



УДК 528.8 (571.53)

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.34.131>

Изучение параметров городских «островов тепла» на территории Иркутской области по данным дистанционного зондирования

Е. Н. Сутырина

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Целью исследования является определение границ и интенсивности городских «островов тепла» на территории Иркутской области и оценка изменения этих параметров за многолетний период. В рамках данной работы для исследования феномена «острова тепла» городов Иркутской области использована информация о температуре поверхности суши, восстановленная по данным тепловой инфракрасной съемки радиометром AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) за 1998–2019 гг. В результате исследования получены разновременные карты с отображением городского «острова тепла» в пределах агломерации Иркутск – Ангарск – Шелехов, а также г. Братска. Исследуемые «острова тепла» характеризуются ярко выраженной суточной динамикой: разница значений температуры между городом и пригородом летом в дневное время суток может достигать 8–10 °С, в вечернее и ночное время летом этот показатель снижается до 3–5 °С. Размеры «островов тепла» исследуемых городов в дневное время суток превосходят размеры данных тепловых аномалий в вечернее и ночное время. Межгодовая изменчивость интенсивности «островов тепла» не показала статистически значимых тенденций с 1998 по 2019 г., площади «островов тепла» заметно увеличились за период исследования. Обнаруженное увеличение площади, вероятно, связано с развитием исследуемых городов, трансформацией ландшафтов и снижением густоты растительного покрова в пригородах. В работе для оценки вклада недостатка растительности в формирование «островов тепла» летом в дневное время были сопоставлены значения температуры поверхности земли со значениями вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Анализ взаимосвязей между этими показателями обнаружил, что температура поверхности земли в дневное время находится в тесной обратной связи с NDVI, в то время как ночью и вечером эта связь оказалась менее выраженной.

Ключевые слова: городской «остров тепла», Иркутская область, температура поверхности земли, дистанционное зондирование, данные радиометра AVHRR.

Для цитирования: Сутырина Е. Н. Изучение параметров городских «островов тепла» на территории Иркутской области по данным дистанционного зондирования // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 34. С. 131–140. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.34.131>

Введение

Одним из наглядных примеров антропогенного влияния на климат городов может служить более высокая температура воздуха и подстилающей поверхности в пределах городов по сравнению с температурой окружающих пригородов и образование так называемого городского «острова тепла» [Li,

Mitra, Dong, 2018; Miku, 2019], при этом каждый город обладает уникальным сочетанием физико-географических и урбанистических характеристик и требует отдельного изучения. Формирование «острова тепла» ведет к понижению комфортности городской среды для жителей. Более высокие температуры в черте города по сравнению с окружающими предместьями летом и повышенная влажность зимой неблагоприятно влияют на здоровье горожан [Wang, Liu, Tang, 2019; Weng, 2019]. Указанное обстоятельство придает актуальность исследованиям городских «островов тепла» и поиску путей снижения эффекта повышения температуры воздуха и поверхности в черте городов.

Среди основных причин возникновения городских «островов тепла» выделяются повышение применения искусственных материалов и увеличение антропогенного производства тепла. Тепловые выбросы промышленных предприятий, автомобильного транспорта и других видов хозяйственной деятельности повышают температуру в черте городов, в связи с этим температура воздуха и подстилающей поверхности в городах бывает выше, чем в окрестностях городов, на 7–15 °С [Алексашина, Туан, 2018]. Тепловые потери в энергетике могут служить одним из значимых факторов возникновения «островов тепла»: существенная часть тепла от сжигаемого топлива попадает в атмосферу, также имеют место потери тепла в градирнях, охлаждающих прудах и теплотрассах. Высокий уровень загрязнения городских территорий также может усилить эффект «теплого острова», так как многие виды загрязнителей изменяют радиационные свойства атмосферы. В то же время быстрый рост и развитие инфраструктуры городов обычно приводят к осязаемому изменению земной поверхности и трансформации ландшафтов, в результате чего естественная растительность удаляется и заменяется непроницаемыми, нетранспирирующими поверхностями, такими как асфальт, бетон и т. д. Сложность городских структур способствует изменению основных факторов, контролирующих энергообмен на поверхности земли, таких как альbedo земной поверхности, коэффициент испускательной способности и теплоемкость, в итоге происходит перераспределение тепловых потоков [Rizwan, Dennis, Liu, 2008].

Оценка характеристик городских «островов тепла» важна для целого ряда вопросов и тем в науках о Земле, имеющих ключевое значение для городской климатологии, а также для практики планирования и муниципального управления [Weng, Larson, 2005]. Таким образом, целью проведенного исследования является определение границ и интенсивности городских «островов тепла» на территории Иркутской области и оценка изменения этих параметров за многолетний период.

Материалы и методы исследования

Для целей изучения городской среды, и «островов тепла» в частности, полезным инструментом являются данные дистанционного зондирования [Grimmond, 2007; Grishchenko, 2013]. Одним из преимуществ использования данных дистанционного зондирования по сравнению с использованием дан-

ных, которые регистрируются в черте городов на метеорологических станциях, служит то, что спутниковые материалы позволяют получать одновременное покрытие всей территории города. Кроме того, метеорологическая сеть в пределах города не всегда является до такой степени полной, насколько это требуется, и станции редко равномерно распределены в пределах города. Значит, при использовании только наземных данных значительные части территории городов могут остаться не охваченными информацией.

Наиболее значимым индикатором интенсивности «острова тепла» является разница температуры между городом и предместьями. В рамках данной работы для оценки пространственного распределения теплового загрязнения и исследования феномена городских «островов тепла» в пределах Иркутской области были использованы данные о температуре поверхности земли LST (Land Surface Temperature), восстановленные с применением алгоритмов, описанных в [Sobrino, Julien, Hidalgo, 2008], по данным тепловых инфракрасных каналов радиометра AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) на борту метеорологических спутников серии MetOp (Meteorological Operational satellite programme) и серии NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) за 1998–2019 гг.

Температура LST, полученная по данным измерения теплового инфракрасного излучения, является ключевым параметром при анализе и моделировании поверхностного энергетического баланса и оценке изменения климата в различных пространственных масштабах. Температура поверхности LST и ее пространственно-временные вариации также являются предметом исследований городского «острова тепла», так как разница между температурой поверхности земли LST в пределах города и его окрестностей является результатом изменений в процессе урбанизации подстилающего покрова, теплоемкости и трехмерной структуры городских построек [Voogt, Oke, 2003; Weng, 2009; Schwarz, Lautenbach, Seppelt, 2011]. В работе границы «островов тепла» выделялись по положению наибольшего градиента температуры LST.

Результаты и обсуждение

В результате исследования были получены разновременные карты с отображением участков тепловых аномалий, включая городские «острова тепла» на территории Иркутской области. Данные тепловой инфракрасной съемки позволили оценить общую мощность и протяженность «тепловых островов», оценить их динамику, сопоставить размер и интенсивность «тепловых островов» разных городов. Было выявлено, что эффект «островов тепла» не ограничивается крупными мегаполисами и обнаруживается в населенных пунктах с населением менее 50 тыс. человек.

Особое внимание было уделено исследованию «островов тепла» агломерации Иркутск – Ангарск – Шелехов и г. Братска. «Острова тепла» данных городов характеризуются ярко выраженной суточной изменчивостью, что свойственно подобным тепловым аномалиям, однако наибольших значений разница температур в черте городов и в предместьях наблюдается у исследуемых объектов не ночью, а днем, что присуще далеко не всем «островам тепла». Летом в дневное время этот показатель может достигать 8–

10 °С, в вечернее и ночное время разница температур заметно снижается до 3–5 °С. Подобное явление может находить объяснение в том, что в дневное время суток наибольший вклад в формирование данных «островов тепла», возможно, дает недостаток растительности на городских и прилегающих к ним территориях.

Размер «островов тепла» указанных городов в дневное время суток также превосходит их размер в вечернее и ночное время, что видно на рис. 1 и 2. «Острова тепла» также обнаруживаются зимой, но по размеру уступают городским «островам тепла», детектируемым в летние месяцы, что, видимо, может быть связано с важной ролью в формировании «острова тепла» недостатка растительности.

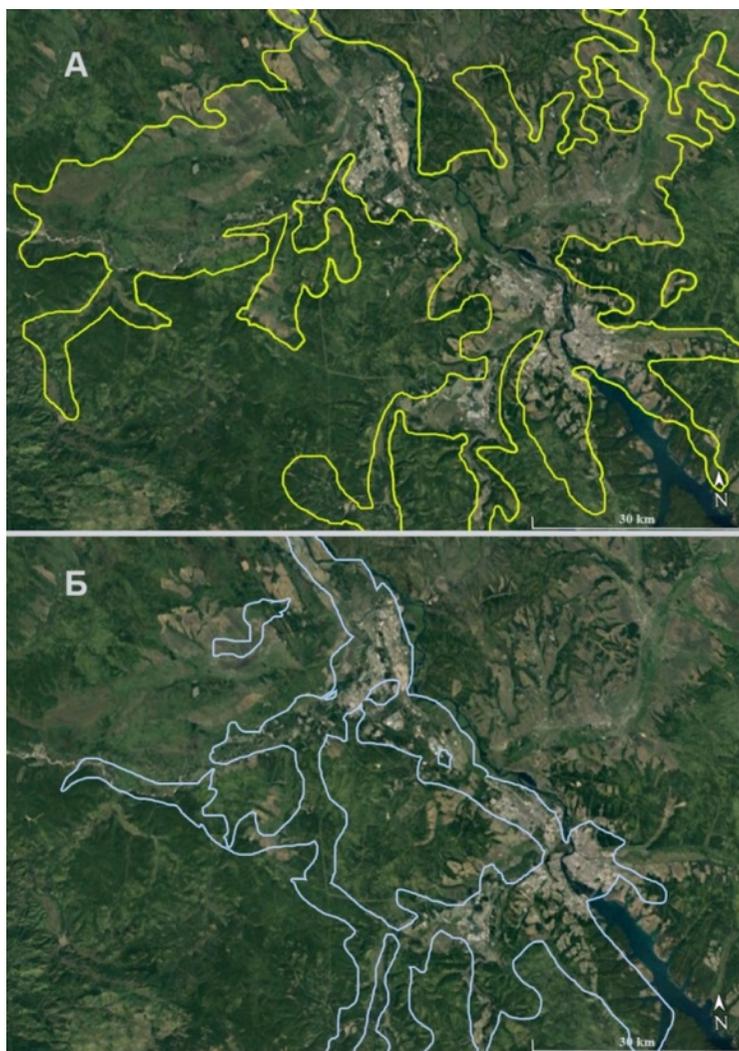


Рис. 1. Положение «острова тепла» агломерации Иркутск – Ангарск – Шелехов в июле 2019 г. днем (А) и ночью (Б)

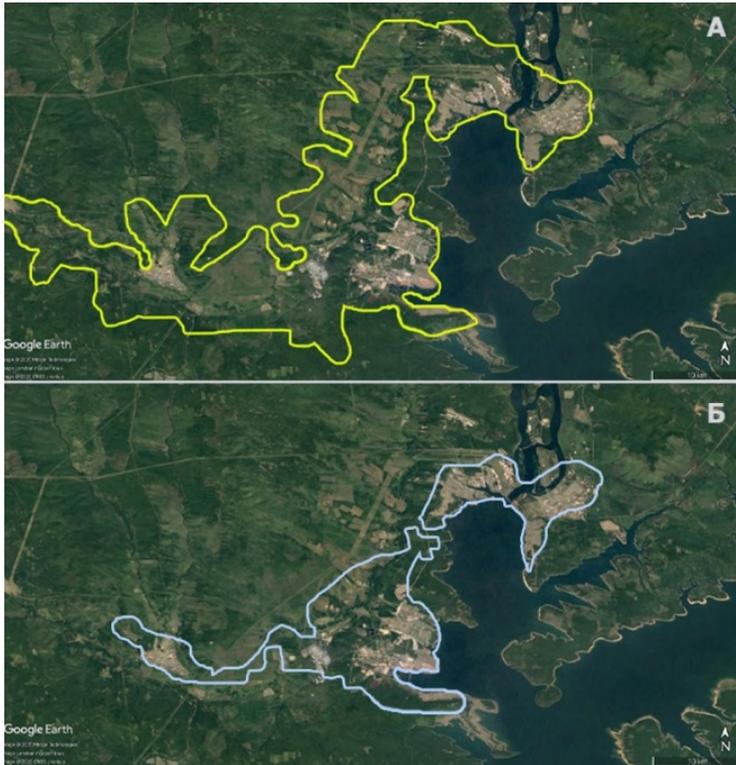


Рис. 2. Положение «острова тепла» г. Братска в июле 2019 г. днем (А) и ночью (Б)

Кроме суточной и сезонной динамики, в работе оценивалась межгодовая изменчивость интенсивности и размеров «островов тепла». И если интенсивность, выраженная через перепад температуры между городом и его окрестностью, не показала статистически значимых тенденций за период исследования с 1998 по 2019 г., то площади «островов тепла» заметно выросли за этот период, что видно по положению «островов тепла» в июле 1998 и 2019 гг. в одно и то же время днем (рис. 3 и 4). Обнаруженное увеличение площадей «островов тепла», вероятно, обусловлено развитием исследуемых городов, трансформацией ландшафтов и снижением густоты растительного покрова в пригородах.

В работе для оценки вклада недостатка растительности в формирование «острова тепла» летом в дневное время были сопоставлены значения температуры LST с рассчитанным по данным видимого и ближнего инфракрасного диапазонов значениям нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который широко используется для оценки состояния растительности. Более высокие значения NDVI указывают на более высокую долю растительности от площади пикселя. Анализ взаимосвязей между этими показателями обнаружил, что температура поверхности LST в дневное время суток находится в тесной обрат-

ной связи с NDVI, в то время как ночью и вечером эта связь оказалась менее выраженной. На рисунке 5 продемонстрировано соотношение положения границ «островов тепла» исследуемых населенных пунктов с характером растительности, которое показывает хорошее соответствие.

Полученные результаты исследования хорошо соотносятся с выводами ряда авторов, изучавших феномен городских «островов тепла» других городских образований [Nichol, 2005; Bonafoni, Anniballe, Pichierri, 2015].

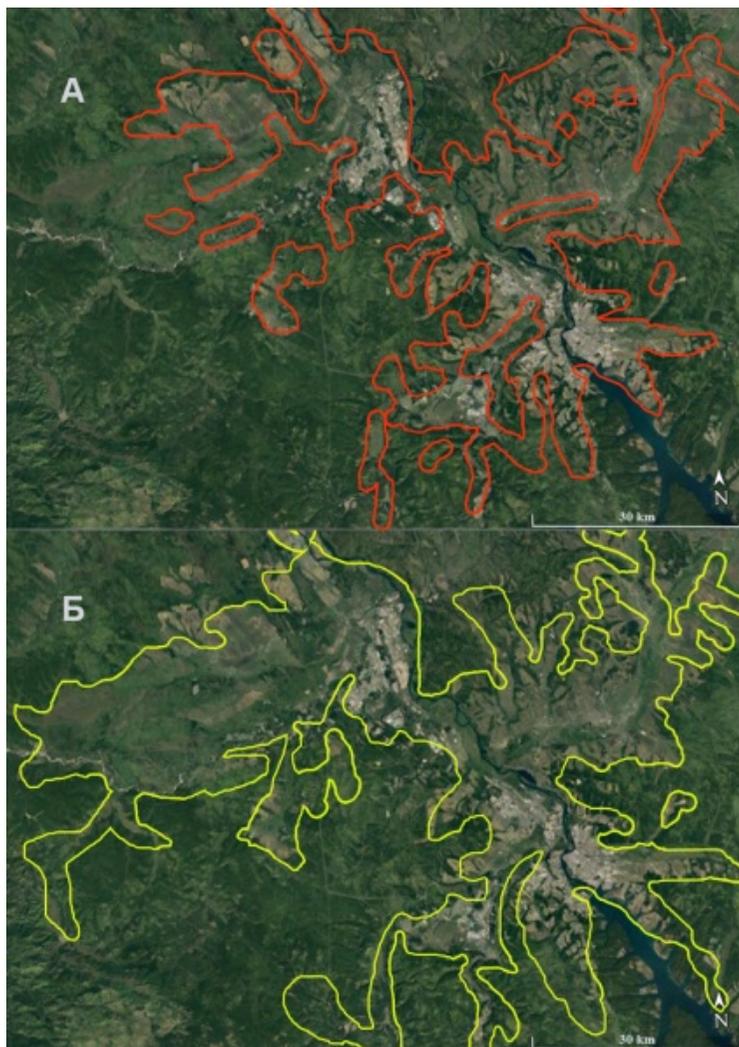


Рис. 3. Положение «острова тепла» агломерации Иркутск – Ангарск – Шелехов в июле днем в 1998 г. (А) и 2019 г. (Б)

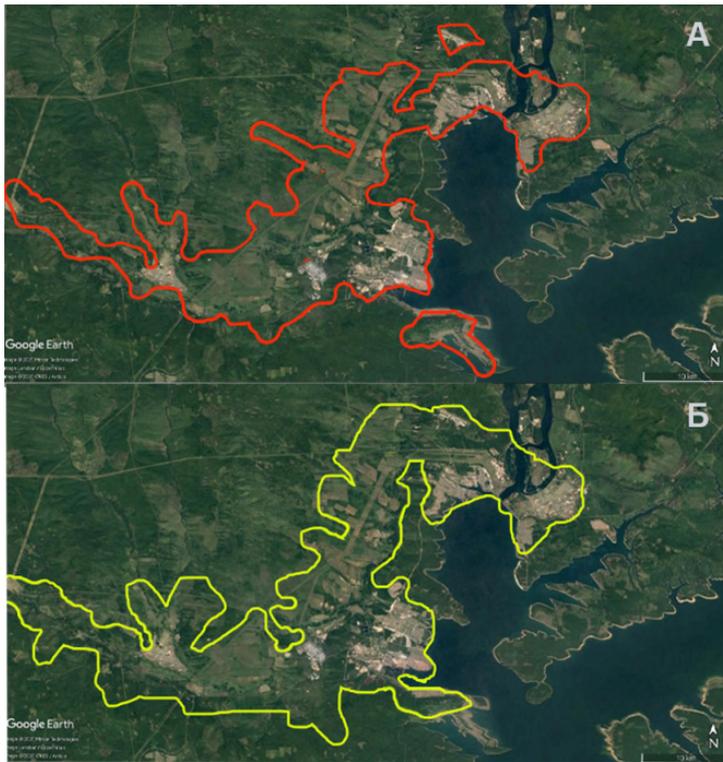


Рис. 4. Положение «острова тепла» г. Братска в июле днем в 1998 г. (А) и 2019 г. (Б)

Заключение

В ходе проведенного исследования получены оценки размеров и интенсивности городских «островов тепла» на территории Иркутской области и исследована суточная, сезонная и многолетняя изменчивость этих характеристик.

Выявленная отрицательная корреляция между LST и NDVI показывает, что создание дополнительных зеленых зон в пределах исследуемых городов и их пригородов могут ослабить эффект данных городских «островов тепла». Таким образом, продемонстрировано, что формирование и интенсивность городских «островов тепла» связаны с состоянием растительного покрова.

Полученные результаты исследования городских «островов тепла» в пределах Иркутской области указывают на необходимость пересмотра политики городского проектирования и ландшафтного дизайна для смягчения неблагоприятных тепловых эффектов урбанизации и могут быть использованы при городском планировании.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, гранты № 17-29-05045, № 20-45-380032.

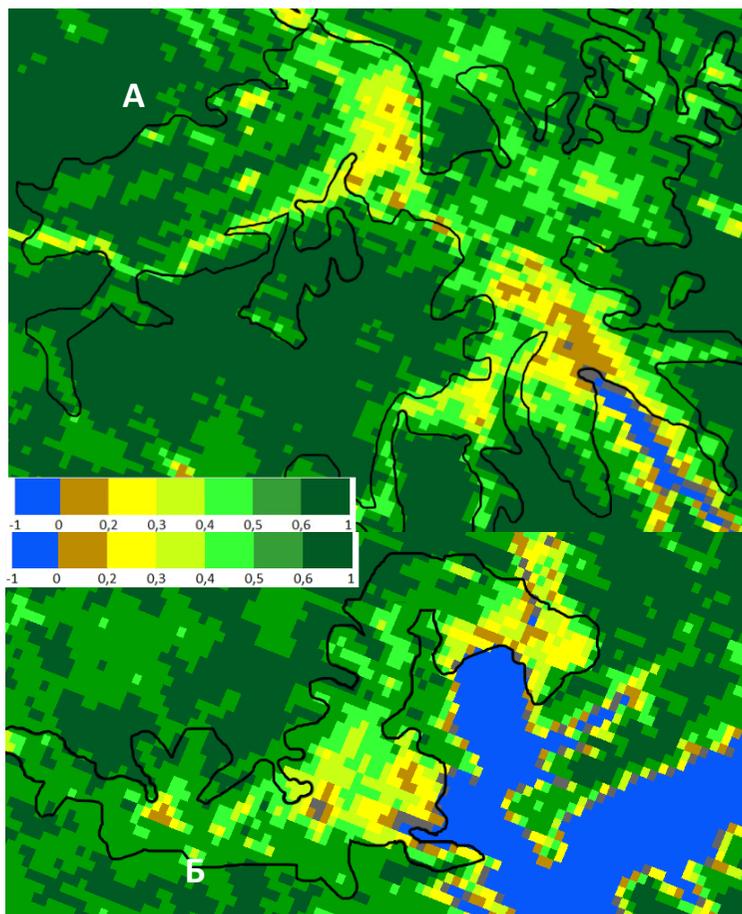


Рис. 5. Положение «островов тепла» в дневное время 1 июля 2019 г. (показано черной линией) и распределение индекса NDVI (показано цветовыми градациями) агломерации Иркутск – Ангарск – Шелехов (А) и г. Братска (Б)

Список литературы

- Алексашина В. В., Туан Л. М.* Влияние эффекта острова тепла на экологию мегаполиса // Проблемы региональной экологии. 2018. № 5. С. 36–40.
- Bonafoni S., Anniballe R., Pichierri M. S.* Comparison between surface and canopy layer urban heat island using MODIS data // Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE). Lausanne. 2015. P. 1–4.
- Grimmond S.* Urbanization And Global Environmental Change: Lo Cal Effects of Urban Warming // Geogr. J. 2007. Vol. 173. P. 83–88.
- Grishchenko M. Y.* Urban heat island aerospace studies // InterCarto. InterGIS. 2013. Vol. 19, N 1. P. 22–28.
- Li X., Mitra C., Dong L.* Understanding land use change impacts on microclimate using Weather Research and Forecasting (WRF) model // Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C. 2018. Vol. 103. P. 115–126.
- Miky Y. H.* Remote sensing analysis for surface urban heat island detection over Jeddah, Saudi Arabia // Appl Geomat. 2019. Vol. 11. P. 243–258.
- Nichol J.* Remote Sensing of Urban Heat Islands by Day and Night // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2005. Vol. 9. P. 613–621.

Rizwan A. M., Dennis L. Y. C., Liu C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island // *J. Environ. Sci.* 2008. Vol. 20. P. 120–128.

Schwarz N., Lautenbach S., Seppelt R. Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures // *Rem. Sens. Environ.* 2011. Vol. 115. P. 3175–3186.

Sobrino J. A., Julien Y., Hidalgo V. LST estimation from NOAA-AVHRR data // *WATCH Technical Report.* 2008. N 9. 14 p.

Voogt J. A., Oke T. R. Thermal remote sensing of urban climates // *Rem. Sens. Environ.* 2003. Vol. 86. P. 370–384.

Wang W., Liu K., Tang R. Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.* 2019. Vol. 110. P. 168–175.

Weng Q. *Techniques and Methods in Urban Remote Sensing.* New Jersey : Wiley-IEEE Press, 2019. 353 p.

Weng Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: methods, applications, and trends // *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens.* 2009. Vol. 64. P. 335–344.

Weng Q., Larson R. C. *Satellite Remote Sensing of Urban Heat Islands: Current Practice and Prospects* // *Geo-Spatial Technologies in Urban Environments.* Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. P. 91–111.

Study of the Parameters of Urban Heat Islands on the Irkutsk Region Territory According to Remote Sensing Data

E. N. Sutyryna

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The investigation is aimed to determine the boundaries and intensity of urban heat islands in the Irkutsk region and assess the change in these parameters over a long-term period. The formation of an urban heat island is an example of anthropogenic influence on the urban climate. Land surface temperature and its spatial and temporal variations can be used to study urban heat islands, since the difference between the land surface temperature within the city and its surroundings is the result of the transformation of the underlying surface, heat capacity and three-dimensional structure of urban buildings in the process of urbanization. In order to study the phenomenon of urban heat islands of cities of the Irkutsk region, the land surface temperature data reconstructed from AVHRR-based thermal infrared imagery for 1998-2019 was used. As a result of the study, multi-temporal maps showing the urban heat islands of the agglomeration of Irkutsk-Angarsk-Shelekhov and the city of Bratsk were obtained. The investigated heat islands are characterized by a significant diurnal dynamic, so the difference in temperature values between the city and the suburbs in summer daytime reached 8-10 °C, in the evening and at night in summer this parameter decreases to 3-5 °C. The dimensions of the urban heat islands of the cities under investigation in the daytime exceed the dimensions of these heat anomalies in the evening and at night. Interannual variability in the intensity of urban heat islands did not show statistically significant trends from 1998 to 2019, the areas of urban heat islands increased significantly over the study period. The observed increase in area was probably associated with the development of the cities under study, with the transformation of landscapes and a decrease in the density of vegetation in the suburbs. In order to assess the contribution of the lack of vegetation to the formation of the urban heat islands in summer daytime, the values of the land surface temperature were compared with the values of the vegetation index NDVI. An analysis of the relationships between these parameters found that daytime land surface temperature was in close inverse relationship with the NDVI value, while this relationship was less pronounced at night and in the evening.

Keywords: urban heat island, Irkutsk region, land surface temperature, remote sensing, AVHRR data.

For citation: Sutyryna E.N. Study of the Parameters of Urban Heat Islands on the Irkutsk Region Territory According to Remote Sensing Data. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2020, vol. 34, pp. 131-140. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.34.131> (in Russian)

References

Aleksashina V.V., Tuan L.M. Vlijanie jeffekta ostrova tepla na jekologiju megapolisa [Influence of the heat island effect on the ecology of the metropolis] *Problemy regional'noj jekologii* [Problems of regional ecology], 2018, no. 5, pp. 36-40. (in Russian)

Bonafoni S, Anniballe R, Pichierri M. S. Comparison between surface and canopy layer urban heat island using MODIS data. *Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*. Lausanne, 2015, pp. 1-4.

Grimmond S. Urbanization and Global Environmental Change: Lo Cal Effects of Urban Warming. *Geogr. J.*, 2007, vol. 173, pp. 83-88.

Grishchenko M.Y. Urban heat island aerospace studies. *InterCarto. InterGIS*, 2013, vol. 19(1), pp. 22-28.

Li X., Mitra C., Dong L. Understanding land use change impacts on microclimate using Weather Research and Forecasting (WRF) model // *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*. 2018. Vol. 103. P. 115-126.

Miky Y.H. Remote sensing analysis for surface urban heat island detection over Jeddah, *Saudi Arabia. Appl. Geomat.*, 2019, vol. 11, pp. 243-258.

Nichol J. Remote Sensing of Urban Heat Islands by Day and Night. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2005, vol. 9, pp. 613-621.

Rizwan A.M., Dennis L.Y.C., Liu C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *J. Environ. Sci.*, 2008, vol. 20, pp. 120-128.

Schwarz N., Lautenbach S., Seppelt R. Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Rem. Sens. Environ.*, 2011, vol. 115, pp. 3175-3186.

Sobrino J.A., Julien Y., Hidalgo V. LST estimation from NOAA-AVHRR data. *WATCH Technical Report*, 2008, no. 9, 14 p.

Voogt J.A., Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climates. *Rem. Sens. Environ.*, 2003, vol. 86, pp. 370-384.

Wang W., Liu K., Tang R. Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2019, vol. 110, pp. 168-175.

Weng Q. *Techniques and Methods in Urban Remote Sensing*. New Jersey, Wiley-IEEE Press, 2019, 353 p.

Weng Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: methods, applications, and trends. *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens.*, 2009, vol. 64, pp. 335-344.

Weng Q., Larson R.C. Satellite Remote Sensing of Urban Heat Islands: Current Practice and Prospects. *Geo-Spatial Technologies in Urban Environments*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2005, pp. 91-111.

Сутырина Екатерина Николаевна

кандидат географических наук,
доцент, кафедра гидрологии
и природопользования
Иркутский государственный университет
664003, Россия, г. Иркутск,
ул. К. Маркса, 1
e-mail: ensut78@gmail.com

Sutyryna Ekaterina Nikolaevna

Candidate of Sciences (Geography),
Associate Professor, Department of
Hydrology and Environmental Management
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: ensut78@gmail.com

Код научной специальности: 25.00.34

Дата поступления: 15.10.2020

Известия Иркутского государственного университета
Серия «Науки о Земле». 2020. Т. 34. С. 131–140