

УДК 528.873.041.3, 551.584.2

**Михаил Грищенко**, к. геогр. н., научный сотрудник

e-mail: m.gri@geogr.msu.ru

**Павел Константинов**, к. геогр. н., ст. преподаватель

e-mail: kostadini@mail.ru

МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет

## ДЕШИФРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ОСТРОВА ТЕПЛА МОСКВЫ ПО ТЕПЛОВЫМ КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ С РЕСУРСНЫХ СПУТНИКОВ

Городской остров тепла — явление, оказывающее существенное влияние на жизнь в современных городах. В настоящей работе представлен анализ сезонной изменчивости острова тепла Москвы по данным инструментальных наблюдений на метеостанциях (проанализированы данные метеостанций МГУ, Балчуг, ВДНХ, а также ряда метеостанций в Московской и соседних областях) и по космическим снимкам в тепловом инфракрасном диапазоне (использованы снимки съёмочной системы TIRS, спутник Landsat 8). В ходе работы установлены климатические причины усиления острова тепла Москвы; выявлены максимальные значения острова тепла, его внутренняя структура и её пространственно-временная изменчивость; оценена применимость снимков системы TIRS для изучения городского острова тепла Москвы.

**Ключевые слова:** городской остров тепла, тепловые космические снимки, Москва, Landsat.

**Михайло Грищенко, Павло Константинов**

### ДЕШИФРУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОСТРОВУ ТЕПЛА МОСКВИ ЗА ТЕПЛОВИМИ КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ З РЕСУРСНИХ СУПУТНИКІВ

Міський острів тепла – явище, що має істотний вплив на життя в сучасних містах. В даній роботі представлено аналіз сезонної мінливості острова тепла Москви за даними інструментальних спостережень на метеостанціях (проаналізовані дані метеостанцій МДУ, Балчуг, ВДНГ, а також з інших метеостанцій в Московській та сусідніх областях), а також за космічними знімками в тепловому інфрачервоному діапазоні (використано знімки знімальної апаратури TIRS, супутник Landsat 8). В ході роботи встановлено кліматичні причини посилення острова тепла Москви; виявлено максимальні значення острова тепла, його внутрішня структура і її просторово-часова мінливість; оцінено можливість застосування знімків системи TIRS для вивчення міського острова тепла Москви.

**Ключові слова:** міський острів тепла, теплові космічні знімки, Москва, Landsat.

**Mikhail Grishchenko, Pavel Konstantinov**

### REVEALING MOSCOW SURFACE URBAN HEAT ISLAND USING THERMAL INFRARED IMAGES ACQUIRED BY RESOURCE SATELLITES

In this paper we present the analysis of the seasonal variability of the Moscow urban heat island according to instrumental observations at meteorological stations (data of meteorological stations MSU, Balchug, VDNH, and a number of stations in Moscow oblast and its neighborhoods were analyzed) and thermal infrared satellite images (images acquired by TIRS system, satellite Landsat 8 were used). The digital number values of the thermal images are translated into values of land surface temperature. A comparison of the land surface temperature values obtained by thermal satellite images and the values of the atmospheric air temperature and the surface measured according to standard procedures at meteorological stations has been made. The authors revealed the climatic reasons that strengthen Moscow urban heat island: this is due primarily to the positive anomalies of atmospheric pressure, and anomalies of the thermal regime have no effect on the intensity of the phenomenon. Maximum Moscow urban heat island magnitude (slightly more than 3°C for the air temperature and about 15°C for surface temperature), its internal structure and its spatial and temporal variability were estimated - during the analyzed period, the maximum surface urban heat island identified on thermal satellite images was observed in winter, and the maximum urban heat island – in summer. The applicability of the TIRS images for the Moscow urban heat island study was also examined.

**Keywords:** urban heat island, thermal infrared satellite images, Moscow, Landsat.

**Вступлення.** Остров тепла — явление, заключающееся в повышении температуры атмосферного воздуха и земной поверхности в пределах города по сравнению с его окрестностями. Различают остров тепла, связанный с повышением температуры воздуха (собственно остров тепла) и остров тепла, связанный с повышением температуры земной поверхности (поверхностный остров тепла). Для изучения собственно острова тепла применяются метеорологические модели, организуются сети

полевых наблюдений. Космические снимки позволяют выявлять и исследовать такое явление, как поверхностный тепловой остров города (surface urban heat island). С февраля 2011 года начал съёмку новый космический аппарат Landsat-8, на котором установлена аппаратура TIRS, ведущая съёмку в двух участках теплового инфракрасного диапазона с пространственным разрешением 100 м. Пространственное разрешение 100 метров позволяет дешифровать внутреннюю структуру поверхностного

теплового острова города с точностью до городских кварталов. Используя разновременные тепловые снимки, мы можем получить информацию о пространственно-временной динамике поверхностного острова тепла города. С помощью наземных метеорологических наблюдений можно фиксировать интенсивность и внутреннюю структуру собственно острова тепла. Сопоставление метеорологических данных и космических снимков позволяет получить детальные данные об острове тепла Москвы.

**Исходные предпосылки.** В мировой практике применение снимков в тепловом инфракрасном диапазоне для изучения поверхностного острова тепла развито достаточно широко. В большинстве таких исследований не выделяют проблему поверхностного острова тепла (surface urban heat island), а говорят об острове тепла в целом (urban heat island).

Значительную часть научных работ по теме исследования городского острова тепла занимают различные варианты моделирования тепловых характеристик поверхности и извлечения параметров теплового излучения. Одна из наиболее часто поднимаемых проблем — получение по тепловым снимкам значений температуры земной поверхности — land surface temperatures (LST) [12–15]. Однако решить её не так просто — связь между температурой объектов земной поверхности и яркостью на тепловых снимках далека от прямой [1, 11].

Множество работ посвящены разработке методов исследования пространственно-временной динамики городского острова тепла [2], как сезонной, так и суточной [5–7, 14]. Используются данные таких сенсоров, как AVHRR, MODIS, TM, ETM+, а также авиационных и наземных аппаратов. Изучение суточной динамики позволяет достаточно полно оценить тепловые характеристики различных городских объектов, изменение амплитуды температуры в пределах города в течение суток, выявить объекты, формирующие тепловые аномалии в разное время суток, определить время суток, лучше всего подходящее для проведения тепловой съёмки для тех или иных целей [5]. Изучение сезонной динамики позволяет выявить особенности изменения структуры городского острова тепла, особенности динамики локальных тепловых аномалий, тепловых характеристик

антропогенных и природных объектов в течение всего года [14].

Имеют место и комплексные исследования, в которых сочетаются построение изображений LST, изучение сезонной и суточной динамики в городах с различными климатическими условиями, статистический анализ, изучение связи между изображениями LST, NDVI и картами land cover/land use, изучение тепловых потоков [7]. В таких работах используются как снимки низкого пространственного разрешения и большого охвата, так и снимки со спутников серии Landsat. Исследования такого типа дают многостороннюю оценку городского острова тепла и вносят существенный вклад в исследования климата города и воздействия урбанизации на окружающую среду.

**Цель исследования** — изучить пространственно-временную динамику внутренней структуры поверхностного теплового острова Москвы по космическим снимкам в тепловом инфракрасном диапазоне.

#### **Изложение основного материала**

**Материалы и методы.** Поверхностный остров тепла Москвы проанализирован на основе тепловых космических снимков системы TIRS, установленной на спутнике Landsat 8. Пространственное разрешение таких снимков составляет 100 метров, они регистрируются в двух спектральных диапазонах: 10,3–11,3 мкм (10 канал) и 11,5–12,5 мкм (11 канал), съёмочная система проводит съёмку территории Москвы примерно в 11:30 по Московскому времени. Такие снимки впервые использованы как источники информации о поверхностном острове тепла Москвы. Использовано 10 разносезонных тепловых космических снимков 2014–2015 годов.

Исходные значения яркостей тепловых снимков пересчитаны в значения температуры земной поверхности. Использована методика, приведённая, к примеру, здесь [9]. Эта методика впервые использована для изучения острова тепла Москвы.

На первом этапе проведена радиометрическая коррекция снимков, т.е. получены значения спектральной плотности излучения в Вт/м<sup>2</sup>:

$$CV_{R_1} = \left( \frac{(R_{max} - R_{min})}{(Qcal_{max} - Qcal_{min})} \right) * (DN - Qcal_{min}) + R_{min} \quad (1)$$

где:  $CV_{R_1}$  — спектральная плотность излучения без учёта влияния атмосферы;  $R_{max}$  —

максимальное значение интенсивности теплового излучения;  $R_{min}$  – минимальное значение интенсивности теплового излучения;  $Qcal_{max}$  – максимальное значение яркости пикселей снимка;  $Qcal_{min}$  – минимальное значение яркости пикселей снимка;  $DN$  – исходное значение яркости пикселя.

Далее проведена атмосферная коррекция снимков, т.е. получены значения той же физической величины, что и в уравнении (1), но с учётом влияния атмосферы:

$$CV_{R2} = \left( \frac{(CV_{R1} - L\uparrow)}{\tau\varepsilon} \right) - \left( \frac{(I - \varepsilon)}{\varepsilon} \right) * L\downarrow \quad (2)$$

где:  $CV_{R2}$  – спектральная плотность излучения с учётом влияния атмосферы;  $CV_{R1}$  – спектральная плотность излучения без учёта влияния атмосферы;  $L\uparrow$  – спектральная плотность энергетической яркости восходящего излучения атмосферы в направлении сенсора;  $L\downarrow$  – спектральная плотность энергетической яркости нисходящего излучения атмосферы в направлении земной поверхности;  $\tau$  – зональный коэффициент пропускания атмосферы;  $\varepsilon$  – излучательная способность объектов земной поверхности.

Коэффициенты  $L\uparrow$ ,  $L\downarrow$ ,  $\tau$  получены с помощью калькулятора параметров атмосферной коррекции [4]. Для получения значений излучательной способности проведена контролируемая классификация многозонального космического снимка системы OLI (спутник Landsat 8), составленного из снимков, зарегистрированных в ближнем инфракрасном, красном и зелёном диапазонах. Полученные типы поверхности и соответствующие им значения излучательной способности приведены в табл. 1. Значения излучательной способности известны из справочников.

После проведения процедуры атмосферной коррекции полученные значения спектральной плотности излучения переведены в значения температуры:

$$T_K = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{CV_{R2} + 1}\right)} \quad (3)$$

где:  $T_K$  – значения температуры земной поверхности в Кельвинах;  $CV_{R2}$  – значения спектральной плотности излучения с учётом влияния атмосферы;  $K_1$  и  $K_2$  – калибровочные константы.

**Таблица 1.**  
**Значения излучательной способности для учтённых в работе типов поверхности**

Типы поверхности	$\varepsilon$
лесная и парковая растительность	0,99
луговая и разреженная древесная растительность	0,989
участки открытого грунта	0,92
водные объекты	0,93
техногенные объекты	0,94

После проведения этих расчётов значения температуры земной поверхности, полученные для каналов 10 и 11, были усреднены. Значения температуры земной поверхности переведены в градусы Цельсия:

$$T_C = T_K - 273,15 \quad (4)$$

где:  $T_C$  – значения температуры земной поверхности в градусах Цельсия;  $T_K$  – значения температуры земной поверхности в Кельвинах.

Анализ изменчивости городского острова тепла по климатическим параметрам произведен по методике, опробованной в [8]. Согласно ей, интенсивность городского острова тепла Москвы считается как разность значений температуры между городской метеостанцией (Балчуг) и средним из 8 фоновых метеостанций (Наро-Фоминск, Ново-Иерусалим, Клин, Александров, Павловский Посад, Коломна, Серпухов, Малоярославец). Данная методика является наиболее надёжной для Московского региона, освещенного плотной сетью метеорологических станций.

**Результаты и их анализ.** Рассматривая характеристики городского острова тепла Москвы в 2014 году, стоит вспомнить, какова была его месячная изменчивость в 2000-2012 гг. (рис. 1).

Сравнивая с ним интенсивность острова тепла Москвы в 2014 году (рис. 2), мы можем видеть, что в общих чертах ситуация схожа с климатической (максимум в летние месяцы – июль-август, относительно низкие значения в октябре), но имеются и различия. Так, относительно высокие значения интенсивности

городского острова тепла наблюдаются в январе и ноябре – в отличие от средних климатических значений. Попробуем разобраться, в чем причина, проанализировав годовой ход температуры и влажности на станции МГУ, как наиболее репрезентативной в Московском регионе.

В первой половине года самым ярким событием явилась заметная положительная аномалия февраля-марта – месяцы оказались теплее нормы на 5,7 и 5,2 градуса соответственно – в феврале –2,1 градуса против климатических –7,8. В следующем месяце природа одарила москвичей исключительно теплым мартом –

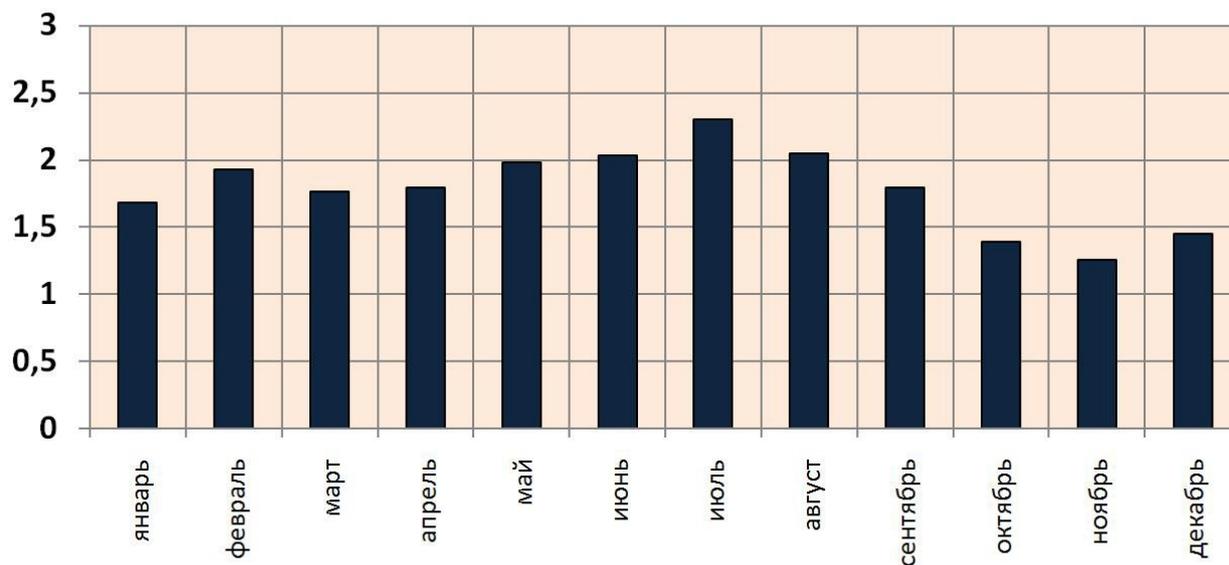


Рис. 1. Годовой ход городского острова тепла Москвы в 2000-2012 гг.

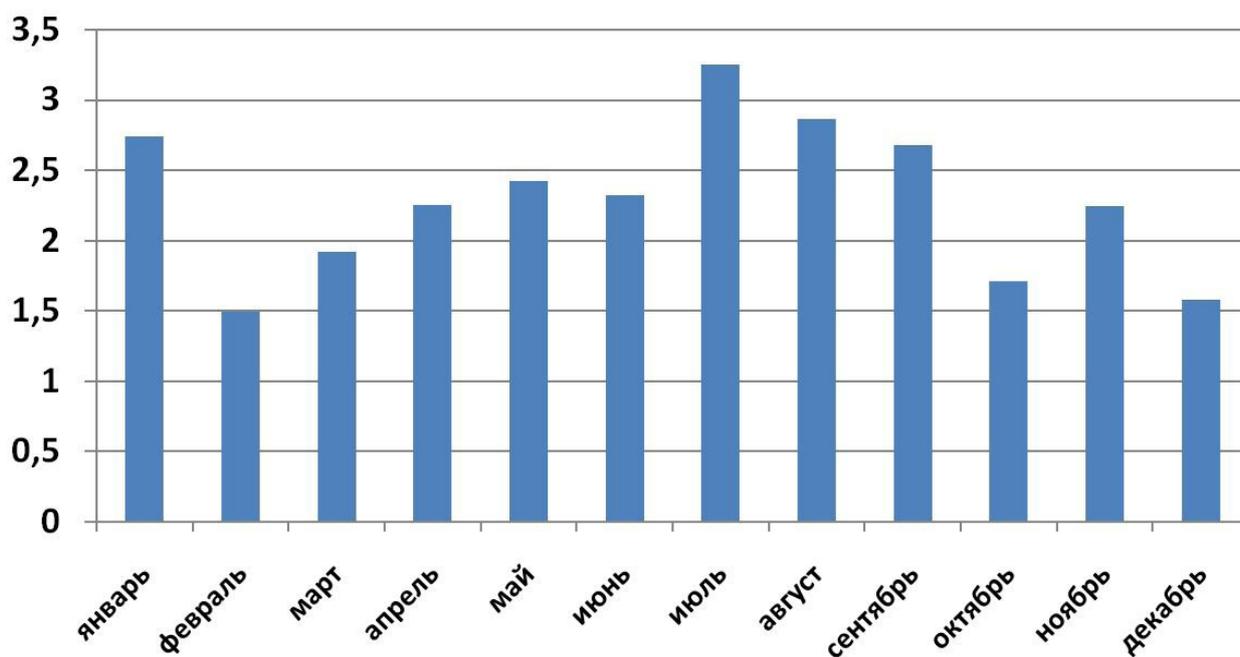


Рис. 2. Годовой ход городского острова тепла Москвы в 2014 году

в третьей декаде месяца температура поднималась до +20 градусов. Апрель был также теплее нормы — на 1,6 градуса, да и май оказался жарким — аномалия со знаком «плюс» составила 3 градуса. И лишь июнь оказался холоднее обычного — отрицательная аномалия составила -0,6 градуса. Это наглядный пример того, как наложение аномалий разного знака приводит к их нивелированию на более крупных временных отрезках. Из летних месяцев наиболее теплым относительно нормы оказался июль (аномалия +3,1), да и все лето было умеренно жарким — выше +33,8 градусов столбики термометров не поднимались. Сентябрь также оказался довольно теплым относительно климатического уровня, а вот октябрь был на 1,1 градуса холоднее обычного. Финальный аккорд 2014 года — декабрь стал теплее обычного сразу на 4,3 градуса. В итоге, в среднем год не только оказался более теплым, чем обычно (положительная аномалия составила +2,05 °C — за счет исключительно теплых февраля, марта и декабря), но и стал самым теплым за последние пять лет. Однако, в интересующие нас месяцы (ноябрь-январь) видно, что особых отклонений от нормы не наблюдается.

Относительная влажность в 2014 году была заметно ниже климатических значений [3] — среднегодовое значение параметра на 7% меньше климатической нормы. Наиболее сухим месяцем с точки зрения относительного влагосодержания стал июль (39%), наиболее влажным — декабрь (85%). В месяцы с положительной аномалией значений городского острова тепла Москвы (январь и ноябрь) отмечается отрицательная аномалия значений относительной влажности, которая, однако, не достигает экстремальных значений.

Рассмотрим атмосферное давление. Обычно локальные минимумы давления приходятся на июль (самый влажный месяц в московском климате) и декабрь. Однако в 2014 году распределение давления сильно отличалось от климатического. Максимум был достигнут в ноябре (достигнуто экстремальное среднее значение для этого месяца 1005,3 гПа). Высоких отметок 995 гПа и выше достигали среднемесячные значения в январе, феврале, июле, сентябре, октябре и ноябре. Самое низкое значение было достигнуто в июне (который, напомним, стал относительно прохладным). Исключительная аномалия атмосферного давления в ноябре была вызвана

блокирующим антициклоном азорского происхождения.

Видно, что высокая корреляция значений интенсивности городского острова тепла Москвы достигается из метеорологических параметров именно с атмосферным давлением — это и понятно, согласно классической теории, именно в антициклональных условиях остров тепла достигает максимального развития [10].

Проведено сопоставление значений температуры земной поверхности, полученных по тепловым космическим снимкам, и значений температуры приземного слоя атмосферного воздуха и поверхности, измеренных по стандартным методикам на метеостанциях.

При изучении связи значений температуры, полученных по наземным и космическим данным, выявлено, что значения температуры, рассчитанные по тепловым космическим снимкам, находятся в интервале между значениями температуры воздуха и температуры земной поверхности, полученными по данным прямых измерений, причём в большинстве случаев данные космических снимков ближе к значениям температуры воздуха. Наименьшая разница между данными космических снимков и данными прямых измерений температуры воздуха составляет 0,9 °C и отмечена на метеостанции ВДНХ 26 мая 2015 г., правда, в этот день температура, рассчитанная по космическому снимку ниже, чем температура воздуха, что выбивается из общей закономерности. Наименьшая разница между данными космических снимков и температурой поверхности составляет 1,1 °C, она отмечена на метеостанции МГУ 16 марта 2015 г. В этот день отличия температуры воздуха от рассчитанной по космическому снимку также невелики — всего 1,7 °C. Следующие в порядке возрастания значение разницы измеренной и рассчитанной температуры земной поверхности составляет 2,3 °C, затем 3,9 °C, затем 7,6 °C. Практически во все анализируемые даты по данным прямых измерений поверхность теплее воздуха; исключением являются даты 16 мая 2015 г. и 31 января 2014 г. Рассчитанные по тепловым снимкам значения температуры, как правило, ниже температуры земной поверхности и выше температуры воздуха; исключения составляют даты: 31 января 2014 г., 21 сентября 2014 г., 23 марта 2015 г., 7 августа 2015 г. — во всех четырёх случаях рассчитанная по снимку температура — самая низкая из трёх.

Проведён анализ сезонной изменчивости поверхностного острова тепла Москвы, основанный на тепловых космических снимках съёмочной системы TIRS, установленной на спутнике Landsat 8. Выявлены следующие закономерности.

Для зимнего поверхностного острова тепла (например, 31 января 2014 г.) характерны отрицательные температуры практически для всех объектов. Исключения составляют только подверженные интенсивному тепловому загрязнению воды р. Москва, температура которых поднимается до 2 °С и выше. Наиболее низкие значения температуры характерны для пониженных участков, например, для долины р. Москвы выше Рублёво — ниже –25 °С. Выше –22 °С не поднимается температура на территории московских парков. Температура земной поверхности в пределах крупных жилых районов находится в пределах –18 ... –20 °С. Наконец, для центра города характерны значения температуры около –10 ... –15 °С. Общую интенсивность поверхностного острова тепла (разницу между максимальным значениям температуры земной поверхности в пределах города и минимальным значением температуры земной поверхности в пригороде) можно оценить в 15 °С. Интересно отметить, что центр поверхностного острова тепла слегка смещён на восток.

Весной (анализируемый снимок получен 21 апреля 2014 г.) наиболее тёплыми объектами являются промышленные зоны, участки открытых грунтов, а также крупные здания. Их температура достигает 30 °С и более за счёт интенсивного нагрева под действием прямого солнечного излучения. Жилые районы в целом не нагреваются выше 25 °С. Температура парков составляет около 20 °С, причём чем больше площадь лесного или паркового массива и чем дальше он расположен от центра Москвы, тем его температура ниже. Наиболее низкой температурой (ниже –15 °С) характеризуются водные объекты, такие как р. Москва и гидросистема канала имени Москвы. Общая интенсивность поверхностного острова тепла составляет 5–10 °С.

Летний поверхностный остров тепла проанализирован на примере снимка за 26 мая 2015 г., т.к. за два года летних безоблачных снимков системы TIRS на территорию Москвы в архиве USGS нет, а в конце мая в Москве устанавливается погода, обычная для московского лета. Впрочем, на анализируемом снимке

присутствуют облака в центральной части города. Так же, как и весной, наиболее тёплыми объектами являются промышленные зоны и крупные здания (в том числе, крупные торговые центры), однако температурный контраст между городскими объектами значительно увеличивается. Так, наиболее тёплые объекты прогреваются до 35–50 °С, в то время как температура лесных и парковых массивов, а также крупных водных объектов достигает всего лишь 15 °С. Для жилых районов обычно температура около 25 °С. Общая интенсивность поверхностного острова тепла составляет 10 °С.

Для осени (например, 21 сентября 2014 г.), так же как и для весны, характерна уменьшенная, по сравнению с летом и зимой, общая интенсивность поверхностного острова тепла. Так, на приведённом снимке она составляет около 5 °С. Температура наиболее тёплых городских объектов превышает 25 °С. Для жилых районов в целом характерна температура в районе 17–20 °С. Леса и парки — наиболее холодные объекты — их температура не превышает 17 °С. При этом водные объекты уже не относятся к наиболее холодным — их температура составляет 18–20 °С и более, т.к. они нагрелись за лето и ещё не потеряли накопленное тепло благодаря высокой теплоёмкости воды.

#### **Выводы.**

1. Изменчивость городского острова тепла Москвы в 2014 году в основном соответствует стандартному сезонному ходу, выявленному по данным 2000–2012 гг. Усиление эффекта острова тепла связано, прежде всего, с положительными аномалиями атмосферного давления, а аномалии термического режима практически не оказывают влияния на интенсивность рассматриваемого явления.

2. Значения температуры, рассчитанные по тепловым космическим снимкам, в большинстве случаев ниже данных прямых измерений температуры земной поверхности и выше данных прямых измерений температуры воздуха, причём данные тепловых космических снимков лучше согласуются с данными прямых измерений температуры воздуха, а не поверхности.

3. За 2014–15 гг. максимальный поверхностный остров тепла, выявленный по тепловым космическим снимкам, наблюдался зимой, и его максимальная интенсивность составила 15 °С. В переходные сезоны поверхностный остров тепла выражен слабее, чем зимой и летом. Наиболее тёплые городские объекты

в тёплое время года — промышленные зоны и крупные здания. Наиболее холодные городские объекты в тёплое время года — лесные и парковые массивы.

*Рецензент: кандидат географических наук, доцент, Н.А. Алексеенко*

#### **Список литературы:**

1. Горный В. И. Тепловая аэрокосмическая съёмка / В. И. Горный, Б. В. Шилин, Г. И. Ясинский. – М.: Недра, 1993. – 128 с.
2. Книжников Ю. Ф. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 206 с.
3. Справочник эколого-климатических характеристик Москвы (по наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ). Том 1 / [под ред. А. А. Исаева]. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. – 302 с.
4. Atmospheric Correction Parameter Calculator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/> (дата звернення: 08.03.2016).
5. Chudnovsky A. Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements / A. Chudnovsky, E. Ben-Dor, H. Saaroni // *Energy and Buildings*. – 2004. – Vol. 36. – P. 1063-1074.
6. Dousset B. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover / B. Dousset, F. Gourmelon // *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. – 2003. – Vol. 58. – P. 43–54.
7. Hung T. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities / T. Hung, D. Uchiyama, S. Ochi, Y. Yasuoka // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2006. – Vol. 8. – P. 34–48.
8. Kukanova E. A. An urban heat islands climatology in Russia and linkages to the climate change / E. A. Kukanova, P. I. Konstantinov // *Geophysical Research Abstracts of EGU General Assembly*. – 2014. – Vol. 16. – P. 10833.
9. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Version 1.0. June 2015. – Sioux Falls, South Dakota : EROS, 2015. – 106 p.
10. Oke T. R. Boundary layer climates. Second edition. – 1987. – 435 p.
11. Pogliano T. OSIRIS: a physically based simulation tool to improve training in thermal infrared remote sensing over urban areas at high spatial resolution / T. Pogliano, S. Mathieu-Marni, T. Ranchin, E. Savaria, L. Wald // *Remote Sensing of Environment*. – 2006. – Vol. 104. – P. 238-246.
12. Sobrino J. A. Land surface temperature retrieval from Landsat-5/TM / J. A. Sobrino, J. C. Jimenez-Munoz, L. Paolini // *Remote Sensing of Environment*. – 2004. – Vol. 90. – P. 434-440.
13. Srivastava P. K. Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data / P. K. Srivastava, T. J. Majumdar, A. K. Bhattacharya // *Advances in Space Research*. – 2009. – Vol. 43. – P. 1563-1574.
14. Suga Y. Detection of surface temperature from Landsat-7/ETM+ / Y. Suga, H. Ogawa, K. Ohno, K. Yamada // *Advances in Space Research*. – 2003. – Vol. 32, №11. – P. 2235-2240.
15. Zhang J. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band 6 / J. Zhang, Y. Wang, Y. Li // *Computers & Geosciences*. – 2006. – Vol. 32. – P. 1796–1805.

#### **References:**

1. Gornyj, V. I., Shilin, B. V., Jasinskij, G. I. (1993). *Teplovaja ajerokosmicheskaja s»jomka [Thermal aerospace survey]*. Moscow, Russia: Nedra, 128.
2. Knizhnikov, Ju. F., Kravcova V. I. (1991). *Ajerokosmicheskie issledovanija dinamiki geograficheskij javlenij [Aerospace research of the geographical features dynamics]*. Moscow, Russia : Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 206.
3. Isaev, A.A. (2003). *Spravochnik jekologo-klimaticheskij harakteristik Moskvy (po nabljudenijam meteorologicheskij observatorii MGU). Tom 1. [Reference book of Moscow-city ecological-climatic attributes (based on MSU meteorological observatory data)]*. Moscow, Russia : Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 302.
4. Atmospheric Correction Parameter Calculator. Available at: <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>
5. Chudnovsky, A., Ben-Dor, E., Saaroni, H. (2004). Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements. *Energy and Buildings*, 36, 1063-1074.
6. Dousset, B., Gourmelon, F. (2003). Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58, 43–54.
7. Hung, T., Uchiyama, D., Ochi, S., Yasuoka, Y. (2006). Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8, 34–48.
8. Kukanova, E. A., Konstantinov, P. I. (2014). An urban heat islands climatology in Russia and linkages to the climate change. *Geophysical Research Abstracts of EGU General Assembly*, 16, 10833.
9. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Version 1.0. June 2015. (2015). Sioux Falls, South Dakota : EROS, 106.

10. Oke, T. R. (1988). Boundary layer climates. Second edition, 435
11. Pogli, T., Mathieu-Marni, S., Ranchin, T., Savaria, E., Wald, L. (2006). OSIRIS: a physically based simulation tool to improve training in thermal infrared remote sensing over urban areas at high spatial resolution. Remote Sensing of Environment, 104, 238-246.
12. Sobrino, J. A., Jimenez-Munoz, J. C., Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from Landsat-5/TM. Remote Sensing of Environment, 90, 434-440.
13. Srivastava, P. K., Majumdar, T. J., Bhattacharya, A. K. (2009). Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data. Advances in Space Research, 43, 1563-1574.
14. Suga, Y., Ogawa, H., Ohno, K., Yamada, K. (2003). Detection of surface temperature from Landsat-7/ETM+. Advances in Space Research, 32, 11, 2235-2240.
15. Zhang, J., Wang, Y., Li, Y. (2006). A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band 6. Computers & Geosciences, 32, 1796-1805.

УДК 371.13

**Інна Рожі**, аспірант

e-mail: inna.aleynikova.93@mail.ru

**Оксана Браславська**, док. пед. н. професор

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

## ЗАСТОСУВАННЯ ГІС ПРИ ПЛАНУВАННІ НАВЧАЛЬНИХ ТУРИСТСЬКО-КРАЄЗНАВЧИХ МАРШРУТІВ НА ПРИКЛАДІ МІСТА УМАНЬ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

У статті розглянуто можливості розвитку географічної освіти та туристсько-краєзнавчої роботи в умовах застосування ГІС-технологій. Проаналізовано сучасний стан розвитку ГІС та туристсько-краєзнавчої роботи зі студентами-географами педагогічних ВНЗ. Описано застосування ГІС у туристсько-краєзнавчій роботі як ефективного засобу інвентаризації ресурсів та залучення ГІС для аналізу й моделювання наявних даних. Охарактеризовано програму Mapinfo, як геоінформаційну програму, за допомогою якої введенні дані відображаються в ілюстрованому вигляді.

**Ключові слова:** ГІС, туристсько-краєзнавча робота, маршрут, географічна освіта.

**Инна Рожи, Оксана Браславская**

### ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ УЧЕБНЫХ ТУРИСТИЧЕСКО-КРАЕВЕДЧЕСКИХ МАРШРУТОВ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА УМАНЬ ЧЕРКАССКОЙ ОБЛАСТИ

В статье рассмотрены возможности развития географического образования и туристическо-краеведческой работы в условиях применения ГИС-технологий. Проанализировано современное состояние развития ГИС и туристическо-краеведческой работы со студентами-географами педагогических ВУЗов. Описано применение ГИС в туристическо-краеведческой работе, как эффективного средства инвентаризации ресурсов и привлечения ГИС для анализа и моделирования имеющихся данных. Охарактеризовано программу Mapinfo, как геоинформационную программу, с помощью которой введенные данные отображаются в иллюстрированном виде.

**Ключевые слова:** ГИС, туристическо-краеведческая работа, маршрут, географическое образование.

**Inna Rozhi, Oksana Braslavska**

### GIS APPLICATION IN TOURIST AND LOCAL LORE ROUTES PLANNING ON THE EXAMPLE OF UMAN, CHERKASY REGION

The article discusses the possibility to develop geographical education and tourism and local lore work under condition of GIS technology application. The current state of GIS and tourism and local lore work with students-geographers of pedagogical universities has been analyzed. GIS application in tourism and local lore work as an effective means of inventory resources and involvement of GIS analysis and modeling of available data has been described. Mapinfo program, the GIS program, which shows data in an illustrated form, has been characterized. GIS technologies identifying priority areas that require upgrading of the content and methods of planning, preparation and implementation of educational tourism and naturalistic routes, have been described. When applying GIS in tourism and local lore work the following processes take place: different programs mapping; local lore tourist routes modeling; creation of data banks of various local lore objects according to the main directions of regional researches. It has been determined that GIS is practical work that provides a virtual area formation, a computer model for a strong knowledge system, positive motivation to training and learning.

**Keywords:** GIS, tourism and local history work, route, geographical education.

**Вступ.** Розвиток географічної освіти в сучасному суспільстві розширює можливості для формування особистості, адже саме вона

зкладає основи просторового мислення, сприяє формуванню пізнавальної активності та самостійності студентів. Із розвитком