

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

---

DOI 10.15593/2409-5125/2016.04.03

УДК 528.88

**А.В. Погорелов, Д.А. Липилин**

Кубанский государственный университет

## ТЕПЛОЙ «ПОРТРЕТ» ГОРОДА КРАСНОДАРА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Проблемы специфических изменений местных климатических показателей (температуры воздуха и поверхности, радиационных характеристик, ветра, влажности воздуха и др.), загрязнение атмосферы воздуха, а также вопросы биоклиматологии находятся в фокусе городской геоэкологии и климатологии. Особое внимание привлекает тепловой режим города. Исследования городского климата в последнее время часто опираются на спутниковые данные, позволяющие рассчитать значения температуры деятельной поверхности.

В статье представлены некоторые результаты расчета температуры поверхности для города Краснодара в летние и зимние месяцы по тепловым каналам спутниковых снимков Landsat. Построены карты теплового поля; установлены структурные особенности теплового поля в летнее и зимнее время, а также пределы территориальной изменчивости температуры городской поверхности. Выявлены тепловые аномалии в масштабе города, а также локальные тепловые аномалии. Существенным фактором интенсивности теплового излучения и теплового поля выступают древесный растительный покров, водоемы, объекты городской инфраструктуры с характерными типами физической поверхности.

**Ключевые слова:** интенсивность теплового излучения, температура поверхности, городской остров тепла (Urban Heat Island), спутниковые снимки, Landsat, NDVI, город Краснодар.

**Постановка проблемы.** Известно, что городские агломерации порождают тепловые аномалии, формируя «городские острова тепла» (в англоязычной литературе – Urban Heat Island, UHI). Среди основных причин изменений термического режима в городских условиях выделяют следующие:

1. Диссипация в городское пространство тепловой энергии, вырабатываемой на нужды теплоснабжения и производственных процессов.

2. Изменение интегрального альbedo поверхности города и, как следствие, увеличение поглощенной солнечной радиации в сравнении с фоновыми показателями.

3. Снижение затрат тепла на испарение воды с деятельной поверхности (включая транспирацию) за счет сокращения площадей с открытым почвенным и растительным покровом и, как следствие, рост величин теплового баланса.

4. Сравнительно небольшие площади зеленых насаждений, оказывающих охлаждающее воздействие на поле температуры. Солнечная энергия поглощается растениями и на фоне активной транспирации преобразуется в живое вещество.

5. Снижение прозрачности атмосферы за счет техногенных примесей (прежде всего, аэрозолей), как следствие, уменьшение доли прямой и увеличение доли рассеянной солнечной радиации.

6. Ухудшение условий циркуляции приземного воздуха, турбулентности и, как следствие, уменьшение теплоотдачи городских поверхностей.

Тепловые аномалии деятельной поверхности городских ландшафтов называются поверхностными островами тепла (Surface Urban Heat Island, SUHI). Результаты анализа соответствий между значениями температуры земной поверхности, полученными по спутниковым снимкам, и значениями температуры приземного слоя воздуха представлены в ряде публикаций [1, 2]. Установленные разности между температурой воздуха и температурой подстилающей поверхности свидетельствуют об информативности данных дистанционного зондирования в инфракрасном тепловом диапазоне в отношении оценок теплового поля разных геопервохностей.

Спутниковое зондирование дает возможность охарактеризовать пространственную и временную структуру температуры земной поверхности (LST) [3] с достаточным разрешением, чтобы установить тепловые различия между центром города и городскими окрестностями [4–8]. В качестве примеров многочисленных исследований городского острова тепла отметим работы [6–12]. Понимание происхождения и структуры городского острова тепла

имеет критически важное значение для обоснования городского планирования [13, 14] и даже для организации рационального городского теплоснабжения [2].

Структура теплового поля Краснодара и его окрестностей до сих пор не изучалась. На территории Краснодара действует одна метеорологическая станция, расположенная в месте плотной застройки. Отсутствие необходимых наземных метеорологических измерений в Краснодаре затрудняет верификацию расчетов на основе спутниковых снимков.

**Исходные данные.** Среди доступных спутниковых систем, осуществляющих тепловую съемку Земли в окнах прозрачности атмосферы, выделим ASTER/Terra, TM/Landsat-5, ETM+/Landsat-7, TIRS/Landsat-8 с пространственным разрешением 90, 120, 60 и 100 м соответственно. По данным их снимков можно описать пространственно-временную структуру интенсивности теплового излучения.

В качестве исходных данных нами использованы спутниковые снимки (таблица) с космического аппарата Landsat-8 с сенсором TIRS. Сенсор TIRS имеет два тепловых канала, различающихся по длинам волн: 10-й канал – 10,30–11,30 мкм, 11-й канал – 11,50–12,50 мкм. Длины волн близки к диапазону, соответствующему максимальной интенсивности собственного излучения Земли (10–12 мкм).

#### Характеристика используемых данных спутника Landsat

Сенсор	Дата / время съемки	Длина волны, мкм	Разрешение, м
OLI TIRS	15.01.2015 / 11:07	10,30–11,30	100
OLI TIRS	27.08.2015 / 11:07	10,30–11,30	100
TM	29.09.2010 / 10:57	10,40–12,50	120
ETM+	04.02.2002 / 10:56	10,40–12,50	60

Для оценки структуры теплового поля Краснодара применялся 10-й канал, поскольку 11-й канал имеет большую погрешность датчика [15], блики и засветы на снимках. Рекомендовано [16] отказаться от использования 11-го канала при исследовании температуры поверхности.

Для получения истинных значений температуры земной поверхности из исходных значений яркости космических снимков использована распространенная методика [15, 17]. Обработка

данных тепловых каналов Landsat проводилась с помощью программного комплекса ENVI 5.2 и состояла из трех последовательных шагов.

1. Радиометрическая коррекция данных позволяет устранить аппаратные радиометрические искажения, а также получить значения спектральной плотности ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) для проведения дальнейших расчетов.

2. Атмосферная коррекция спутниковых снимков предполагает расчет значений с учетом влияния атмосферы.

3. Значения спектральной плотности излучения переводятся в значения температуры земной поверхности.

**Результаты расчетов и картографирования.** Интенсивность теплового излучения, зависящая от излучательной способности объекта, является функцией его физических свойств и температуры излучающей поверхности. Построение карт, дающих представление о распределении температуры физической поверхности в Краснодаре и его окрестностях, выполнено в программе ArcGIS.

На предварительном этапе анализа ставились задачи: 1) оценить пространственную структуру исследуемого теплового поля с позиции его неоднородности; 2) получить сравнительные оценки температуры поверхности в разные сезоны; 3) выявить «тепловые аномалии» в связи с различиями в типах городских поверхностей; 4) проверить гипотезу наличия «острова тепла» в Краснодаре.

Согласно расчетам 12 января 2015 г. в пределах анализируемого полигона, охватывающего Краснодар и его окрестности (рис. 1), диапазон территориальной изменчивости температуры поверхности оказался равен приблизительно  $-14... + 17$  °С. Структура теплового поля, как и ожидалось, неоднородна. Большая часть территории города имеет температуру поверхности  $3,1...5,4$  °С; вместе с тем в центральной части зафиксированы обширные пятна с температурой выше  $5,5$  °С. Хорошо выделяются участки поверхности с разной интенсивностью теплового излучения. Очевиден вклад Краснодарской ТЭЦ, сбрасывающей воду в Старую Кубань, в антропогенно обусловленные тепловые аномалии. Старая Кубань – сравнительно крупный пойменный водоем на юго-востоке Краснодара, отделенный от основного русла, на дату съемки имел температуру поверхности примерно  $8...14$  °С, в то время как русло Кубани  $0...2$  °С.

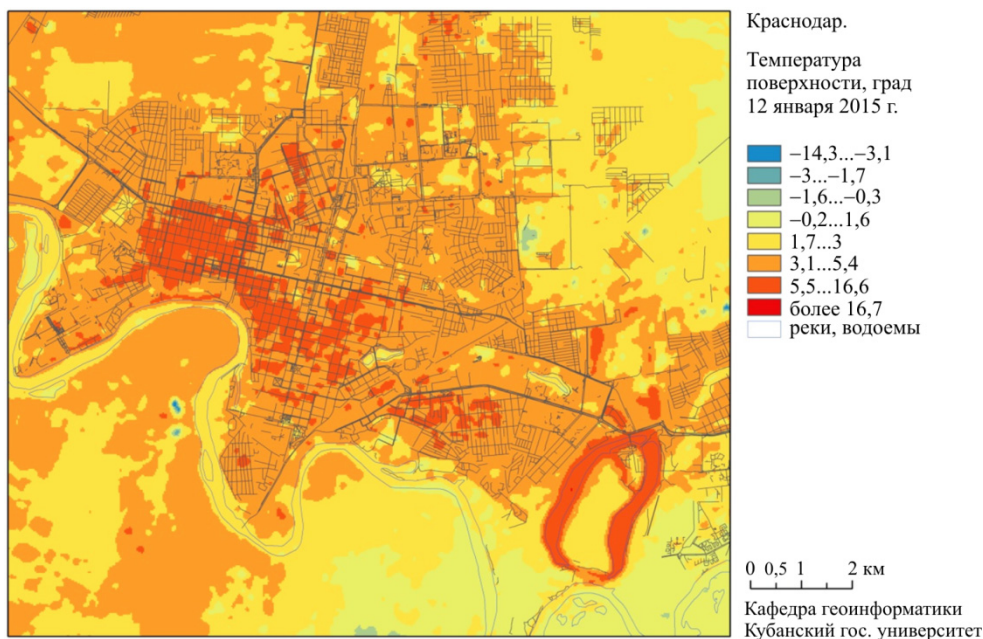


Рис. 1. Расчетная температура городской поверхности 12.01.2015

27 августа 2015 г. территориальная изменчивость теплового поля характеризовалась значениями 20...55 °С (рис. 2). Пространственная однородность интенсивности теплового излучения за пределами города (преимущественно это земли сельскохозяйственного назначения), как и зимой, оказалась заметно выше. Структура исследуемого поля в сравнении с зимними условиями (при сопоставимых температурных контрастах) имела существенные отличия. Тепловые аномалии в городе летом в основном приобрели вид небольших пятен, соизмеримых с отдельными городскими объектами. На въезде в Краснодар с юга (вдоль улиц Захарова и Суворова) зафиксирована линейно вытянутая полоса повышенной температуры (на 2...4 °С выше прилегающих участков). Тепловая аномалия над Старой Кубанью летом закономерно поменяла свой знак.

Рассмотрим городские объекты – источники тепловых аномалий. Согласно [18] все типы поверхностей можно разделить на 4 группы в зависимости от их пиковой дневной температуры: 1) деревья, трава, растительность – наиболее холодные поверхности при максимальной дневной температуре; 2) антропогенные

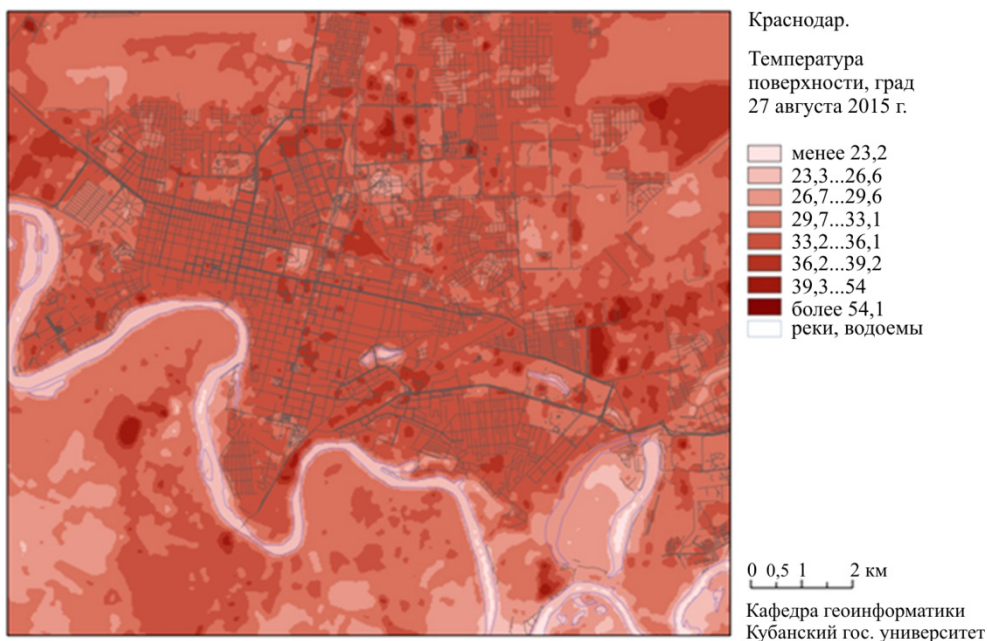


Рис. 2. Расчетная температура городской поверхности 27.08.2015

светлые покрытия (дороги, тротуары, парковки и т.п.) – более теплые; 3) антропогенные темные или серые покрытия; 4) крыши – самые горячие поверхности в городах и пригородах с максимальной дневной температурой. По данным снимка в январе (рис. 3) выделим тепловые аномалии в городе, образованные, во-первых, различиями в упомянутых типах поверхностей (примеры: фарфорово-фаянсовый завод «Чайка», торгово-развлекательные центры «Галактика» и «Меридиан»), и, во-вторых, антропогенными потоками тепла (примеры: район Краснодарской ТЭЦ, оз. Старая Кубань). Отрицательные тепловые аномалии в январе формируются над поверхностями водоемов (Карасунские озера) и вблизи них, а также на участках, покрытых растительностью (северо-западнее ТЭЦ, восточнее ТРЦ «Медиаплаза»).

Летом очаги повышенной интенсивности теплового излучения локализуются в районе крупных строений с темными крышами (например, павильоны выставочного центра на ул. Зиповской, 5) с температурой поверхности 37...39 °С и выше. Несомненно влияние зеленых насаждений на тепловое поле в летнее время. Отчетливо фиксируются отрицательные внутригородские

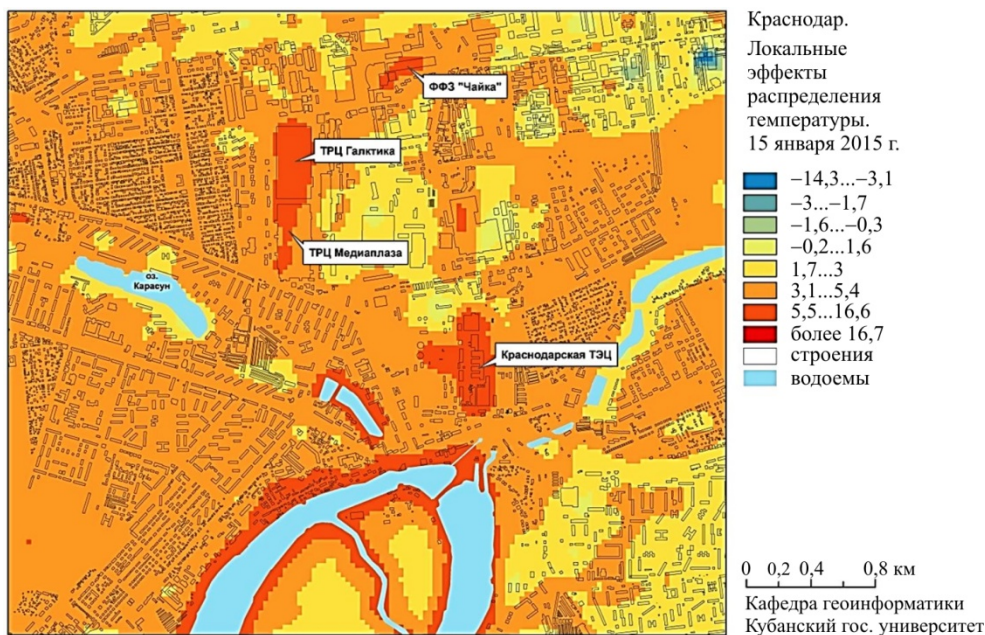


Рис. 3. Объекты – источники локальных тепловых аномалий 15.01.2015

тепловые аномалии в районах Чистяковской рощи, Всесвятского кладбища, Ботанического сада им. И. Косенко, Славянского кладбища (рис. 4), парка «Солнечный остров» и массива пойменного леса юго-западнее парка. Именно здесь температура 27 августа 2015 г. не превышала 27...30 °С, что на 3–4 °С ниже фоновой.

О прямом влиянии зеленых насаждений на формирование теплового поля летом можно судить по карте распределения вегетационного индекса NDVI в Краснодаре (рис. 5). Компактные участки древесной растительности с высокими значениями NDVI (0,8–0,95) способствуют существенному охлаждению физической поверхности летом. Отметим, что относительные площади подобных участков невелики. В любом случае совокупное влияние зеленых насаждений на тепловое поле Краснодара следует признать весьма ограниченным.

Гипотеза наличия «городского острова тепла» проверялась путем построения профилей в анализируемом поле вдоль линии: пересечение улиц Академика Лукьяненко и Красных Партизан – начало проспекта им. писателя Знаменского. Линия протяженностью около 17 км проложена от северо-западной периферии через

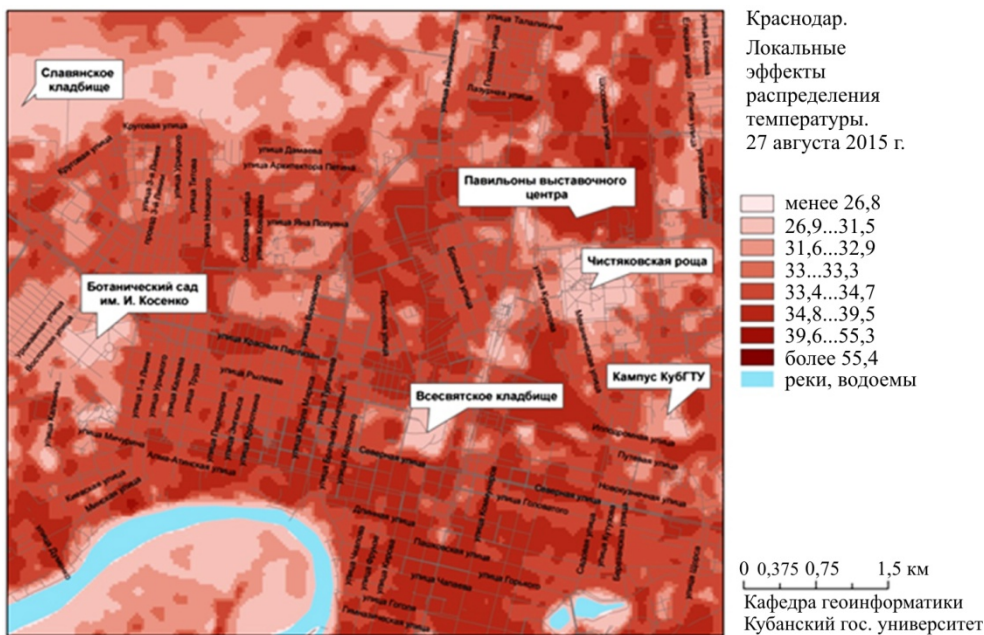


Рис. 4. Объекты – источники локальных тепловых аномалий 27.08.2015

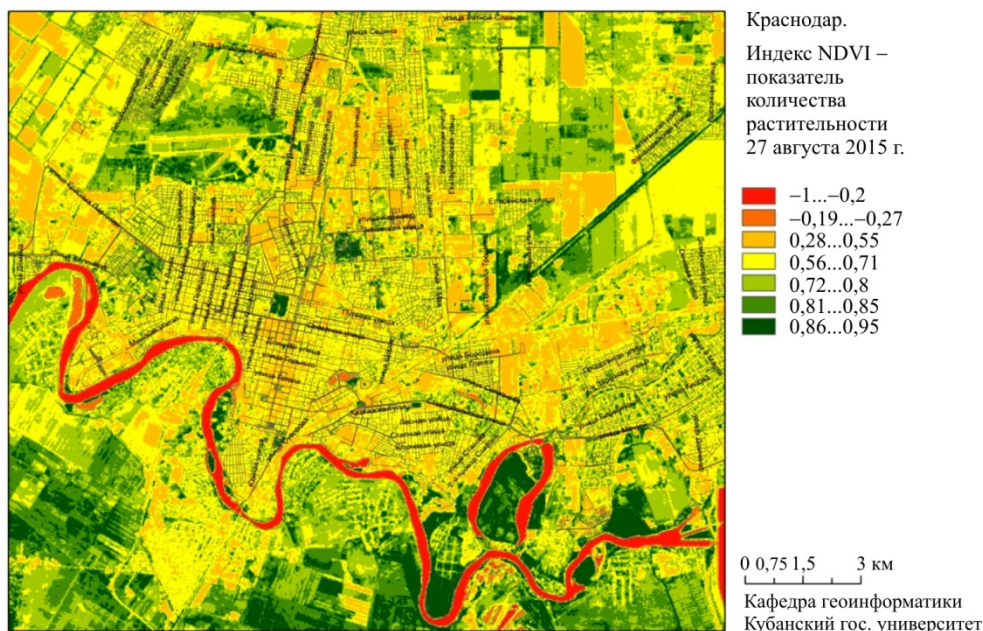


Рис. 5. Распределение вегетационного индекса (NDVI) 27.08.2015

центр города к его юго-восточной окраине. Профили, таким образом, должны отражать как общегородской эффект, так и флук-



туации интенсивности теплового излучения, вызванные отдельными объектами в летнее и зимнее время (рис. 6). Для получения тренда профили сглаживались полиномами 3-й степени. Как видим, в разных временных реализациях вид профилей и, следовательно, трендов различается. Четко фиксируются локальные тепловые аномалии – особенно водных объектов, а также смена знаков этих аномалий летом и зимой.

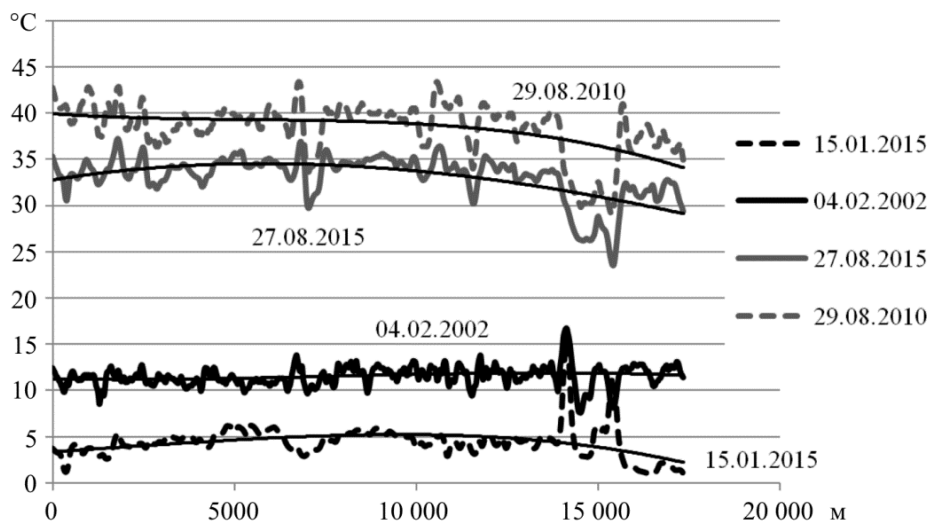


Рис. 6. Профили температуры физической поверхности в Краснодаре по линии: пересечение улиц Академика Лукьяненко и Красных Партизан – начало проспекта им. писателя Знаменского

Форма тренда (выпуклая кривая в трех случаях из четырех) в целом указывает на образование области повышенной температуры в центральной части Краснодара в сравнении с периферией. Выраженность этого эффекта в рассмотренные даты (см. рис. 6) составляет не более 1...3 °С. Понятно, что степень выраженности городского острова тепла в конкретных случаях в значительной мере зависит от совокупности метеорологических характеристик, прежде всего, от ветрового режима. Результаты такого рода линейных (одномерных) оценок следует считать предварительными, а в перспективе необходимо выполнить площадные расчеты. Кроме того, желательно определить степень временной устойчивости сезонного температурного поля в связи с метеорологическими условиями.

### ***Заключение.***

1. Впервые по данным снимков космического аппарата Landsat-8 получены оценки температуры физической поверхности города Краснодара. Установлены структурные особенности теплового поля в летнее и зимнее время, а также пределы территориальной изменчивости температуры городской поверхности. Тепловое поле в пределах города весьма неоднородно.

2. Выявлены тепловые аномалии в масштабе города, а также внутригородские (локальные) аномалии. Наиболее отчетливо признаки городского острова тепла обнаруживаются зимой, когда в центральной части города температура поверхности на 1...3 °С выше температуры на периферии. Источником локальных тепловых аномалий (контрастов) с разным знаком выступают городские объекты с особым типом поверхности (крыши крупных строений, водоемы, зеленые зоны). Причина – различия в относительной интенсивности теплового излучения этих объектов. В зимнее время зафиксированы четко выраженные положительные аномалии, образованные прямыми антропогенными потоками тепла. В это же время над городскими озерами вне прямого теплового загрязнения формируются отрицательные тепловые аномалии.

3. Структура теплового поля в разные сезоны претерпевает изменения.

4. Существенным фактором интенсивности теплового излучения и теплового поля в целом выступает распределенный растительный покров, различающийся по компактности, густоте и качеству насаждений. В августе наиболее заметное «охлаждающее» влияние (на 3...4 °С) оказывают сравнительно крупные участки древесной растительности (парки, кладбища, пойменный лес).

5. Несмотря на возможность удовлетворительной диагностики тепловых контрастов в городе по спутниковым снимкам, полученные оценки следует, тем не менее, верифицировать данными наземных измерений.

6. Для полноценного моделирования городского климата необходимы карты Краснодара, отражающие характер застройки (включая высоту строений), а также типы физической поверхности, влияющие на радиационные свойства, теплообмен, циркуляцию, испарение и другие показатели.

7. Фиксация устойчивых тепловых аномалий в Краснодаре, картографирование температуры поверхности по спутниковым данным и построение соответствующих моделей должны служить, по нашему мнению, обоснованному, с учетом требований физиологической комфортности, планированию развития городской территории и мероприятий по благоустройству города.

### Библиографический список

1. Land surface air temperature retrieval from EOS-MODIS Images / R. Niclos, J.A. Valiente, M.J. Barbera, V. Caselles // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2014. – Vol. 11, no. 8. – P. 1380–1384.
2. Константинов П.И., Грищенко М.Ю., Варенцов М.И. Картографирование островов тепла городов Заполярья по совмещенным данным полевых измерений и космических снимков на примере г. Апатиты (Мурманская область) // Исследования Земли из космоса. – 2015. – № 3. – С. 27–33.
3. Voogt J.A., Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climates // Remote Sensing Environment. – 2003. – № 86 (3). – P. 370–384.
4. Stathopoulou M., Cartalis C. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and CORINE land cover data: An application to major cities in Greece // Solar Energy. – 2007. – № 81. – P. 358–368.
5. Wan Z. New refinements and validation of the MODIS Land-Surface Temperature/Emissivity products // Remote Sensing Environment. – 2008. – № 112 (1). – P. 59–74.
6. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA / M.L. Imhoff, P. Zhang, R.E. Wolfe, L. Bounoua // Remote Sensing Environment. – 2010. – № 114 (3). – P. 504–513.
7. Surface urban heat island across 419 global big cities / S. Peng, S. Piao, P. Ciais, P. Friedlingstein, C. Ottle, F.-M. Bréon, H. Nan, L. Zhou, R.B. Myneni // Environmental Science and Technology. – 2011. – № 46. – P. 696–703.
8. Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Исследование «теплого острова» Москвы по разносезонным снимкам Landsat-7/ETM+ // Геоинформатика. – 2011. – № 3. – С. 62–69.
9. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities / T. Hung, D. Uchihama, S. Ochi, Y. Yasuoka // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2006. – № 8. – P. 34–48.
10. Опыт использования космических снимков при экологических исследованиях территории Москвы / И.А. Лабутина, Е.А. Балдина, М.Ю. Грищенко, Т.С. Хайбрахманов // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. – 2012. – Вып. 12. – С. 50–55.
11. Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Картографирование тепловых аномалий Москвы по разносезонным тепловым снимкам // Геоэкологические проблемы Новой Москвы. – М.: Медиа-ПРЕСС Москва, 2013. – С. 70–76.
12. Исследование городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном диапазоне / Е.А. Балдина, П.И. Константинов, М.Ю. Грищенко, М.И. Варенцов // Земля из Космоса. – 2015. – Спецвыпуск. – С. 38–42.

13. Arnfield A.J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island // *International Journal of Climatology*. – 2003. – № 23 (1). – P. 1–26.
14. Rizwan A.M., Dennis L.Y.C., Liu C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island // *Journal of Environmental Sciences*. – 2008. – № 20 (1). – P. 120–128.
15. Landsat 8 Data Users Handbook. – URL: <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf> (accessed 15 May 2016).
16. Using the USGS Landsat 8. – URL: [http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php) (accessed 15 May 2016).
17. Converting Landsat TM and ETM+ thermal bands to temperature. – URL: [http://www.yale.edu/ceo/Documentation/Landsat\\_DN\\_to\\_Kelvin.pdf](http://www.yale.edu/ceo/Documentation/Landsat_DN_to_Kelvin.pdf). (accessed 15 May 2016).
18. Gartland L. Heat islands. – London: Sterling VA, 2008. – 215 p.

## References

1. Niclos R., Valiente J.A., Barbera M.J., Caselles V. Land Surface Air Temperature Retrieval From EOS-MODIS Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2014, vol. 11, no. 8, pp. 1380–1384.
2. Konstantinov P.I., Grishchenko M.Yu., Varentsov M.I. Kartografirovaniye ostrovov tepla gorodov Zapolyar'ya po sovmeshchennym dannym polevykh izmereniy i kosmicheskikh snimkov na primere g. Apatity (Murmanskaya oblast') [Mapping of urban heat islands Arctic on combined data of field measurements and satellite images on the example of city Apatity (Murmansk region)]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2015, no. 3, pp. 27–33.
3. Voogt J.A., Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing Environment*, 2003, no.86 (3), pp. 370–384.
4. Stathopoulou M., Cartalis C. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. *Solar Energy*, 2007, no. 81, pp. 358–368.
5. Wan Z. New refinements and validation of the MODIS Land-Surface Temperature/Emissivity products. *Remote Sensing Environment*, 2008, no. 112 (1), pp. 59–74.
6. Imhoff M.L., Zhang P., Wolfe R.E., Bounoua L. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing Environment*, 2010, no. 114 (3), pp. 504–513.
7. Peng S., Piao S., Ciais P., Friedlingstein P., Ottle C., Bréon F.-M., Nan H., Zhou L., Myneni R.B. Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environmental Science and Technology*, 2011, no. 46, pp. 696–703.
8. Baldina E.A., Grishchenko M.Yu. Issledovanie «teplovogo ostrova» Moskvy po raznosezonnym snimkam Landsat-7/ETM+ [The study "heat island" Moscow on the different seasons of images Landsat-7 / ETM+]. *Geoinformatika*, 2011, no. 3, pp. 62–69.
9. Hung T., Uchihama D., Ochi S., Yasuoka Y. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2006, no. 8, pp. 34–48.
10. Labutina I.A., Baldina E.A., Grishchenko M.Yu., Hajbrakhmanov T.S. Opyt ispol'zovaniya kosmicheskikh snimkov pri ekologicheskikh issledovaniyakh territorii

Moskvy [Experience in the use of satellite images in environmental studies in Moscow]. *Zemlya iz kosmosa: naibolee effektivnye resheniya*, 2012, vol. 12, pp. 50–55.

11. Baldina E.A., Grishchenko M.Yu. Kartografirovaniye teplovykh anomalij Moskvy po raznosezonnym teplovym snimkam [Mapping of thermal anomalies in Moscow for different seasons of the thermal images]. *Geojekologicheskie problemy Novoj Moskvy*. Moscow: Media-PRESS Moskva, 2013, pp. 70–76.

12. Baldina E., Konstantinov P., Grishchenko M., Varentsov M. Issledovanie gorodskikh ostrovov tepla s pomoshchyu dannykh distantsionnogo zondirovaniya v infrakrasnom diapazone [The study urban heat islands with the help of remote sensing data in the infrared range]. *Zemlya iz Kosmosa. Spetsvyпуск*, 2015, pp. 38–42.

13. Arnfield A.J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 2003, no. 23 (1), pp. 1–26.

14. Rizwan A.M., Dennis L.Y.C., Liu C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, no. 20 (1), pp. 120–128.

15. Landsat 8 Data Users Handbook, available at: <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf> (accessed 15 May 2016).

16. Using the USGS Landsat 8, available at: [http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php) (accessed 15 May 2016).

17. Converting Landsat TM and ETM+ thermal bands to temperature, available at: [http://www.yale.edu/ceo/Documentation/Landsat\\_DN\\_to\\_Kelvin.pdf](http://www.yale.edu/ceo/Documentation/Landsat_DN_to_Kelvin.pdf) (accessed 15 May 2016).

18. Gartland L. Heat islands. London: Sterling VA, 2008. 215 p.

Получено 15.09.2016

**A. Pogorelov, D. Lipilin**

## **THERMAL "PORTRAIT" OF THE CITY OF KRASNODAR BASED ON SATELLITE IMAGES**

Problems of specific changes in local climatic parameters (temperature of air and surface, radiation characteristics, wind, humidity, etc.) air pollution of the atmosphere, as well as the issues of bioclimatology are in the focus of urban geoecology and climatology. Special attention is paid to the thermal regime of the city. Recently urban climate studies have often been based on satellite data which makes it possible to calculate the value of the active surface temperature.

This article presents some results of calculating surface temperature for the city of Krasnodar in summer and winter months based on thermal channels of Landsat satellite images. Maps of the thermal field have been created. The structural features of the thermal field in summer and winter, as well as limits of the territorial variability of

urban surface temperature have been established. Thermal anomalies at the scale of the city, as well as local thermal anomalies have been revealed. A significant factor of thermal radiation and thermal field intensities is the vegetation cover, water bodies, and urban infrastructure with different types of physical surface.

**Keywords:** intensity of heat radiation, surface temperature, urban heat island, satellite images, Landsat, NDVI, the city of Krasnodar.

**Погорелов Анатолий Валерьевич** (Краснодар, Россия) – д-р геогр. наук, профессор, заведующий кафедрой геоинформатики, Кубанский государственный университет (350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: pogorelov\_av@bk.ru).

**Липилин Дмитрий Александрович** (Краснодар, Россия) – канд. геогр. наук, преподаватель кафедры геоинформатики, Кубанский государственный университет (350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: LipiLin\_dmitrii@mail.ru).

**Pogorelov Anatoly** (Krasnodar, Russian Federation) – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of Geoinformatics Department, Kuban State University (350040, 149 Stavropolskaya street, Krasnodar, Russia, e-mail: pogorelov\_av@bk.ru).

**Lipilin Dmitry** (Krasnodar, Russian Federation) – Ph.D. in Geographical Sciences, lecturer of Geoinformatics Department, Kuban State University (350040, 149 Stavropolskaya street, Krasnodar, Russia, e-mail: LipiLin\_dmitrii@mail.ru).