

О.Г. Шевченко, к. геогр. н., **С.І. Сніжко**, д. геогр. н., **Є.В. Самчук**
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ТЕМПЕРАТУРНІ АНОМАЛІЇ ВЕЛИКОГО МІСТА

В статті висвітлено основні методологічні проблеми, що виникають при дослідженні температурних аномалій великого міста, проаналізовано основні чинники, які, впливають на формування острова тепла та визначають його інтенсивність, охарактеризовано позитивні та негативні наслідки прояву острова тепла.

Ключові слова: температурні аномалії великого міста, острів тепла, інтенсивність острова тепла, мікрокліматичні особливості міста, сонячна радіація на урбанізованих територіях.

Вступ. На сьогоднішній день близько 50 % населення Землі (3,2 млрд. осіб) проживає в містах. Господарська діяльність людини та наявність значної кількості автотранспорту призводить до утворення додаткового тепла у великому місті (в літературі зустрічається порівняння функціонування великого міста з функціонуванням великої печі, що викидає в атмосферу значну кількість тепла та забруднюючих речовин); заміна природних поверхонь, вкритих рослинністю, на асфальтові та бетонні є причиною зміни поглинання поверхнею сонячної радіації, здатності акумуляції тепла, інтенсивності випаровування і таким чином призводить до значних відмінностей мікроклімату міста від приміських територій [1]. Численні експериментальні дослідження та вимірювання свідчать, що приземна температура в містах, як правило, є вищою, ніж в сільській місцевості на 1–5°C і перебуває в прямій залежності від розмірів міста. На температурній карті місто виглядає як справжній острів. Це прояви характерного метеорологічного явища ХХ–ХХІ сторіч – так званого острова тепла. Відомо, що це явище може призводити до змін міської погоди та клімату, а в літній період посилювати дискомфорт значної кількості мешканців міст від гіпертермії.

Враховуючи те, що за прогнозами фахівців в найближчі роки процес урбанізації буде продовжуватися і до 2030 р. в містах проживатиме близько 61 % населення (а, відповідно, і розміри міст зростатимуть), питання, пов'язані з дослідженням мікроклімату великого міста, набувають особливої актуальності.

Матеріали та методи. Для виконання цього дослідження нами було вивчено та проаналізовано літературу, присвячену проблемам мікроклімату великого міста та температурним аномаліям в ньому.

Виклад основного матеріалу. Міський острів тепла (*Urban Heat Island (UHI)* – *англ.*) – температурна аномалія над центральною частиною міста, що характеризується підвищеною порівняно з периферією температурою повітря. Термін “острів тепла” був введений Люком Говардом у 1820 р. для позначення температурного феномену у Лондоні.

Досить складним завданням є кількісна оцінка острова тепла та встановлення чітких причинно-наслідкових зв'язків між містом та атмосферним граничним шаром над ним. Адже, при проведенні таких досліджень необхідно уникнути впливу процесів синоптичного масштабу і одночасно оцінити роль мезомасштабних процесів і антропогенних чинників в формуванні полів температури [2]. Найбільш об'єктивним методом доведення існування в місті острова тепла є порівняння двох рядів температури, один з яких включає дані, отримані на території майбутнього міста до його побудови, а інший складається з вимірних значень температури у вже побудованому місті [3]. Зрозуміло, що практично провести таке порівняння вдається

дуже рідко, тому з метою уникнення впливу процесів синоптичного масштабу аналізуються не просто значення температури, а різниці температур між великим містом, в якому досліджується острів тепла, та в сільській місцевості, що розташована неподалік [4]. Як зазначає Г.Е.Ландсберг [3], одна з основних проблем, що може виникнути за використання такого методу дослідження, пов'язана з географічним розташуванням міст, адже, зазвичай місце для розташування міста обирається не випадково – стародавні міста часто будували біля річок, в місцях, зручних для захисту від можливого нападу ворогів, поблизу місць залягання корисних копалин, прибережні міста будувалися поблизу природних гаваней тощо. Тобто, в більшості випадків рельєф цих місць досить складний і їх мікро- і мезокліматичні характеристики відрізнялися від прилеглих територій ще до виникнення міста. Тому при проведенні досліджень, що ґрунтуються на порівнянні даних двох метеорологічних станцій, варто ретельно аналізувати всі чинники, які можуть вплинути на достовірність отриманих результатів.

Кількісні характеристики острова тепла можна визначити також шляхом співставлення тренда температури повітря в місті, що зростає, та загального кліматичного тренду, що характеризує температурний режим загалом в даному регіоні. Якщо для обраного міста перший із зазначених трендів перевищує другий, то можна з певністю стверджувати про існування в цьому місті острова тепла. Наприклад, за даними [5] зростання температури в Токіо з 1920 р. по 2007 р. перевищує регіональний тренд.

Інколи для дослідження острова тепла використовуються супутникові дані про варіації випромінювання підстильної поверхні [6].

Для характеристики острова тепла найчастіше використовуються такі поняття: загальна просторова форма острова тепла (ізотерми окреслюють певну урбанізовану територію, де температури вищі, ніж в передмісті), інтенсивність острова тепла в градусах (фактично – це різниця температур між містом та прилеглими територіями), характеристика поверхонь міста (адже, вони значною мірою визначають нагрівання повітря в містах).

Однією з основних причин формування острова тепла є те, що матеріали, якими складена поверхня міста, мають значення альbedo нижчі, ніж природні (трав'яний газон або оголений ґрунт) [1]. Міські поверхні поглинають більше короткохвильової сонячної радіації, тому нагріваються швидше і повітря над ними відповідно прогрівається також швидше. Заасфальтовані поверхні й стіни будинків у світлий час доби запасують певну кількість тепла, а вночі віддають його навколишньому повітрю. Природні процеси ще більше спотворюються в умовах міста завдяки малому випаровуванню, адже в сільській місцевості вранці сонячна енергія витрачається на випаровування роси, процес гутації у рослин тощо, у місті ж вона безпосередньо поглинається будинками та асфальтом. Евапотранспірація в місті теж різко зменшена, тому що рослинний покрив незначний, а через те, що опади не затримуються на поверхні, стає неможливим створення запасів вологи в ґрунті й, відповідно, випаровування з нього [3]. Крім того, на території міста внаслідок забруднення повітряного басейну знижене ефективне випромінювання та нічне вихолодження [7].

Острів тепла кожного конкретного міста має особливу структуру, тому що залежить від структури самого міста. Адже парки і зелені зони знижують температуру, бізнес-райони, промислові території, спальні райони зі щільною забудовою призводять до її зростання. Кожен будинок, будівля чи дорога змінює мікроклімат навколо себе, таким чином здійснюючи свій внесок у формування загальноміського острова тепла. На рис. 1 графічно зображено температурні аномалії в післяполуденні години над різними типами поверхонь. Крім того, слід зазначити досить швидко їх еволюцію в просторі – в

міру урбанізації передмістя та заміські території поступово вливаються в межі острова тепла.

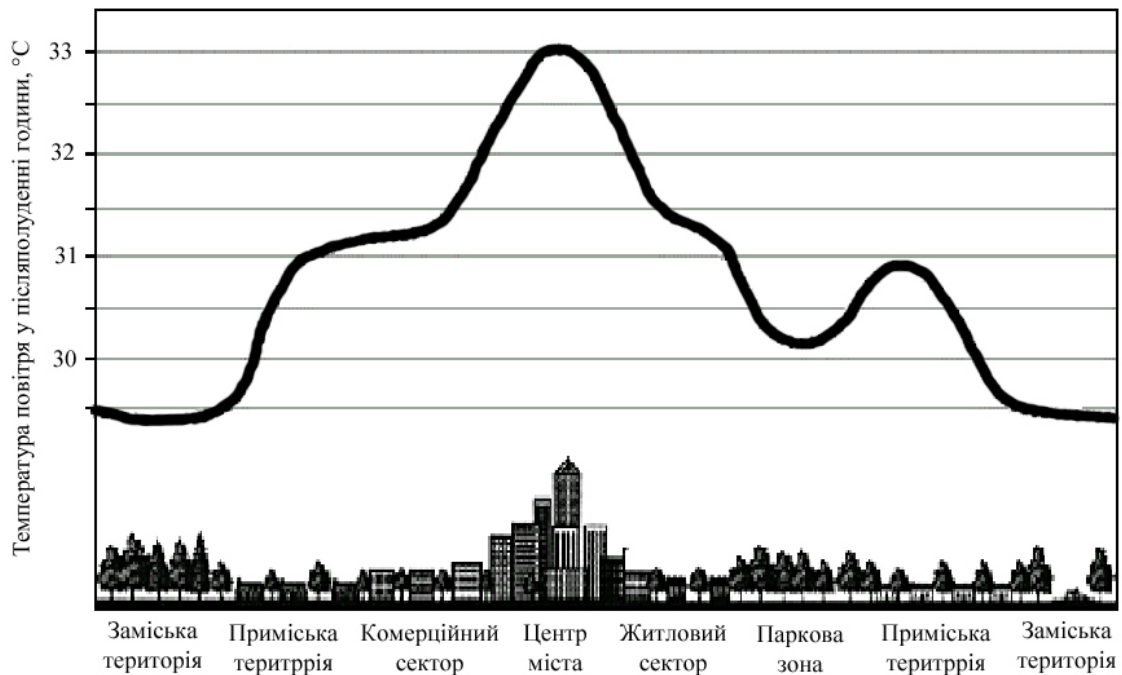


Рис. 1- Температурні аномалії в післяобідні години. [16]

Як свідчать результати досліджень різних авторів, вертикальна протяжність острова тепла в різних містах може відрізнятися: за даними [8, 9, 10, 11, 12] тепловий вплив міста чітко проявляється в межах нижнього 100–500 метрового шару атмосфери, в окремих роботах [13, 14] тепловий вплив міста оцінюється до висот 500–1500м.

В залежності від того, на якій висоті спостерігається острів тепла, виділяють кілька його видів [15]:

- Острів тепла, що спостерігається в приповерхневому шарі (*Surface Heat Island (SHI)* – англ.);
- Острів тепла, що спостерігається в граничному шарі атмосфери над містом (*Boundary Layer Heat Island (BLHI)* – англ.);
- Острів тепла, що спостерігається в піддаховому шарі атмосфери (*Canopy Layer Heat Island (CLHI)* – англ.);

Острів тепла не є стаціонарним – він може зазнавати як періодичних, так і неперіодичних флуктуацій. На існування та інтенсивність острова тепла впливає цілий ряд чинників. Серед них перш за все варто виділити такі [15].

1. *Погода.* З характеристик погоди на формування острова тепла найсуттєвіше впливають вітер та хмарність. Розміри острова тепла є найбільшими за тихої ясної погоди. Посилення вітру призводить до перемішування повітря та зменшення острова тепла. Варто зазначити, що у зв'язку з особливостями рельєфу кожне місто реагує на вітрові умови по-своєму. Існує певна гранична швидкість вітру, вище якої існування острова тепла є неможливим. Її значення залежить, перед усім, від розмірів міста. Результати експериментів Оке і Ханнелла [17] свідчать, що в невеликих містах навіть швидкість вітру 4 м/с може виявитися достатньою для знищення острова тепла.

В денні години за наявності хмар надходить менше прямої сонячної радіації і відбувається менш інтенсивне нагрівання асфальту, бетону тощо; вночі – зростання кількості хмар знижує радіаційне охолодження і також зменшує прояви острова тепла.

2. *Географічне положення* впливає на острів тепла опосередковано – через клімат даного регіону (переважаючі напрямки та характерна швидкість вітру, режим хмарності тощо).

3. *Час доби та сезон.* Навіть якщо умови сприяють розвитку острова тепла, в більшості випадків вдень різниці температур в місті та приміських територіях дуже малі, максимальні температурні контрасти зазвичай проявляються через 2–3 години після заходу сонця. У невеликих містах вони зникають незабаром після півночі. У великих містах острів тепла зберігається аж до сходу сонця, що збільшує мінімальну температуру в ранкові години. До середини дня різниця температур між містом і сільською місцевістю стає мінімальною (рис 2).

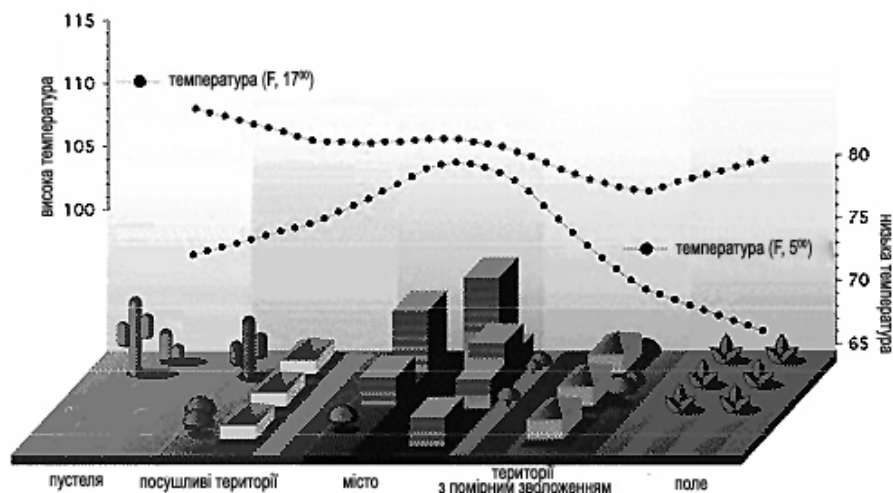


Рис. 2 - Температурний режим міських та інших територій о 5-й годині ранку та 5-й годині пополудні. [19]

Варто також відзначити, що добовий хід острова тепла досить суттєво відрізняється влітку та взимку. Зокрема, це показано в роботі Хейга [18], де порівнюється розвиток островів тепла в зимову та літню ночі в Едмонтоні. Хейг використав результати вимірювань, отримані на станціях в двох аеропортах, один з яких знаходився в межах міської території, а другий – в приміській зоні. Порівнявши дані, він дійшов висновку, що максимум розвитку острова тепла взимку припадає приблизно на 21 годину. Різниця значень температури починаючи з 21 години, поступово зменшувалася аж до 13 години наступного дня, залишаючись весь час позитивною. В теплий період року вдень аж до 17 години значення температури в місті та сільській місцевості були фактично однаковими, а потім внаслідок охолодження повітря в сільській місцевості різниця температур почала зростати. Максимального значення ця величина досягала лише близько півночі.

Протягом року до земної поверхні в помірних широтах надходить неоднакова кількість сонячної радіації, крім того, викиди антропогенного тепла також відрізняються протягом року – за рахунок цього і формуються відмінності в кількісних характеристиках острова тепла впродовж року.

4. *Функції міста та переважна людська діяльність в місті.* Значна кількість тепла, що утворюється в місті, пов'язана з діяльністю людини, в процесі якої відбувається спалювання викопного палива. Відповідно, якщо місто спеціалізується на чорній металургії, чи виробництві енергії, то відбувається утворення значної кількості антропогенного тепла. Антропогенний підігрів міст посилюється в зимовий період.

5. *Форма та розміри міста.* Відомо багато спроб пов'язати інтенсивність острова тепла з розмірами міста. Ще в 1953 р. Мітчелл [20] помітив, що значну частку дисперсії збільшення температури у містах можна пояснити, якщо представити її у вигляді функції зростання населення. В якості найбільш репрезентативного чинника, що враховує вплив розмірів міста на зміну температури, Мітчелл запропонував використовувати значення кореня квадратного від чисельності населення міста. Звісно, чисельність населення не є фізичною величиною, проте, її можна легко оцінити на відміну від інших параметрів, таких, як площа, ступінь зміни умов на поверхні чи кількість тепла, що виробляється. Крім того, чим більшою є кількість населення, тим більшими є лінійні розміри міста та інтенсивність господарської діяльності.

6. *Рельєф міста.* Інтенсивність міських островів тепла перебуває в значній залежності від особливостей рельєфу місцевості, проте більшість дослідників намагається уникнути складностей, пов'язаних з наявністю улоговин та височин, шляхом введення поправок до заданого градієнта температури.

7. *Наявність великих водних об'єктів.* Вода як рідина має унікальні фізичні властивості. По-перше, альbedo води становить всього 3–5 %, в той час як альbedo асфальту та бетону – двох найпоширеніших у містах будівельних матеріалів – 12 та 55 % відповідно. Отже, вода поглинає більше сонячної радіації. По-друге, вода має найбільшу питому теплоємність серед усіх існуючих у природі рідин – 4,183 кДж/кг·к, в той час як відповідні значення для асфальту та бетону становлять всього 0,92 та 1,0 відповідно. Тому вода прогривається дуже повільно і в один і той же час її температура буде меншою, ніж температура поверхні міста. З іншого боку, у воді теплова енергія утримується набагато довше, її охолодження відбувається повільніше. Як результат вода є найхолоднішою поверхнею на міській території вдень та найтеплішою – вночі, особливо в передсвітанкові години.

У випадку, коли місто розташоване на березі великої водойми (озера чи моря), циркуляція повітря на зразок бризової, яка виникає між водоймою та берегом, вдень сприяє винесенню на суходіл морського повітря, що спричинює деяке зниження температури.

Специфічний вплив на структуру острова тепла здійснюють ріки: за достатньо великих лінійних розмірів річки в межах міста, денний острів тепла, що над ним сформувався, може розпадатись на кілька частин, залежно від конфігурації водного потоку. Така деформація острова тепла спостерігається над м. Вашингтон (США), через яке протікає р. Потомак, та в містах Бонн і Бейель у Німеччині, що знаходяться на протилежних берегах річки Рейн [3].

Додатковий вплив на структуру острова тепла здійснюють широкі зелені пояси, що обрамляють береги річок.

До наслідків виникнення у містах температурних аномалій в першу чергу варто віднести формування своєрідної міської циркуляції, що може виникати за слабких вітрів (1–3 м/с) і проявлятися в рухові повітря від холодних окраїн до відносно теплої центральної частини міста. Біля поверхні землі потоки спрямовані до центру, де розташований острів тепла, а зверху спостерігається відтік повітря до околиць міста. Швидкість повітряного потоку до центру міста становить 1–2 м/с. Звісно, така місцева циркуляція може бути помітною лише в ті дні, коли загальне перенесення несуттєве. [21, 22, 23]. Деякі автори називають цей ефект сільським бризом (за аналогією з морським бризом) (рис. 3) [24].

Досить часто за такої циркуляції у центр міста підтягуються забруднені повітряні потоки з околиць, що призводить до формування своєрідного забрудненого купола над ним.

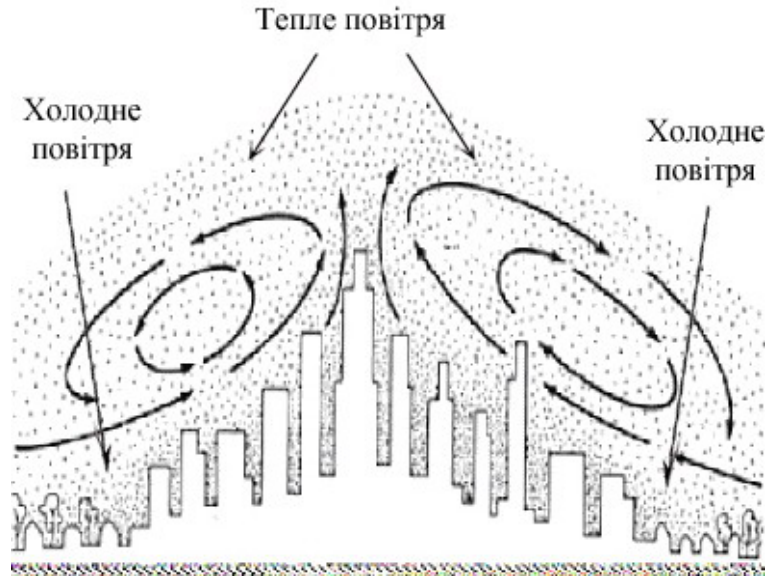


Рис.3 - Місцева циркуляція, що створюється у великому місті під впливом острова тепла. [16].

Крім утворення сільського бризу, острів тепла впливає на споживання енергії населенням та на людський комфорт: позитивно – взимку, негативно – влітку; призводить до збільшення тривалості безморозкового та вегетаційного періодів, скорочення тривалості залягання снігового покриву і частоти випадання твердих опадів, що є позитивним чинником для вегетації рослин. До негативних наслідків виникнення острова тепла варто віднести те, що підвищені температури в містах влітку призводять до збільшення споживання води населенням та сприяють формуванню фотохімічного смогу.

Висновки. Таким чином, в статті висвітлено основні методологічні проблеми, що виникають при дослідженні температурних аномалій великого міста, проаналізовано основні чинники, які впливають на формування острова тепла, визначають його інтенсивність, просторову структуру. Показано позитивні та негативні наслідки прояву острова тепла, які слід враховувати як в прикладних сферах людської діяльності, наприклад, в містобудуванні, так і в наукових дослідженнях навколишнього природного середовища, таких як дослідження зміни клімату, функціонування та безпека екосистем.

Список літератури

1. Ritter, M. E. *Urban Climate* // The Physical Environment [Електронний ресурс]: An Introduction to Physical Geography Ritter. – Режим доступу: http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/climate_systems/urban_climate.html.
2. Матвее, Л. Т., Матвеев Ю.Л. Формирование и особенности острова тепла в большом городе // Доклады Российской Академии Наук. – 2000. – Т. 370, № 2. – С. 249–259.
3. Ландсберг Г. Е. Климат города Пер. с англ. [А. Я. Фредмана] ; под. ред. А. С. Дубова. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. – 248 с.
4. Кондратьев К. Я., Матвеев Л.Т. Основные факторы формирования острова тепла в большом городе // Доклады Академии Наук. Серия : Геофизика. – 1999. – Т. 367, № 2. – С.253–256.
5. *Urban Heat Island* // Wikipedia [Електронний ресурс] : The Free Encyclopedia. – Режим доступу: http://en.wikipedia.org/wiki/Urban_heat_island.
6. Кадыгров Е. Н., Кузнецова И.Н., Голицин Т.С. Остров тепла в пограничном слое атмосферы над большим городом новые результаты на основе дистанционных данных// Доклады Российской Академии Наук. – 2002. – Т. 385, № 4. – С. 541–548.

7. *Нахаев М. И.* Особенности термической структуры нижних слоев атмосферы в Московском мегаполисе по данным микроволновых измерений : Дис. канд. географ. наук : 25.00.30. - М., 2009. - 135 с.
8. *Берлянд М. Е., Кондратьев К.Я.* Города и климат планеты. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1992. - 40 с.
9. *Борисенко М. М.* Вертикальные профили ветра и температуры в нижних слоях атмосферы // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. - Ленинград, - 1974. - Вып. 320. - С. 3846.
10. *Васильченко И. В., Вдовин Б.И.* Некоторые особенности стратификации и температурного режима пограничного слоя атмосферы над городом // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. - Ленинград, 1974. - Вып. 332. - С.13-16.
11. *Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы:* в 4 т. Т. 1. Солнечная радиация, солнечное сияние. Метеорологические элементы и явления. Характеристики пограничного слоя атмосферы / Под. ред. А. А. Исаева. - М. : Изд-во МГУ. - 2003. - 308 с.
12. *Bornstein R. D.* Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City // *Journal of Applied Meteorology.* - 1968. - Vol. 7, № 4. - P. 575-582.
13. *Оке Т. Р.* Климаты пограничного слоя - Ленинград : Гидрометеиздат. - 1982. - 360 с.
14. *Погосян Х. Г., Бачурина А.А.* Метеорологический режим города и градостроительство. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. - 67 с.
15. *Voogt J. A.* Urban Heat Islands: Hotter Cities [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>.
16. *Background on Urban Growth and Urban Heat Islands* [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://rsd.gsfc.nasa.gov/912/urban/background.htm>.
17. *Oke T. R., Hannell F. G.* The form of the urban heat island in Hamilton, Canada // *Urban climates / WMO.* - 1970. - № 108. - P.113-126.
18. *Hage K. D.* Nocturnal temperatures in Edmonton, Alberta // *Journal of Applied Meteorology.* - 1972. - № 11. - P. 123-129.
19. *Built and natural Environment* [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://censam.mit.edu/research/res1/index.html>.
20. *Mitchell J. M. Jr.* On the causes of instrumentally observed secular temperature trends // *Journal of Meteorology.* - 1953. - № 10. - P. 224-261.
21. *Горлин С. М., Зражевский И. М.* Изучение обтекания моделей рельефа в аэродинамической трубе // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. - Ленинград, 1968. - Вып. 234. - С. 49-59.
22. *Справочник эколого-климатических характеристик Москвы:* Т. 2. Прикладные характеристики климата. Мониторинг загрязнения атмосферы. Опасные явления. Ожидаемые тенденции в XXI веке / Под. ред. А. А. Исаева. - М.: Изд-во МГУ, - 2006. - 410 с.
23. *Мяжков М. С.* Влияние мегаполиса Москва на величину испарения // *Метеорология и гидрология.* - 2005. - № 3 - С. 78-85.
24. *Кадыгров Е. Н., Крученицкий Г. М., Лыков А. Д.* Количественные оценки возмущений, вносимых мегаполисом в поле температуры атмосферного пограничного слоя // *Известия Российской Академии Наук. Физика атмосферы и океана.* - 2007. - Т. 43, № 1. - С. 28-41.

Температурные аномалии большого города. Шевченко О.Г., Снижко С.И., Самчук Е.В.

В статье освещены основные проблемы методологического характера, возникающие при исследовании температурных аномалий большого города, проанализированы главные факторы, которые влияют на формирование острова тепла, и определяют его интенсивность, дана характеристика позитивных и негативных последствий проявления острова тепла.

Ключевые слова: температурные аномалии большого города, остров тепла, интенсивность острова тепла, микроклиматические особенности города, солнечная радиация на урбанизированных территориях.

Temperature anomalies in the big city. O. Shevchenko, S. Snizhko, E. Samchuk

The articles devoted to the main methodology problems, which can appear during researching of temperature anomalies in the big city, it uses analyzed the basic factors influencing on forming of urban heat island and determining its intensity, positive and negative consequences of urban heat island influence are characterized.

Key words: big city temperature anomalies, urban heat island, urban heat island intensity, big city microclimate, solar radiation on the urbanized territory.