

В настоящее время эти два явления изучают не по отдельности, а вместе, и в основном исследуют особенности городского острова тепла в городском каньоне. Например, в работе [2] изучена связь между городским островом тепла в городском каньоне и параметрами улицы (соотношением сторон) по времени суток и по сезонам. Полу-

ченными авторами работы результаты показали, что соотношение между островом тепла и соотношением сторон здания определяют два противодействующих процесса: улавливание длинноволнового излучения, которое способствует формированию острова тепла и эффект затенения, который наоборот способствует формированию снижению острова тепла. Летом, осенью и весной эффект затенения уменьшают остров тепла, начиная с соотношения сторон от 0,5 до 1. В другой работе [3] разработан инструмент THIS для расчета максимальной интенсивности городских тепловых островов на основе данных городской планировки, а именно с использованием соотношения высоты и ширины городского каньона.

Georgakis С. и др. [4] проводили изменение температуры поверхности в летний период внутри глубокого городского каньона в центре Афин одновременно с CFD-моделированием температуры поверхности на фасадах зданий и на уровне улицы, а также температуры воздуха внутри каньона. Для решения проблемы острова тепла авторы предлагают использовать «холодные» покрытия, обеспечивающие высокую отражательную способность солнечного излучения. В работе [5] также изучались светоотражающие материалы в качестве потенциальной технологии смягчения последствий явления городского острова тепла.

Rajagopalan Р. и др. [6] в качестве меры снижения интенсивности острова тепла в городских районах рассматривают скорость ветра. Охлаждающий эффект ветра помогает смягчить неблагоприятное воздействие острова тепла на городской микроклимат и тепловой комфорт человека. Авторы исследуют причины возникновения острова тепла в городе Муар (Малайзия) и влияние различной городской планировки на поток ветра. Результаты этого исследования показывают, что конфигурация городской планировки в виде «step up» является наиболее эффективной планировкой, поскольку она позволяет равномерно распределять ветер и даже достигать ему подветренной стороны каждого здания.

Выделяют два основных типа островов тепла: 1) связанный с температурой воздуха; 2) связанный с температурой земной поверхности или поверхностный остров тепла. При этом разницу между температурой поверхности и воздуха является потенциалом теплового острова [7]. Кроме двух основных типов острова тепла в работе [8, 30 с.] выделяют следующие типы

городского теплового острова: подповерхностный, поверхностный, городского полого и городского пограничного слоя.

В зависимости от типа острова тепла используются различные методы исследования. Для выявления первого типа острова тепла анализируются данные температуры воздуха, измеряемые в городе на метеостанциях. Для выявления второго типа острова тепла используются спутниковые снимки, охватывающие всю территорию города и также загородную зону. Как известно, сами спутники не измеряют температуру, а фиксируют яркость в разнообразных диапазонах длин волн. Во многих работах основным источником информации являются данные космической съёмки в тепловом инфракрасном диапазоне. На инфракрасных снимках поверхностный остров тепла выделяется как зона повышенной яркости, соответствующей тепловой аномалии в пределах города.

Саргазаков А.А. и др. [9] проанализировали температуру поверхности земли города Бишкек по снимкам со спутника Landsat за 1994 и 2017 года с применением Quantum GIS и ENVI. Газимов Т.Ф. и Кужевская И.В. в своей работе [10] оценили интенсивность поверхностного городского острова тепла в городе Новосибирск в летний период с 2018 по 2020 г. по данным снимкам Landsat 8, используя каналы 4, 5 и 10. Балдина Е.А. и др. [11] рассматривают возможность применения для описания поверхностного острова тепла и выявления тепловых аномалий спутниковые снимки ASTER/Terra, TM/Landsat-5 и ETM+/Landsat-7 (90, 120 и 60 м соответственно). Матузко А.К. и Якубайлик О.Е. изучали городской остров тепла в городе Красноярск по спутниковым снимкам Landsat-8 с 2013 по 2020 года [12]. Грищенко в своей работе [13] акцентирует внимание на будущую проблему недостатка спутниковых снимков высокого пространственного разрешения в тепловом инфракрасном диапазоне для исследования городского острова тепла из-за технического перевооружения спутников.

Примером урбанизированной территории с точечной высотной застройкой, для которой возможно наличие городского острова тепла и городского каньона является город-миллионер Уфа. Ранее авторами изучен эффект городского острова тепла в городе Уфа, связанный с температурой воздуха, по данным пунктов наблюдения за загрязнением воздуха [14]. В связи с этим целью данной работы является исследо-

вание поверхностного городского острова тепла по данным спутниковых снимков для дальнейшего выявления взаимосвязи между островом тепла и городским каньоном.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является город-миллионер Уфа. Для городского ландшафта характерно наличие различных функциональных зон (промышленные, жилые) с включением различных природных компонентов (р. Белая, р. Уфа, р. Дема, водоемы природного и искусственного происхождения, парковые зоны). Городская планировка относится к типу «город-холм».

Снимки со спутника Landsat 8 получены из открытого ресурса Earthexplorer. Спутник Landsat 8 получает данные, используя два набора инструментов: Operational Land Imager (OLI) и Thermal InfraRed Sensor (TIRS). Первый набор получает изображения в 9 диапазонах видимого света и ближнего инфракрасного излучения, второй набор – в 2 диапазонах дальнего (теплого) инфракрасного излучения.

Для обнаружения острова тепла и оценки его сезонной изменчивости использовались спутниковые снимки Landsat 8 в канале 10 (дальний инфракрасный – Long Wavelength Infrared, TIR1) с 2014 по 2018 года за каждый сезон. Из 593 снимков, имеющих на ресурсе Earthexplorer, выбрано 17 качественных, т.е. город Уфа полностью попал в снимок и облачность менее 20% (рисунок 1).

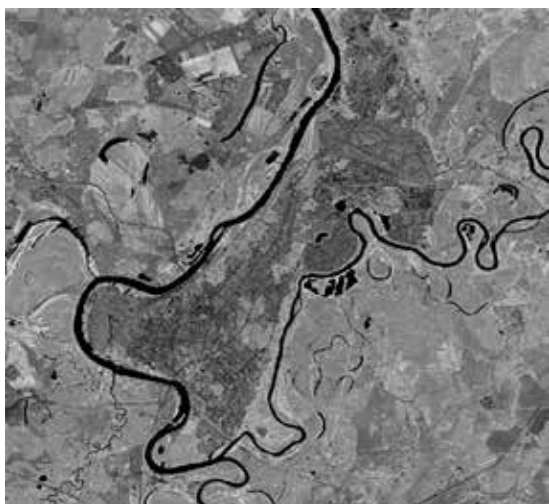


Рис. 1. Необработанный спутниковый снимок г. Уфа (2014 год)

Для обработки качественных спутниковых снимков использовалось программное

обеспечение QGIS – свободная кроссплатформенная геоинформационная система, а именно плагин Semi-Automatic Classification Plugin.

Результаты исследования и их обсуждение

Метеорологическая характеристика исследуемого периода:

– 2014 год: теплый; осадки 526 мм – 104% от нормы; $t_{\text{ср.год.}} + 3,1^{\circ}\text{C}$ (на $0,6^{\circ}\text{C}$ выше среднего).

– 2015 год: теплый, осадки 605 мм – 120% от нормы; $t_{\text{ср.год.}} + 4,2^{\circ}\text{C}$ (на $1,7^{\circ}\text{C}$ выше среднего); положительные аномалии температуры воздуха; аномально теплые – февраль, июнь, декабрь; теплые – январь, март, май и сентябрь.

– 2016 год: осадки 495 мм – близко к норме 98%; $t_{\text{ср.год.}} + 4,5^{\circ}\text{C}$ (на $2,0^{\circ}\text{C}$ выше нормы); за последние 30 лет четвертый самый теплый год; с января по сентябрь положительные аномалии температуры воздуха; с 1937 года февраль ($+9,3^{\circ}\text{C}$) и август ($+6,7^{\circ}\text{C}$) рекордно теплые; 15 раз перебивались абсолютные максимумы температуры воздуха (в феврале, марте, апреле, августе) и 3 раза – абсолютные минимумы температуры воздуха в декабре.

– 2017 год: теплый; $t_{\text{ср.год.}} + 3,7^{\circ}\text{C}$ (на $1,2^{\circ}\text{C}$ выше нормы); осадки 597 мм – 119% от нормы; высокое количество осадков в первом полугодии – 163% от нормы и позднее установление постоянного снежного покрова (на месяц позже многолетних сроков).

– 2018 год: умеренно теплый; $t_{\text{ср.год.}} + 2,9^{\circ}\text{C}$ (на $0,4^{\circ}\text{C}$ выше нормы); осадки 457 мм – 91% от среднеевропейских значений; самые теплые – июль и октябрь ($t_{\text{ср.мес.}}$ на $2,6^{\circ}\text{C}$ выше нормы); самый холодный – март (на $3,3^{\circ}\text{C}$ ниже нормы) [15].

Обработанные спутниковые снимки с картами температуры поверхности города Уфа и указанием среднесуточной температуры воздуха в этот день представлены на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, основные водные артерии города Уфа – Белая и Уфа мандрирующие, и их отчетливо видно на всех снимках. По зимним и весенним снимкам отслеживается период ледостава и вскрытия рек. Другим отличительным водным объектом на снимках является пруд Теплый, который используется для круглогодичного сброса подогретых вод Уфимской ТЭЦ-2. Данный водоем отчетливо выделяется на зимних и осенних снимках, поскольку температура воды в это время $10-18^{\circ}\text{C}$ и во-

доем не замерзает. Сброс подогретых вод из пруда Теплый через шахтный водосброс осуществляется в реку Уфа, соответственно место сброса тоже не замерзает.

Анализируя все представленные снимки видно, что температура поверхности внутри города отличается от пригородной на несколько градусов.

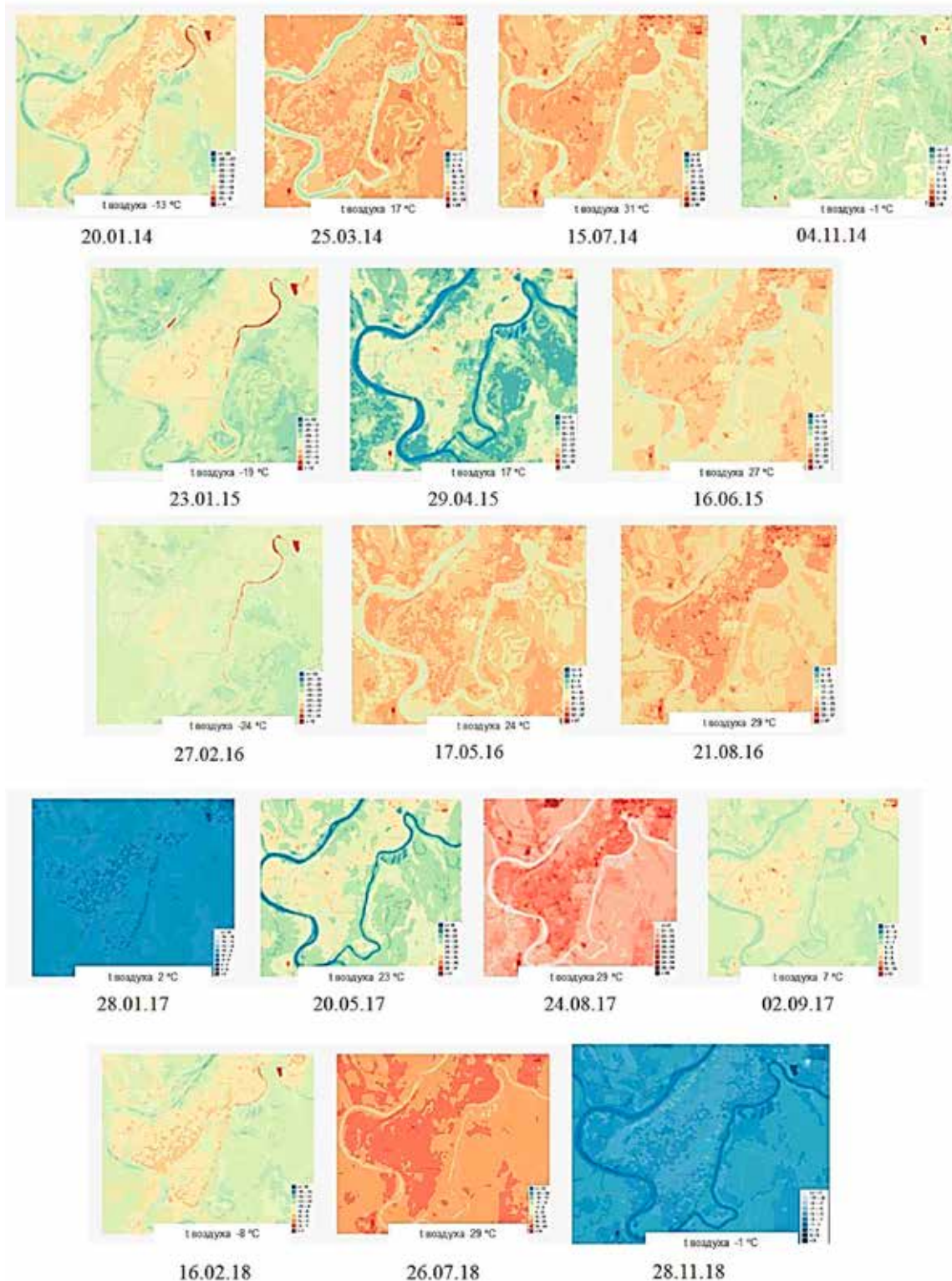


Рис. 2. Температурные снимки города Уфа за 2014-2018 года

На всех снимках присутствуют «яркие пятна» внутри города Уфа, т.е. места с повышенной температурой в отличие от окружающих объектов. Однако природа этих пятен разнородна в каждом отдельном случае: пробки на дорогах, крыши нагретых зданий, выбросы ТЭЦ и промышленных предприятий, потери тепла от зданий и с теплотрассы.

Как показал проведенный анализ работ в области исследования городского острова тепла, авторы детально рассматривают специфику острова тепла по спутниковым снимкам в летний период.

В 2014 году на летнем снимке яркие пятна с температурой поверхности более 39°C соответствуют промышленным предприятиям УМПО и УАП Гидравлика, гаражной кооперации и ТЦ Мега Уфа. Анализ фото 2GIS показал, что крыши промышленных зданий и гаражей покрыты рубероидом, имеющим коэффициент поглощения солнечной радиации 0,9, что и обуславливает температурные аномалии на снимках. ТЦ Мега крупнейший торговый центр города Уфа, имеющий площадь 141800 м². Повышение температуры поверхности предположительно обусловлено материалом крыши и системой вентиляции, имеющей многочисленные выходы на крышу.

В 2015 году на летнем снимке кроме ярких пятен, соответствующих проанализированному в 2014 году, присутствуют пятна с температурой поверхности 34-37°C территориально на проспекте Салавата Юлаева. Данный проспект является главной магистралью города Уфа с 8 полосами для движения. Предположительно на спутниковом снимке запечатлен момент пробки или затрудненного движения, как известно, отдельные элементы автомобиля нагреваются до 60-70°C.

В 2016 году на летнем снимке температура поверхности города достигала 33-37°C, в 2017 – 30-36°C, а в 2018 – более 34°C.

Следует отметить, что все снимки сделаны в разные дни, хронологический ряд в течение года и между годами отсутствует, что не позволяет оценить изменения острова тепла во времени.

Полученные снимки температуры поверхности города Уфа, а именно на центральных улицах, образующих городской каньон, позволяют провести детальное исследование температурного режима внутри каньона. Как элемент городской застройки городской каньон представляет собой упрощенную геометрическую форму ули-

цы в профиль: основание – улица, борта – стены зданий, расположенных вдоль нее. Дальнейшим этапом работы является исследование температурно-ветрового режима городских каньонов г. Уфа (Республика Башкортостан), расположенных рядом с учебными корпусами Уфимского университета науки и технологий.

Заключение

В работе обработаны снимки со спутника Landsat 8 (10 канал) в программе QGIS и получены температурные снимки поверхности города с 2014 по 2018 года по сезонам. В соответствии с полученными результатами обработанных снимков, видно, что остров тепла в городе Уфа присутствует во все сезоны и в каждом году. На снимках отчетливо выделяются водотоки и водоем-охладитель ТЭЦ. Внутри города выделяются зоны с наивысшей температурой поверхности, соответствующие скоплениям автомобилей, нагретым крышам, выбросам с предприятий и объектов электроэнергетики. Следует отметить, что спутниковый снимок позволяет запечатлеть одномоментную ситуацию в городе с широким охватом территории, но не позволяет оценить ежедневные изменения температурные изменения в виду отсутствия снимков. Расшифровка обработанных спутниковых снимков требует детального анализа сложившейся ситуации в городе в момент получения снимка и учета метеорологических параметров.

Список литературы

1. Michelin R.C., Kovács G.L. Life-Cycle Eco-Services for Sustainability // *Systems Engineering and Information Technologies*. 2020. Vol. 2, № 2 (4). P. 5-15.
2. Theeuwes N.E. et al. Seasonal dependence of the urban heat island on the street canyon aspect ratio // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2014. Vol. 140, № 684. P. 2197-2210. DOI: 10.1002/qj.2289.
3. Nakata-Osaki C.M., Souza L.C.L., Rodrigues D.S. THIS – tool for heat island simulation: a GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry // *Computers, Environment and Urban Systems*. 2018. Vol. 67. P. 157-168. DOI: 10.1016/j.compenvurbssys.2017.09.007.
4. Georgakis C., Zoras S., Santamouris M. Studying the effect of «cool» coatings in street urban canyons and its potential as a heat island mitigation technique // *Sustainable Cities and Society*. 2014. Vol. 13. P. 20-31. DOI: 10.1016/j.scs.2014.04.002.
5. Rossi F., Castellani B., Presciutti A., Morini E., Anderini E., Filippini M., Nicolini A. Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 126. P. 340-352. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.05.036.
6. Rajagopalan P., Lim K.C., Jamei E. Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city // *Solar Energy*. 2014. Vol. 107. P. 159-170. DOI: 10.1016/j.solener.2014.05.042.
7. Gülten A., Aksoy U.T., Öztöpe H.F. Influence of trees on heat island potential in an urban canyon // *Sustainable cit-*

- ies and society. 2016. Т. 26. С. 407-418. DOI: 10.1016/j.scs.2016.04.006.
8. Oke T., Mills G., Christen A., Voogt, J. Urban climates. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2017. 519 p.
9. Саргазаков А.А., Урмамбетова Т.К., Токтомамбетов И.К. Выявление температуры поверхности земли с применением космоснимков для изучения вопросов городского планирования // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. № 11. С. 15-21. DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557.
10. Газимов Т.Ф., Кужевская И.В. Оценка летнего поверхностного городского острова тепла города Новосибирск по данным Landsat 8 // Географический вестник. 2021. № 4 (59). С. 84-98. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-4-84-98.
11. Балдина Е.А., Константинов П., Грищенко М., Варенцов М. Исследование городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном тепловом диапазоне // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. 2015. № 5. С. 38-42.
12. Магузко А.К., Якубайлик О.Е. Моделирование городского острова тепла по многолетним спутниковым данным // Южно-Сибирский научный вестник. 2021. № 4. С. 50-55.
13. Грищенко М.Ю. Аэрокосмические исследования городского острова тепла // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2013. Т. 19. С. 22-28.
14. Хайрулина С.Н., Смертин Г.Ю., Васильева Е.А., Насырова Э.С., Елизарьев А.Н., Хамитов А.Р. Исследование острова тепла города Уфы по данным пунктов наблюдения // Успехи современного естествознания. 2022. № 5. С. 84-89. DOI: 10.17513/use.37829.
15. Доклады об экологической ситуации на территории Республики Башкортостан в 2014-2018 годах: электронный ресурс. URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/> (дата обращения 07.05.2023).