

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ОСТРОВОВ ТЕПЛА С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ИНФРАКРАСНОМ ТЕПЛОВОМ ДИАПАЗОНЕ

**Елена
Балдина**

К.Г.Н., В.Н.С., ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ,
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

**Павел
Константинов**

К.Г.Н., СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ,
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ,
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

**Михаил
Грищенко**

К.Г.Н., Н.С., ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ,
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

**Михаил
Варенцов**

АСПИРАНТ, ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ,
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Космические изображения Земли, полученные в инфракрасном тепловом диапазоне, позволяют получить новые сведения о пространственных особенностях городского острова тепла (urban heat island, UHI) — микроклиматического явления, оказывающего влияние на экологию урбанизированных территорий. Пространственные особенности формирования островов тепла городов, расположенных в разных широтах, исследуются по серии разносезонных космических снимков в инфракрасном тепловом диапазоне. Обсуждается успешность подобных методов изучения UHI в сравнении с прямыми измерениями.

Введение

Современные города занимают всего 2% площади суши, но в них уже проживает более половины населения планеты, потребляется $\frac{3}{4}$ мировых природных ресурсов. В городах концентрируется население, производство, они являются центрами мощного воздействия на природную среду. Загрязнение вод, воздуха, почв в первую очередь связано с городами. Весьма существенна проблема экологического состояния городских ландшафтов, которая является комплексной, учитывающей загрязнение водной, воздушной, почвенной среды, и экономические аспекты размещения городских объектов, и проблемы, связанные с уровнем комфортности районов города для жизни людей [1]. Тепловое загрязнение часто обусловлено не-

рациональной планировкой городского пространства.

Тепловые аномалии, обусловленные городскими агломерациями, — распространенное явление в современном мире. В городах сосредоточены такие источники антропогенного тепла, как промышленные предприятия, транспорт, объекты, связанные с жилищно-коммунальным хозяйством. Большинство городских объектов состоит из материалов, активно поглощающих солнечную радиацию (асфальт, бетон, гранит и тому подобные плотные материалы), что приводит к накоплению тепловой энергии в пределах города и ее активному излучению в окружающую среду: городские здания и строения сами по себе становятся источниками

интенсивного теплового излучения. Кроме того, высотная застройка в городах формирует особый микроклимат — так называемые «городские каньоны» (urban canyons), определяющие направление и скорость ветра, влияющие на температуру и качество воздуха. Еще одним фактором, оказывающим существенное влияние на формирование городских тепловых аномалий, являются крайне небольшие в сравнении с природной средой площади, занимаемые растительным покровом, который оказывает заметное «охлаждающее» воздействие. Солнечная энергия поглощается растениями и в процессе активной транспирации преобразуется в живое вещество, т.е. поглощенная растениями энергия не излучается.

Городские острова тепла умеренных широт

Совокупность тепловых аномалий, связанных с городскими территориями, формирует городской остров тепла, (в англоязычных источниках есть устоявшийся термин — urban heat island, UHI) — это явление, связанное с повышением температуры воздуха в пределах города по сравнению с окружающими его территориями (рис. 1).

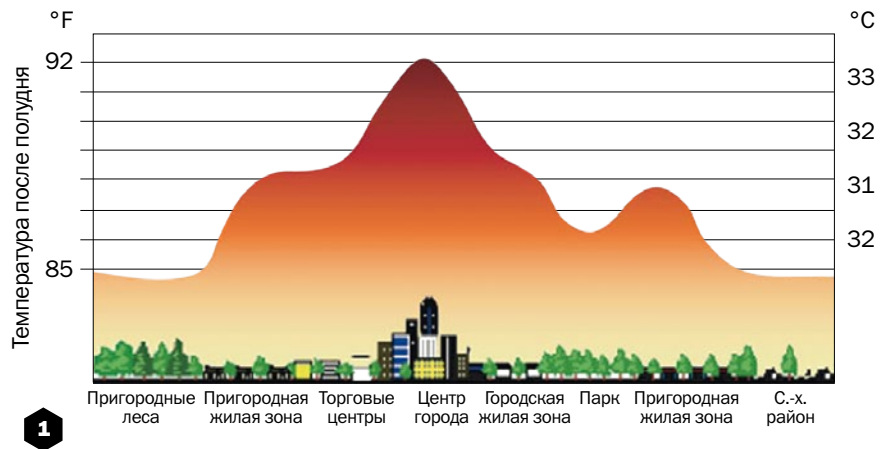


Рис. 1. Городской остров тепла: по вертикальной оси — температура воздуха (с изменениями по <http://www.southwesturbanhydrology.com/urbanization-concerns/urban-heat-island-effect/>)

Таблица 1. Сравнение средних за период 29–31 января 2014 г. данных о температуре воздуха и подстилающей поверхности, восстановленной с помощью MODIS с данными прямых измерений температуры воздуха с помощью компактных термоматчиков iButton.

	Среднее значение в пределах городской черты, град С	Диапазон значений (мощность острова тепла), град С	В центральной части города, град С
Температура воздуха, MODIS	-16,6	2,7	-15,7
Температура поверхности (асфальт, почва, снег), MODIS	-22,0	4,4	-19,9
Данные прямых измерений iButton	-17,6	1,6	-17,5

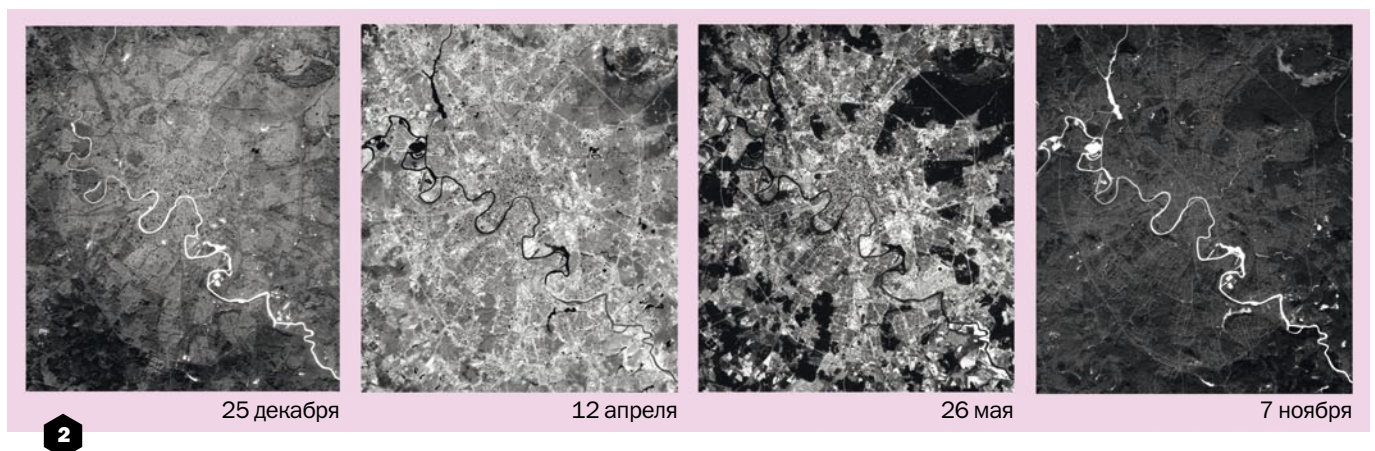


Рис. 2. Разновременные изображения острова тепла Москвы на снимке высокого пространственного разрешения — ETM+/Landsat-7, 60 м[2]

Москва. Тепловая структура



Значительная сезонная амплитуда интенсивности теплового излучения и ярко выраженный летний максимум:

I. Техногенные территории с максимальной интенсивностью теплового излучения

■ максимальная интенсивность в данном типе – 1

■ минимальная интенсивность в данном типе – 2

II. Антропогенные территории с высокой интенсивностью теплового излучения

■ максимальная интенсивность в данном типе – 3

■ средняя интенсивность в данном типе – 4

■ минимальная интенсивность в данном типе – 5

III. Антропогенно-природные территории с максимумом интенсивности теплового излучения весной – 6

Небольшая сезонная амплитуда интенсивности теплового излучения и слабо выраженный летний максимум:

■ максимальная интенсивность в данном типе – 7

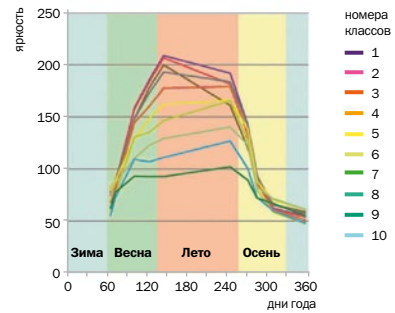
■ минимальная интенсивность в данном типе – 8

Слабовыраженная сезонная амплитуда интенсивности теплового излучения и отсутствие летнего максимума:

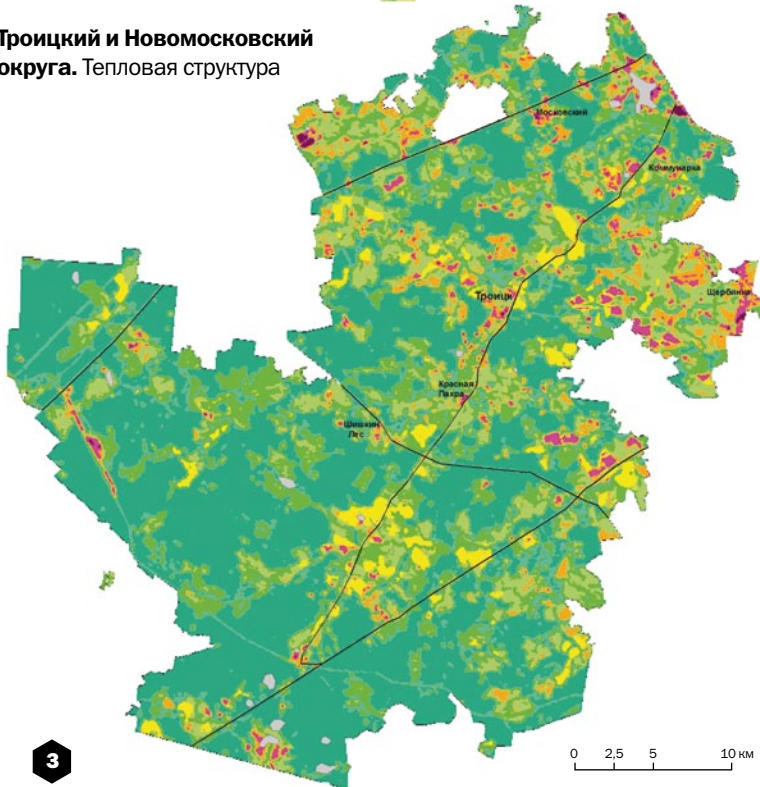
■ максимальная интенсивность в данном типе – 9

■ минимальная интенсивность в данном типе – 10

Графики сезонной динамики интенсивности теплового излучения для классов



Троицкий и Новомосковский округа. Тепловая структура



Тепловая структура

■ зоны экстремально высокой интенсивности теплового излучения – 1

■ зоны очень высокой интенсивности теплового излучения – 2

■ зоны высокой интенсивности теплового излучения – 3

■ зоны средней интенсивности теплового излучения с высокой интенсивностью в мае и пониженной в июне – 4

Зоны пониженной интенсивности теплового излучения (от большей интенсивности излучения (5) к меньшей (8)):

■ 5 ■ 6 ■ 7 ■ 8

Прочие обозначения

— основные автомобильные дороги

■ участки снимков, закрытые облаками

Графики сезонной динамики интенсивности теплового излучения для классов

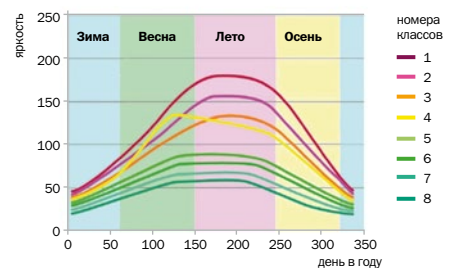


Рис 3. Районирование Москвы по сезонным тепловым контрастам

Аналогичные тепловые аномалии деятельной поверхности городских ландшафтов называются поверхностными островами тепла (surface urban heat island — SUHI).

Последние — острова тепла, связанные с температурой поверхности, хорошо опознаются на космических снимках в тепловом диапазоне.

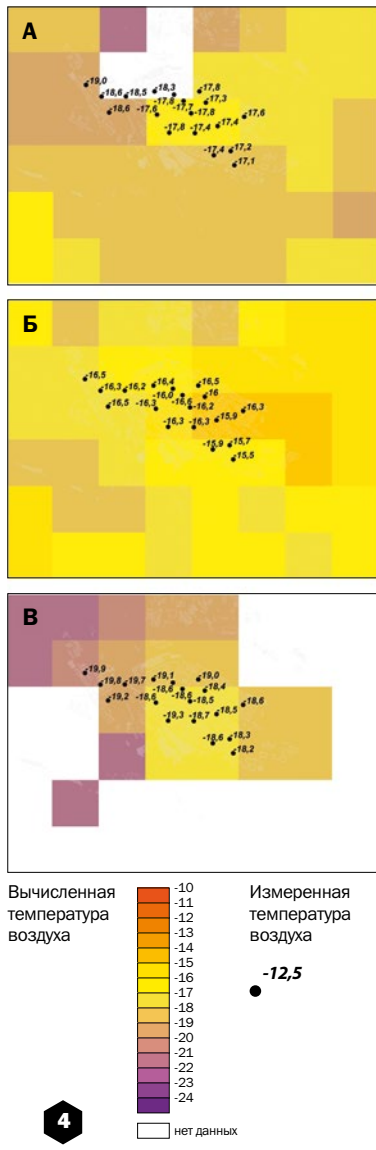


Рис. 4. Сравнение температур воздуха, полученных по результатам прямых измерений и рассчитанных по данным космических снимков системы MODIS: а — 29 января, 23:40; б — 30 января, 03:40; в — 31 января, 02:40.

Детальность его изображения зависит от пространственного разрешения снимков. На тепловых снимках высокого пространственного разрешения, таких, как ASTER/Terra, TM/Landsat-5 и ETM+/Landsat-7 (90, 120 и 60 м соответственно) можно проследить внутреннюю структуру тепловых островов городов, четко выявляются объекты, формирующие остров тепла; на разносезонных снимках отчетливо прослеживаются различия в относительной интенсивности теплового излучения разных объектов в пределах города (рис. 2).

На основе многовременных разносезонных тепловых снимков, фиксирующих тепловые контрасты города в разные сезоны года, проводится районирование (классификация) городской территории по степени выраженности и устойчивости тепловых аномалий (рис. 3).

Городские острова тепла высоких широт

Основное внимание мирового сообщества специалистов в области городской метеорологии приковано в настоящий момент к мегаполисам тропической зоны — это связано с заметным недостатком фундаментальных знаний о климатических особенностях как подобных территорий в принципе, так и урбанизированных территорий в частности[3].

А вот о микроклиматических особенностях городов, расположенных по другую сторону от умеренного пояса — за полярным кругом — известно гораздо меньше. Имеются лишь единичные исследования, проведенные на Аляске и показавшие существование в зимнее время мощных островов тепла в относительно небольших городах Барроу и Фэрбанксе[5].

Исходя из этих соображений, была поставлена задача оценить масштабы интенсивности поверхностного городского острова тепла в зимний период, рассчитать по данным снимков температуру воздуха по приблизительной методике, приведенной в работе[6] и сравнить ее с данными прямых измерений температуры. Однако в связи с практически полным отсутствием подобных измерений пришлось проводить подобные эксперименты самостоятельно[4]. Как полигон был выбран город Апатиты Мурманской области ввиду его размера (59 тыс. жителей) и небольшой разницы высот в пределах города.

Из-за влияния синоптических условий анализу были подвергнуты лишь результаты измерений и дистанционного зондирования за период 29–31 января 2014 г. (рис. 4 и таблица 1).

Данные об острове тепла и прямые данные о SUHI — «поверхностном острове тепла — Surface Urban Heat Island» (Табл. 1) неплохо соотносятся друг с другом, однако пространственный размах последних почти в 3–4 раза больше среднего для европейских городов ($1,7 \pm 0,4$ градусов в дневное время и $0,4 \pm 0,4$ в ночное по данным[7]). Это можно объяснить спецификой городов, расположенных за полярным кругом, которые до сих пор не подвергались подобному анализу. Среднесуточная разница в несколько градусов между температурой воздуха, осредненной по всем точкам, и температурой подстилающей поверхности, осредненной по всем пикселям MODIS, учитывая, что подстилающая поверхность устойчиво холоднее воздуха (что связано с инверсией, наблюдавшейся во время экспедиционных наблюдений за температурой воздуха)

представляется вполне разумным результатом с точки зрения классической микроклиматологии.

Заключение

Для описания поверхностного острова тепла и диагностирования тепловых аномалий можно довольно успешно применять спутниковые снимки ASTER/Terra, TM/Landsat-5 и ETM+ / Landsat-7 (90, 120 и 60 м соответственно). На них можно проследить внутреннюю структуру подобных аномалий, также четко выявляются объекты, формирующие городской остров тепла.

Для городов арктической зоны подобные исследования только начинаются. В ряде работ авторов для города Апатиты, расположенного за

полярным кругом, с помощью вышеописанной методики были синхронно оценены поверхностный остров тепла (SUII) и классический городской остров тепла (UII). Обнаружено, что полученные данные не очень хорошо сочетаются с заключениями предыдущих авторов в части интенсивности поверхностного острова для зимнего периода для европейских городов.

Исследования проводятся при поддержке грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук МК-6037.2015.5, проектов РФФИ № 14-05-31384 и РФФИ-РГО № 13-05-41233, гранта РГО (Русского Географического Общества) No. 27/2013-НЗ.

Список литературы:

1. Экология города / Отв. ред. Н.С. Касимов. М.: Научный мир, 2004. 624 с.
2. Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Картографирование тепловых аномалий Москвы по разносезонным тепловым снимкам // В сборнике: Геоэкологические проблемы Новой Москвы. М.: Медиа-ПРЕСС Москва, 2013. С. 70–76
3. 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. 1–7
4. P. Konstantinov, A. Baklanov, M. Varentsov, E. Kukanova, I. Repina, S. Shuvalov, and T. Samsonov. Experimental urban heat island research of four biggest polar cities in northern hemisphere. In Geophysical Research Abstracts, volume 16 of EGU General Assembly, pages EGU2014–10699–1, Germany, 2014. Germany
5. Magee N., Curtis J., Wendler G., The Urban Heat Island Effect at Fairbanks Alaska // Theor. Appl. Climatol. 1999. V. 64, pp. 39-47
6. Niclos, R.; Valiente, J.A.; Barbera, M.J.; Caselles, V., "Land Surface Air Temperature Retrieval From EOS-MODIS Images," Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, vol.11, no.8, pp.1380,1384, Aug. 2014 doi: 10.1109/LGRS.2013.2293540
7. Peng, S., et al. (2011). Surface urban heat island across 419 global big cities. Environ. Sci.&Technol, 46, 696-703