

УДК 528.854: 551.584.5

Використання даних супутника Landsat 8 для визначення мікрокліматичних особливостей Києва

С. А. Шевчук, В. І. Вишневецький *

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна

Висвітлено результати використання даних ДЗЗ, виконаних супутником Landsat 8, для з'ясування температурних особливостей та аномалій м. Києва. Встановлено особливості температури окремих мікрорайонів та акваторії Дніпра.

Ключові слова: мікроклімат, Київ, Landsat 8, термічні аномалії, водна поверхня

© С. А. Шевчук, В. І. Вишневецький. 2016

Вступ

Клімат Києва уже тривалий час є об'єктом вивчення багатьох наукових колективів. Про це свідчить наявність численних публікацій, зокрема, монографічних. Але навіть при підготовці монографічного видання "Клімат Києва" [2], що побачило світ у 2010 р., не було виконано мікрокліматичні дослідження. Деякі особливості клімату міста встановлено лише шляхом порівняння даних спостережень у Києві з даними найближчих метеостанцій. Разом з тим мікроклімат Києва являє інтерес не лише для науковців, проектувальників міської забудови, а й для звичайних мешканців. Це й визначило мету дослідження — використовуючи дані дистанційного зондування Землі, виявити мікрокліматичні особливості Києва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом, насамперед в англомовному науковому середовищі, великої популярності набуло використання даних супутника Landsat 8, що був запущений на початку 2013 р. Цей супутник обладнано кількома сенсорами, два з яких (канали 10 і 11), здатні реєструвати інфрачервоне випромінювання. Просторове розрізнення отримуваних зображень (розмір пікселя) становить 100 м. Крім того, встановлена на супутнику апаратура дає змогу робити знімки ще у кількох діапазонах випромінювання зі значно кращим просторовим розрізненням.

За час перебування супутника Landsat 8 на орбіті виконано чимало досліджень [1, 4–8], спрямованих на визначення температури земної поверхні (Land Surface Temperature, або LST). Доволі швидко встановлено [4, 6], що ця температура визначається з певною похибкою, яка залежить від низки факторів. Одним із них є вплив самого сонячного випромінювання. Це визначило, що в лютому 2014 р. у дані

Landsat 8 було внесено уточнення. Деякий вплив на отримувани значення температури земної поверхні зумовлює також атмосфера, а саме наявність у повітрі водяної пари. Виявлено [7], що похибка прямо пропорційна вологості повітря.

Результати досліджень [4] показали, що в цілому точнішим є визначення температури земної поверхні за даними каналу 10. З'ясовано, що точність визначення температури навіть з використанням каналу 10 є дещо гіршою, ніж за даними термічної зйомки супутником Landsat 7. Встановлено, що результати визначення температури залежать і від її фактичних значень. У цілому задовільною є точність для діапазону близько 20°C. З відхиленням від цієї температури похибка зростає.

Деякі положення щодо мікрокліматичних особливостей Києва висловлені у статтях вітчизняних авторів [1, 3]. Зокрема у праці [1] вміщено зображення температури земної поверхні Києва влітку 2014 р.

Методи досліджень

Основою для цього дослідження стали дані супутника Landsat 8, який виконує зйомку Києва та прилеглої території кожні 16 діб. На знімках серії LC8181025 Київ виявляється майже в центрі. Час цієї зйомки — 8:49 за Всесвітнім часом. Крім того, зображення майже всього міста, за винятком його південно-східної частини, потрапляє на знімки серії LC8182025. Час виконання цих знімків — 8:55 за Всесвітнім часом. Ці знімки скопійовано із сайту Геологічної служби США (<http://glovis.usgs.gov>).

Температура земної поверхні визначалася за показниками каналів 10 і 11. Крім того, для кращої візуалізації зображень використано результати зйомки в інших діапазонах, просторове розрізнення яких становить 15–30 м.

Температура земної поверхні визначалася відповідно до настанов [6], з використанням програми ArcMAP 10 за формулами, рекомендованими для Landsat 8:

* E-mail: vishnev@voliacable.com

$$T = (1321.08 / (\ln((774.89 / ((\text{"B10.TIF"} * 0.0003342) + 0.1)) + 1))) - 273.15;$$

$$T = (1201.14 / (\ln((480.89 / ((\text{"B11.TIF"} * 0.0003342) + 0.1)) + 1))) - 273.15.$$

Для порівняння супутникових даних з фактичною температурою її вимірювали безпосередньо в кількох затоках Дніпра і великих озерах м. Києва. У цьому разі враховувався той факт, що температура води в цих водоймах немає великих просторових відмінностей. Крім того, використано дані спостережень гідрометслужби за температурою води в Дніпрі на гідрологічному посту в Гідропарку, а також у Київському водосховищі біля м. Вишгород. В останньому разі вибиралися дані, коли протягом доби відмінності в температурі води були невеликі. Це зумовлено тим, що на мережі гідрометслужби виміри виконуються лише двічі на добу: о 8:00 і 20:00 за місцевим часом.

У дослідженнях також використано матеріали спостережень за приземною температурою повітря і загалом за погодними умовами на метеостанції "Київ", що розташована поблизу проспекту Науки (координати метеомайданчика: 50° 23' 30" пн. ш. і 30° 32' 08" сх. д.). Зібрано також дані про температуру поверхні ґрунту, яка вимірюється на цьому ж метеомайданчику.

Висвітлення основних результатів

За більш як трирічний період перебування на орбіті супутника Landsat 8 отримано доволі велику кількість зображень м. Києва, але через значну зашмареність багатьох із них кількість високоякісних знімків не така вже й велика — насамперед у зимовий час. Крім того, сам факт знімання території лише у фіксований час не дає змоги характеризувати термічні особливості у найхолоднішу і найтеплішу частини доби. У холодний період року час зйомки всієї території Києва відмінний від Всесвітнього на дві години і становить 10:49. У теплий період року у зв'язку з переходом на літній час відмінність із Всесвітнім часом становить 3 год.

На початку розглянемо питання відповідності температури земної поверхні за наведеними вище формулами з фактичною. Виявилось, що порівняти її з тією, що вимірюється на метеомайданчику, дуже

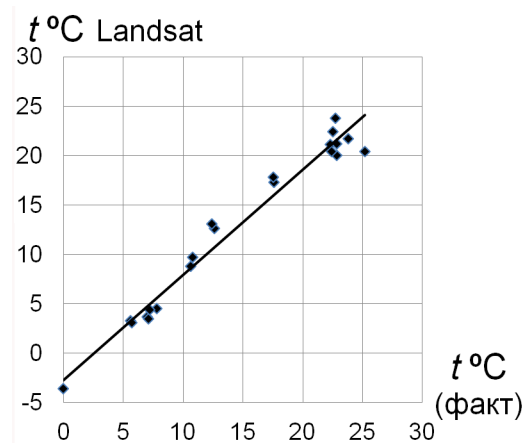


Рис. 1. Залежність між фактичною температурою води з визначеною за даними каналу 10 супутника Landsat 8

проблематично. Основною причиною є незрівнянно менші розміри місця вимірів з роздільною здатністю апаратури супутника. Це і визначило залучення даних про температуру води, яка не має великих просторових коливань. Таке саме рішення було використано авторами статті [4].

Встановлено, що температура водної поверхні за супутниковими даними виявилася дещо нижчою за фактичну — насамперед у холодну пору року, коли температура води близька до 0°C. Кращий збіг даних отримано для десятого каналу, гірший — для одинадцятого каналу. Але навіть у першому разі відхилення взимку сягають 3–4 °C, улітку — 2–3°C (рис. 1).

Попри існування певної систематичної похибки, дані ДЗЗ усе ж дають змогу виявити мікрокліматичні особливості Києва, а саме — особливості температури земної поверхні.

Розглянемо для початку те, якими є ці особливості у холодний період року. Для цього використаємо знімки, зроблені 31.12.2014 і 17.02.2015, коли в умісті спостерігалася майже ідеальна зимова погода: безхмарна і водночас з доволі низькими температурами. Цікавою особливістю умов 31.12.2014 було те, що того дня температура повітря виявилася нижчою, ніж ґрунту — причому навіть у нічний час. Причиною став північний вітер, який напередодні та в першу половину доби 31.12.2014 спричинив зниження температури — насамперед повітря (рис. 2).

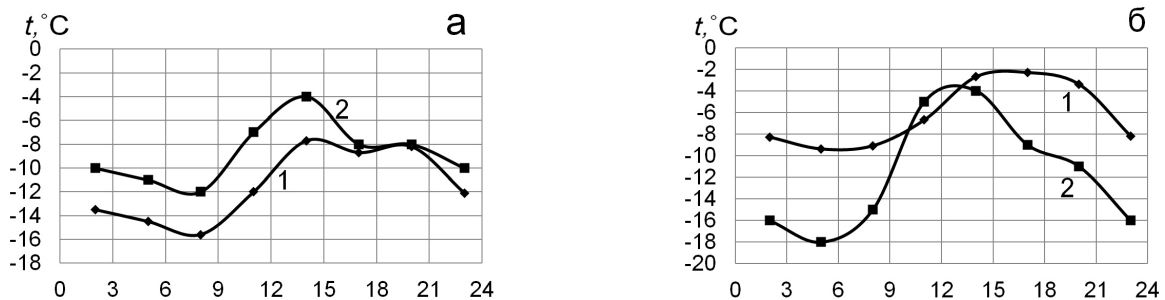


Рис. 2. Перебіг температури повітря (1) і поверхні ґрунту (2) на метеостанції "Київ" 31.12.14 (а) і 17.02.15 (б)

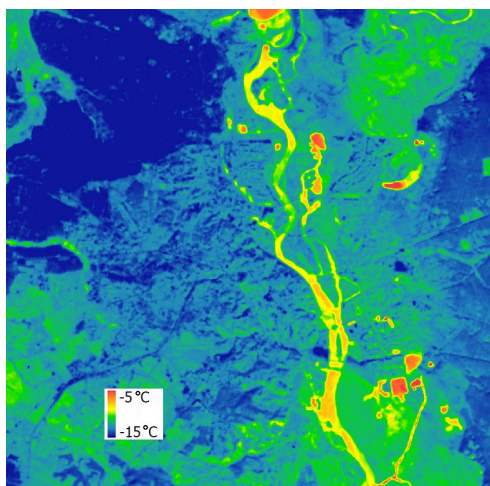
Аналіз космічних зображень, отриманих у зимовий період, показує, що в цей час у центральній частині міста помітно тепліше, ніж за межами міста — навіть за умов відсутності очевидних чинників впливу. Для цього можна порівняти температуру в приміській зоні з тією, що спостерігається в парковій зоні. Разом з тим, навіть у багатьох парках існують невеличкі осередки тепла. Тож за реперні умови взято територію Долобецького острова, що лежить між рукавами Дніпра (рис. 3).

За наявними даними, температура земної поверхні Долобецького острова у холодний період року виявилася приблизно на 1.0°C вищою, ніж у передмісті. Так, на знімку, виконаному 17.02.2015, температура в передмісті була мінус $10.5\text{--}10.8^{\circ}\text{C}$, а на острові мінус $9.3\text{--}9.8^{\circ}\text{C}$.

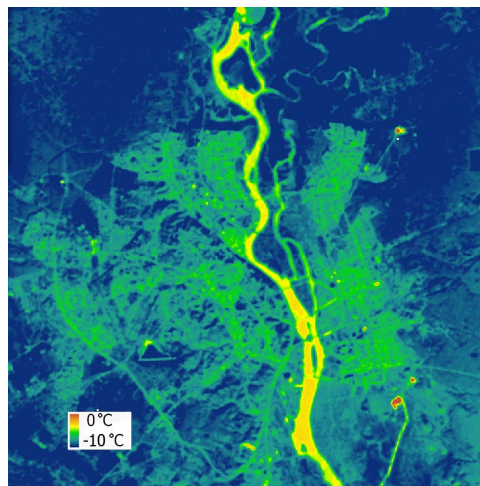
Аналіз вміщених на рис. 3 зображень показує, що істотно теплішою, порівняно з прилеглою територією, є акваторія Дніпра — навіть, якщо її частина вкрита кригою. На обох зображеннях, виконаних

у зимку, добре видно термічну аномалію, що відповідає Бортницькій станції аерації, що розташована на південно-східній околиці міста. Добре видно і канал, яким вода після очищення відводиться у Дніпро (Канівське водосховище). Меншими за розмірами є термічні аномалії, що відповідають ТЕЦ-6 (біля Троещини), Дарницькій ТЕЦ, її золовідвалу в озері Гарячка, а також сміттєспалювальному заводу “Енергія”. У правобережній частині міста простережується термічна аномалія, що відповідає сміттевому полігону № 6. Менш виразною є термічна аномалія, де розташована ТЕЦ-5.

Не можна не помітити і той факт, що Київ на зображенні від 17.02.2015, порівняно з передмістям, простежується значно краще, ніж на знімку від 31.12.2014. На зображенні від 17.02.2015 добре видно вулиці, чого немає на зображенні від 31.12.2014. Для з'ясування причин таких відмінностей було побудовано зображення у псевдо-природних кольорах. Для цього використано канали 4, 5 і 6 оптичного діапазону (рис. 4).



а

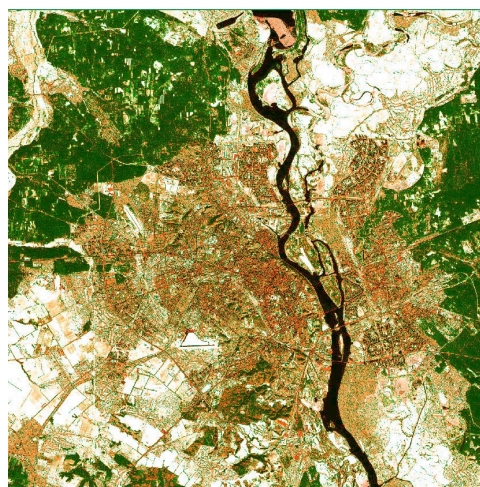


б

Рис. 3. Температура земної поверхні в Києві за даними супутника Landsat 8 (канал 10) 31.12.14 (а) і 17.02.2015 (б)



а



б

Рис. 4. Зображення території Києва у природних кольорах 31.12.14 (а) і 17.02.2015 (б)

Як видно, важливою відмінністю умов 31.12.2014 і 17.02.2015 була наявність снігового покриву у другому випадку. Його, зокрема, добре видно на прилеглих до Десни луках, а також у південній частині Києва, де переважають листяні ліси і зустрічаються сільськогосподарські угіддя.

Вочевидь, що значне забруднення снігу в межах міста, насамперед на автошляхах і поряд з ними і є головною причиною кращого поглинання сонячних променів, а відповідно й порівняно високої температури земної поверхні. Що ж до самих автомобілів як джерел тепла, то їх вплив в обох випадках залишається приблизно однаковим.

Певну роль у термічних особливостях міста відіграє й вітер. Так, 31.12.2014, коли над містом спостерігався доволі сильний північно-західний вітер, лівобережна частина міста виявилася теплішою за правобережну. Причиною є знесення сюди тепла, яке формується над містом (передусім над його центром). Про існування вітру у денний час 31.12.2014, крім даних спостережень гідрометслужби, свідчить шлейф диму від Київських ТЕЦ-5 і ТЕЦ-6 (див. рис. 4 а).

Найтеплішою частиною міста за результатами зйомки міської території 17.02.2015 виявився Поділ. Порівняно високу температуру мала також земна поверхня на Оболоні, Троєщині, Харківському масиві. Значно прохолоднішими виявилися північні та північно-східні схили пагорбів, що височать над Подолом і долиною Дніпра (див. рис. 3).

Низькі температури взимку характерні і для смуги, якій відповідає Подільсько-Воскресенський мостовий перехід, що будується. Відсутність на ньому джерел тепла і водночас перебування бетонних і сталевих прогонових споруд над землею зумовлює те, що поверхня мостового переходу узимку на кілька градусів холодніша за прилеглу територію.

На знімку від 17.02.2016 добре видно і термічні аномалії, що відповідають найважливішим автошляхам. Зокрема своєю підвищеною температурою виділяється ділянка Кільцевої дороги: насамперед від перехрестя з проспектом Перемоги до Південної Борщагів-

ки. Крім того, у правобережній частині міста підвищена температура спостерігається на проспектах Перемоги, Глушкова, а також на Столичному шосе. У лівобережній частині міста чітко видно термічну аномалію, якій відповідає вул. Братиславська.

Певні особливості температури земної поверхні простежуються і в теплий період року. Для прикладу, розглянемо результати обробки знімків, зроблених 6.06.2014 і 28.08.15. Перебіг температури у ці дні на метеостанції “Київ” вміщено на рис. 5.

Як видно на рисунку, температура в обох випадках була доволі високою — насамперед у другому випадку, коли температура повітря сягала 30°C, а ґрунту — навіть 40°C. Як і належить, у темну пору доби, холоднішою, порівняно з повітрям, виявилася земна поверхня, у світлу — навпаки.

Обробка супутникових зображень за 6.06.2014 і 28.08.15 показала значні відмінності температури порівняно із зимовими умовами. Улітку найбільш прохолодною в місті є акваторія Дніпра та його затоки. При цьому температура водної поверхні є значно нижчою за прилеглу територію — до 5°C і більше. Якщо ж порівнювати температуру води з найвищою, що спостерігається в місті, то відмінність сягає 20°C (рис. 6).

Найвища температура земної поверхні влітку в правобережній частині міста спостерігається на Подолі, а також у прилеглий зоні, що витягнута на південний захід від озерної системи Опечень. Останнє пояснюється значним поширенням тут гаражних кооперативів, промислових підприємств, а також торгово-розважальних центрів. Високою температурою виділяється також територія авіаційного заводу “Антонов” з наявними тут великими цехами. Власне, на знімках добре видно і злітно-посадкову смугу цього підприємства, а ще краще – смугу аеропорту “Жуляни”. У лівобережній частині міста високою температурою влітку виділяється промзона південніше Броварського проспекту, де розташовані вже непрацюючі підприємства “Хімволокно”, “Радікал” тощо. Подібні результати отримано у праці [1].

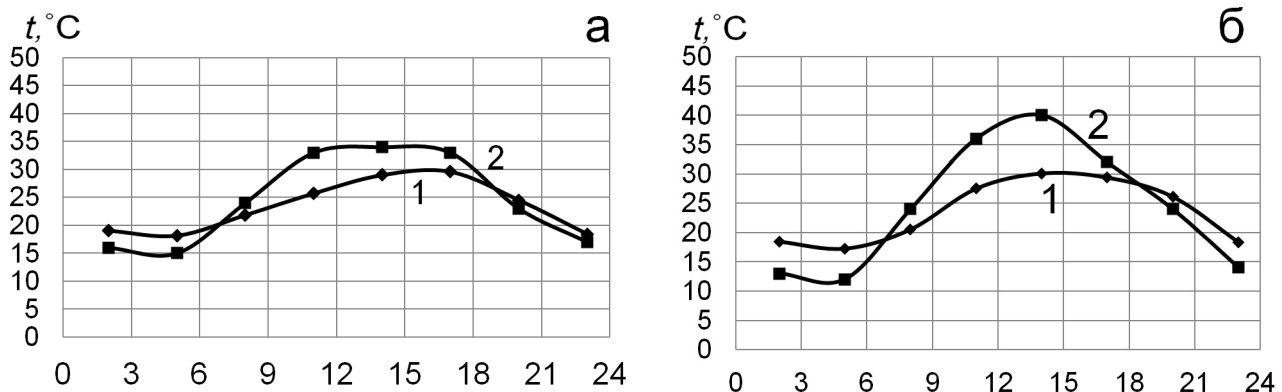


Рис. 5. Перебіг температури повітря (1) і ґрунту (2) на метеостанції “Київ” 06.06.14 (а) і 28.08.15 (б)

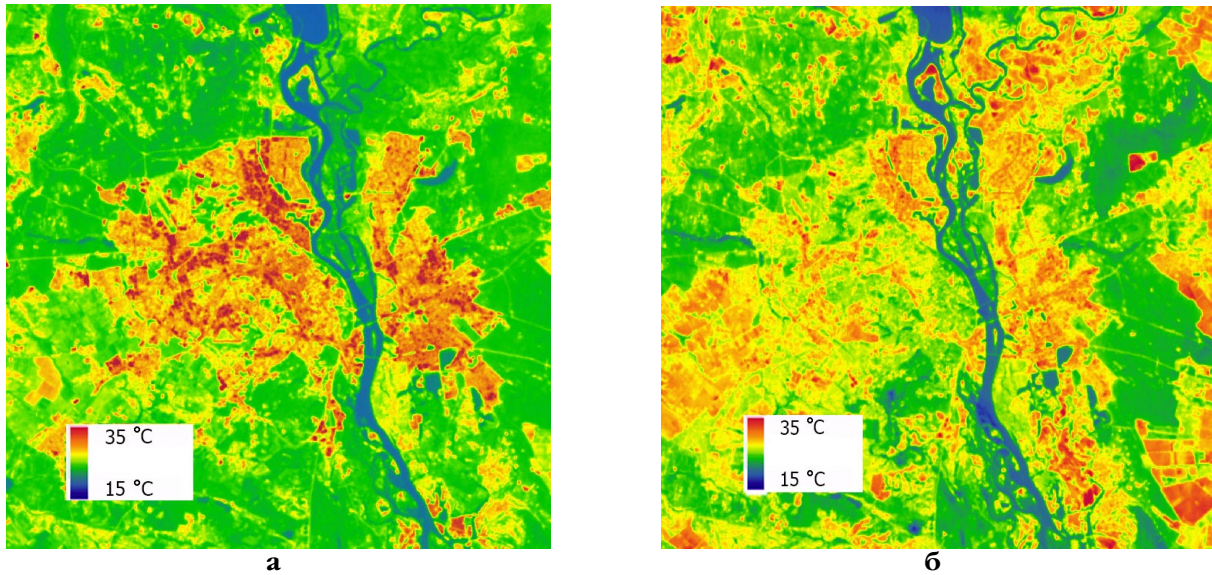


Рис. 6. Температура земної поверхні в Києві за даними супутника Landsat 8 (канал 10) 6.06.2014 (а) і 28.08.2015 (б)

На відміну від холодної пори року, термічні аномалії ТЕЦ улітку практично не простежуються, адже в цей час їх робота не супроводжується великим виділенням тепла.

Порівняння даних від 6.06.14 і 28.08.15 показує, що в другому випадку своєю високою температурою виділяються ділянки земної поверхні південніше Києва, що зумовлено їх оголенням у зв'язку зі збором урожаю.

Отримані зображення дають змогу виявити деякі особливості температури поверхні акваторії Дніпра та його заток. Насамперед зазначимо, що взимку за відсутності криги найвища температура води спостерігається в нижньому б'єфі Київської ГЕС. Загалом у цей час порівняно висока температура відповідає ділянкам з великою глибиною. Зокрема доволі високою температурою виділяється віддалена від Дніпра глибока частина затоки Верблюд, затока Доманія, південно-західна частина озера Алмазне, де глибини сягають 15 м і більше.

Коли настає літо, ситуація стає протилежною. Скид води переважно з придонних шарів Київського водосховища зумовлює те, що температура води в нижньому б'єфі ГЕС є нижчою, ніж у самому водосховищі. Це простежується і нижче за течією. Зазначені особливості існують на всій довжині Дніпра в межах міста. Оскільки в основному руслі перемішування води є кращим, ніж у другорядних рукавах і затоках, її температура тут нижча.

Уважний аналіз розподілу температури води по довжині основного русла Дніпра дає змогу помітити певну періодичність розташування зон з підвищеною і порівняно невисокою температурою. Основною причиною є скидання води Київською ГЕС переважно у "години пік". У цей час посилення перемішування супроводжується деяким зниженням температури води на поверхні. Коли скид припи-

нається, перемішування зменшується і відповідно температура поверхневого шару води зростає. При цьому залишається деякий вплив і Десни. Влітку температура води в цій річці трохи вища, ніж у Дніпрі.

Висновки

Між фактичною температурою земної (водної) поверхні і тією, що визначається супутником Landsat 8, існує розбіжність, що може сягати кількох градусів. Кращу відповідність з фактичними даними мають дані десятого каналу, гірші — одинадцятого, проте, навіть у першому разі температура води виявляється заниженою — насамперед, коли її значення невисокі.

Попри наявні похибки, супутникові дані та можливість їх обробки дають змогу визначати термічні особливості Києва, виявляти на території міста певні термічні аномалії.

Значні термічні особливості має акваторія Дніпра з його численними рукавами і затоками. Узимку поверхня водойм дещо тепліша, а влітку істотно прохолодніша, порівняно з прилеглою територією.

На температуру земної поверхні взимку істотно впливає сніговий покрив. У зв'язку з тим, що на автошляхах він швидко забруднюється і прибирається, температура земної поверхні тут вища. Як наслідок, при наявності снігу місто має значні відмінності від прилеглої території.

Узимку аномально високу температуру мають Бортницька станція аерації, а також Київські ТЕЦ.

Улітку найвища температура земної поверхні властива для Подолу і в цілому для місцевості зі значною площею дахів будинків, гаражів, промислових підприємств. При цьому це стосується навіть тих підприємств, що не працюють.

Література

1. Интеркалибрация методов восстановления термодинамической температуры поверхности урбанизированной территории по материалам тепловой космической схемки [Электронный ресурс] / С. А. Станкевич [и др.] // Украинський журнал дистанційного зондування Землі. — 2015. — № 7. — С. 12–21. Режим доступу до журн.: <http://ujrs.org.ua/ujrs> (29.06.16). — Назва з екрану.
2. Клімат Києва / за ред. В. І. Осадчого, О. О. Косовця, В. М. Бабіченко. — К.: Ніка-Центр, 2010. — 320 с.
3. Крылова А. Б. Мониторинг формирования и развития “теплового острова” города Киева [Электронный ресурс] / А. Б. Крылова // Украинський журнал дистанційного зондування Землі. — 2014. — №2. — С. 35–37. Режим доступу до журн.: <http://ujrs.org.ua/ujrs> (29.06.16). — Назва з екрану.
4. Barsi J. A. Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration [Электронний ресурс] / J. A. Barsi, J. R. Schott, S. J. Hook [et al.] // Remote Sens. 2014, 6, P. 11607–11626. Режим доступу до журн.: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20150000759.pdf>. — Назва з екрану.
5. Jimenez-Munoz Juan C. et al. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data / Juan C. Jimenez-Munoz [et al.] // Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE 11.10 (2014): 1840–1843.
6. Landsat 8 (L8) data user handbook [Электронний ресурс].— Режим доступу: <http://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>. — Назва з екрану.
7. Rozenstein O. . Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm / O. Rozenstein, Z. Qin, Y. Derimian & A. Karnieli // Sensors, 14 (4), (2014) 5768–5780.
8. Wukelic G. E. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper thermal band / G. E. Wukelic [et al.] // Remote Sensing of Environment. 28, (1989): 339–347.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКА LANDSAT 8 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КИЕВА

С. А. Шевчук, В. И. Вишневский

Представлены результаты использования данных ДЗЗ, выполненных спутником Landsat 8, для выяснения температурных особенностей и аномалий г. Киева. Установлены особенности температуры отдельных микрорайонов и акватории Днепра.

Ключевые слова: микроклимат, Киев, Landsat 8, термические аномалии, водная поверхность

USING OF LANDSAT 8 SATELLITE DATA FOR DETERMINATION OF MICROCLIMATIC PECULIARITIES OF KYIV

S. A. Shevchuk, V. I. Vyshnevskiy

The results of remote sensing data, performed by Landsat 8, were used for determination of peculiarities and temperature anomalies of Kyiv. The were determined the peculiarities of the temperature of some districts and water surface of the Dnipro river.

Keywords: climate, Kyiv, Landsat 8, thermal anomalies, water surface