



DOI: 10.36023/ujrs.2020.26.181

УДК 528.88:(551.4.012:624.131.453)(477-25)

## Долинні комплекси як екосистемні активи теплових островів міських агломерацій (на прикладі правобережної частини міста Київ)

Н. В. Пазинич

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, вул. Олесь Гончара 55 Б, Київ 01054, Україна

Завдяки використанню даних дистанційного Землі проведено аналіз впливу долинної мережі правобережної частини Києва на формування літніх температур земної поверхні. Результати обробки космічних знімків Landsat з 1987 до 2018 представлено у вигляді ізотерм. Зіставлення температурних даних, гіпсометрії, геоморфологічних особливостей, типів земного покриття проведено по профілях, що перетинають долини на найбільш репрезентативних ділянках. Головними факторами впливу на формування поля температур в межах долин визначено рослинність, інсоляційну експозицію, а також, антропогенне навантаження. Виявлено ділянки найнижчих температур у долинах біля підніжжя схилів північної експозиції, вкритих деревною рослинністю. Температури у долинах, вкритих деревостаном, на 5–6°C і нижчі ніж температури на забудованих вододілах, і на 2–3°C нижчі ніж у паркових зонах на вододілах. Внаслідок особливостей внутрішньої атмосферної циркуляції, застійних явищ, в долинах зі значним антропогенним навантаженням формуються теплові і геохімічні аномалії. У долинах р. Либідь та струмка Киянка сформовані несприятливі екологічні умови. Внаслідок кліматичних змін та постійно зростаючого антропогенного тиску температури в межах теплового острова міста за досліджуваний період зросли на 2–3°C. Збереження долинної мережі у природному стані може забезпечити існування свосвідних оазисів в межах міста із сприятливими мікрокліматичними та рекреаційними умовами.

**Ключові слова:** теплові острови, дистанційне зондування Землі, температура поверхні землі, ізотерми, ландшафтно-геоморфологічні дослідження, метод профілювання, інсоляційна експозиція

© Н. В. Пазинич. 2020

### 1. Вступ

На дотехногенному етапі розвитку цивілізації рельєф мав значний вплив на локалізацію поселень. В межах лісостепу та степу України поселення розташовувались у долинах річок і балок, що забезпечувало, у порівнянні з вододілами, захист від холодних вітрів взимку, доступність до води, більш помірні температури у літні спекотні місяці. У межах сучасного міста Київ давні поселення були розташовані в долинах струмка Киянка, р. Либідь, гирлі Голосіївського струмка тощо.

Зараз над містами формуються так звані “теплові острови”, зумовлені розвитком непроникних поверхонь, тепломереж, транспорту.... Наші дослідження свідчать про те що зараз долинні комплекси урбанізованих територій з точки зору екології виглядають гірше в порівнянні з навколишніми ділянками. Сформовані в долинах мікрокліматичні умови визначають температурні та атмосферикулярні особливості, що сприяють осіданню продуктів забруднення на поверхню. Наприклад, в долині річки Либідь, внаслідок техногенного навантаження, утворилась теплова і геохімічна аномалія з перевищенням допустимих значень забруднення сполуками свинцю, міді, цинку, олова, ртуті (Пазинич та ін., 2015).

Температура земної поверхні є основою міських кліматологічних досліджень. На температурні показники впливає багато факторів.

В межах міських агломерацій можуть спостерігатися значні перевищення висот. В результаті використання спектродіаметрії середньої роздільної здатності (MODIS) та цифровій моделі висоти від ASTER виявлено високу кореляцію ( $R_2: 0.73-0.87$ ) між висотою та середнім значенням поверхневих температур (Sumit Khandelwal et al., 2018).

Правобережжя міста Києва розчленовано щільною гідромережею, що впливає прямим або непрямым чином на формування локального теплового поля міста. Вплив рельєфу на значення теплового поля і екологічні умови розглянуто на прикладі долин струмків Сирець, Киянка та інших водотоків, що розчленовують правий берег Дніпра. Заглиблення в оточуючі поверхні, близькість ґрунтових вод, інсоляційні умови, рослинність, що зберігається в межах долин дають можливість розглядати долинні комплекси як екосистемні активи в межах міста для використання їх мікрокліматичних та рекреаційних властивостей.

Метою дослідження було виявлення впливу долинних комплексів на формування локальних особливостей теплового поля Київської агломерації на основі використання матеріалів дистанційного зондування Землі, та комплексного аналізу гіпсометрії, інсоляційної експозиції, геоморфологічних особливостей, стану антропогенних змін, особливостей земного покриття.

### 2. Методика досліджень

Для виявлення впливу рельєфу, як чинника формуючого теплове поле, було обрано декілька долин, що мають різні ступені забудови, рослинного покриття та інсоляційні осо-

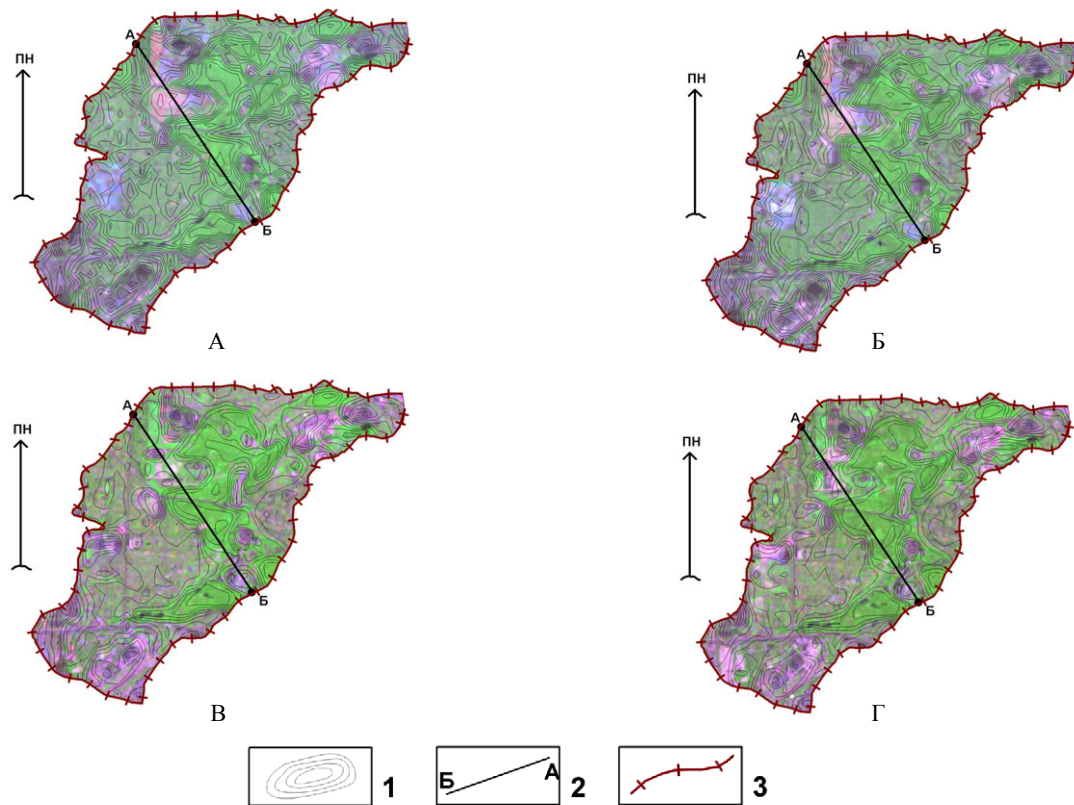
\* E-mail: [nvp\\_j@ukr.net](mailto:nvp_j@ukr.net)<https://orcid.org/0000-0002-0311-5917>

тел.: + 380 44 482 03 72

бливості і розташовані у північній центральній та південній частині міста. Особливості методики досліджень представлені на прикладі комплексного вивчення долини р. Сирець.

Для розрахунків значень поверхневих температур в межах Києва використані матеріали космічного знімання супутників серії Landsat. Методика використання спектроскопічних знімків та результати досліджень теплового поля міського середовища викладені у низці публікацій (Горный и др., 2017; Крилова, 2014; Пестова та ін., 2019; Філіпович та ін., 2014). Основою технології є розрахунки температури поверхні за даними теплового діапазону (10.4–12.5 мкм) космічної системи Landsat з оцінкою коефіцієнту теплового випромінювання. Для розрахунків ми використовували попіксельний аналіз температури земної поверхні (°C) через спектральну щільність енергетичної яскравості наземної температури для всіх серій даних Landsat, модифікованої і застосованої для теплових каналів за оберненою формулою Планка з врахуванням нормалізованого вегетаційного індексу NDVI. Для вивчення особливостей розподілу поверхневих температур території м. Києва у літній період, було розраховано значення температур для кожного пікселя багатозональних космічних знімків серій Landsat у період з 1987 по 2018 рік.

Розрахунок температурного поля проведено програмним забезпеченням ENVI. Теплове поле показано у вигляді ізоліній (ізотерм) з кроком 1°C (Рис. 1).



**Рис. 1.** КЗ Landsat долини р. Сирець, композит 7, 4, 2 каналів, RGB. А — 1987 р., Б — 1992 р., В — 2014 р., Г — 2018 р. 1 — ізотерми; 2 — профіль по лінії А–Б через долину; 3 — межі долини

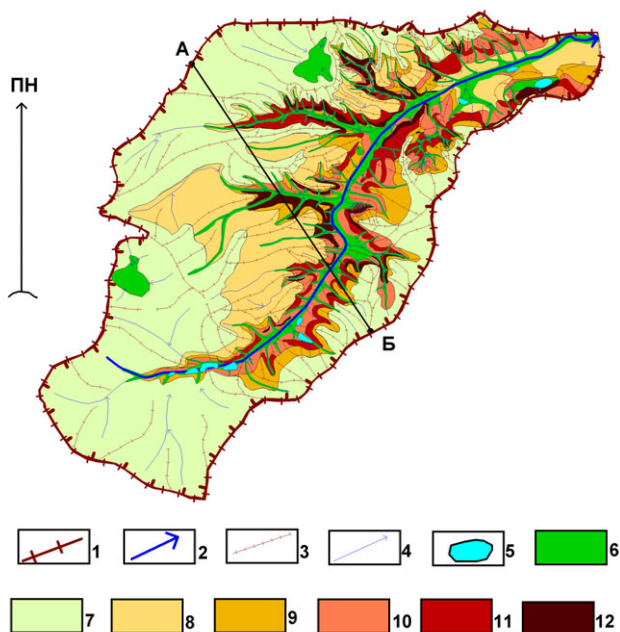
Геоморфологічні дослідження полягали у складанні ландшафтно-геоморфологічної схеми на основі топографічних даних. Окреслено басейни долин, проведено районування за типами водної міграції, виділено елювіальні, транселювіальні

та гідроморфні ландшафти. Проведено градацію транселювіальних ландшафтів (схилів) за кутами нахилу (Рис. 2). Геоморфологічні побудови дають можливість виділити схили північної експозиції, визначити їх крутизну, що відповідає за прогрівання поверхні, окреслити гідроморфні найбільш зволожені ділянки, що мають підвищену теплоємність і відповідно менше прогріваються влітку.

Детальне вивчення внутрішньої структури водозбірного басейну є необхідним для визначення спрямування потокової структури внутрішнього приповерхневого водообігу, який суттєво впливає на теплові характеристики інших компонентів ландшафту особливо ґрунтів та рослинності. Перший від поверхні горизонт підземних вод, загалом, повторює морфологію денної поверхні. Перезволоження понизь рельєфу, що виникає внаслідок переміщення вод у приповерхневому шарі ґрунту, впливає на формування від'ємних аномалій теплового поля. Ці аномалії теплового поля мають сезонний характер, влітку — понижені, а взимку — підвищені. Опосередковано, через зволоження і рівень ґрунтових вод, рельєф може впливати на стан рослинності.

Картошка каркасу рельєфу визначає інтенсивність і спрямування процесів денудації, транзиту і акумуляції потоків речовини, в тому числі і при поверхневого стоку, що відповідає за зволоженість ґрунтів. Каркасні елементи рельєфу — вододіли і тальвеги (гребеневі і кільвові лінії) розмежовують площинні елементи, що мають різну циркуляційну, інсоля-

ційну і гравітаційну експозиції. Кільвові лінії зображуються у вигляді векторів, що надає їм фізичного змісту спрямованих потоків речовини по земній поверхні. Схема каркасу рельєфу була накладена на ландшафтно-геоморфологічну схему (див. Рис. 2).



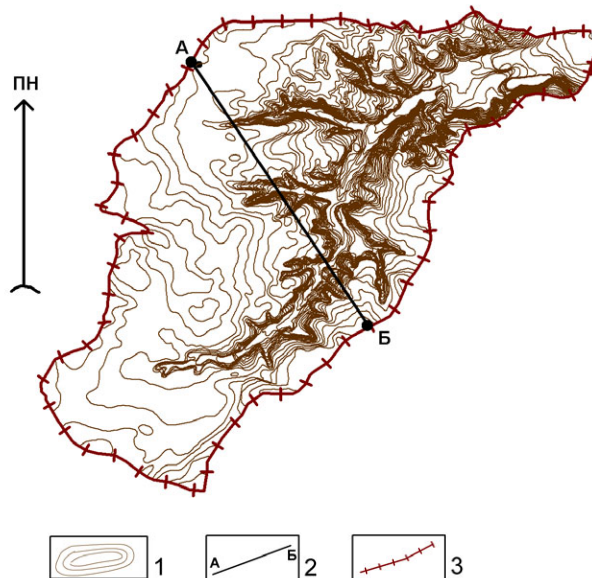
**Рис. 2.** Ландшафтно-геоморфологічна картосхема долини р. Сирець з елементами каркасної структури рельєфу.  
1 — межі долини; 2 — русло. Внутрішній каркас рельєфу долини: 3 — вододіли (гребеневі лінії), 4 — водотоки (кільові лінії). Гідроморфні ландшафти: 5 — озера, 6 — днища долини і її притоків. Елювіальні ландшафти: 7 — вододільні території. Транселевіальні ландшафти: 8 — схили 1–2°; 9 — схили 2–5°; 10 — схили 5–10°; 11 — схили 10–20°; 12 — схили 20–30°

Для визначення абсолютних відміток поверхні використано гіпсометричні дані отримані з топографічної карти або за даними цифрових моделей рельєфу (Рис. 3).

Топографічний ефект, під яким розуміється різниця у випромінювання висхідного теплового сигналу в бік сенсору горизонтальними та нахиленими поверхнями або орієнтація ділянок поверхні відносно джерела випромінювання та прийняття сигналу, у деяких випадках, має значний вплив на формування теплового поля.

Для комплексного аналізу геоморфологічних даних, гіпсометрії показників теплового поля було обрано метод профілювання, який, зазвичай, використовують при ландшафтній, геологічній і геоморфологічній зйомках. Профілі закладають на ключових ділянках, починаючи в межах вододілу, перетинаючи долину і закінчують на протилежному вододілі. Комплексний профіль дає можливість найбільш наочно та об'єктивно відобразити структуру і зв'язки між рельєфом, типом земного покриття (ландшафтом) та поверхневими температурами. Поперечні профілі проведені через репрезентативні ділянки долин, де найбільш повно представлені геоморфологічні та ландшафтні особливості. Моніторинг температурних змін в межах профілів проведено за період 25–30 років.

На профілях винесено гіпсометричну основу, типи земного покриття, показані картографічними символами MapInfo та температурні показники земної поверхні у °C. Зіставлення цих даних дає можливість визначити особливості формування теплового поля у долинних комплексах правобережжя Києва. Найбільш характерні ділянки, які являються ключовими для виявлення температурних особливостей, виділяються на профілях вертикальними лініями, що поділяють профілі на характерні відрізки.



**Рис. 3.** Гіпсометрична карта долини р. Сирець та положення профілю. 1 — горизонталі; 2 — профіль по лінії А–Б; 3 — межі долини

### 3. Результати досліджень

Локальний вплив рельєфу на структуру і значення теплового поля розглянуто на прикладі долин, що мають різні ступені забудови, рослинного покриття та інсоляційні особливості. Особливо цікавими виявились результати аналізу теплового поля долини струмка Мишоловка або Голосіївського, розташованого у південній частині міста, правої притоки Дніпра (Рис. 4).



**Рис. 4.** Межі Голосіївського струмка (Мишоловки) на КЗ Landsat, 06. 2014р., композит 7, 5, 3 каналів, RGB

Площа водозбору долини складає 7.89 км<sup>2</sup>, близько 6.5 км завдовжки, 1.6 км завширшки. Відносні перевищення вододільних ділянок над днищем балки сягають 75 м. Головною особливістю долини є значне покриття басейну масивом деревної широколистяної рослинності відомої як “Голосіївський ліс”. Міська забудова має обмежене розповсюдження. Селище Мишоловка, яке розташоване у пригірловій частині балки — селітебна забудова. Багатоповерхова забудова розташована на північних і східних привододільних частинах долини.

Зіставлення температурних показників на ділянках

рослинності на схилах південної та північної експозиції не дало очікуваних результатів. Теоретично, схили південної експозиції, на відміну від схилів північної експозиції, отримують більше сонячної енергії і повинні мати підвищені температури. В умовах залісної долини температурної різниці схилів на літніх знімках 1987, 1992, 2014 років не зафіксовано. Тобто, топографічний ефект не виявився визначальним при формуванні теплового поля схилів долини.

Аналіз трьох досліджуваних часових зрізів не виявив безпосереднього впливу і крутизни схилів. Причина цього, очевидно, полягає у щільному покриві деревної рослинності, головним чином широколистяних лісів. Структура поля температур на знімках 1987 і 1992 років в межах лісових масивів практично не змінюється і складає 21–22°C. У 2014 році середні значення температур в межах лісових масивів становлять 25–26°C, а поле складається з окремих дрібних ареалів підвищених значень температур. Встановлено, що у 1987 р. різниця між максимальними температурами на вододілах в межах висотної забудови і мінімальними у пониззях залісної балки становила 14°C, а в 2014 р. лише 10°C. Відносне зниження різниці температур між вододілами і дном балки може бути пояснено клімато-погодними умовами.

Для визначення можливості впливу на теплове поле площ антропогенної забудови балки було проведено аналіз змін, що

відбувалися на протязі досліджуваного періоду (1987–2014 рр.). Встановлено, що приріст площі високоповерхової забудови збільшився всього на 0.521%, проте зросла щільність забудови. Приріст площ селітебної забудови, що розташована головним чином у пригирловій частині балки, становить 3.07%. Ці дані свідчать, що антропогенний вплив міської забудови є досить незначним і не може впливати на мікрокліматичний локальний температурний режим долини (Рис. 5).

Для більш детального дослідження температурних змін проаналізовано різночасові температурні профілі проведені через балку від житлової забудови по вулиці Полковника Потехіна (точка А) до лікарні “Феофанія” (точка Б).

Зіставлення теплових профілів 1987 р. та 1992 р. показало, що максимальні температури спостерігаються в межах високоповерхової забудови і складають 33–34°C, а в 2014 р. році досягла 36°C. Окрім того, на температурних профілях 1987 та 1992 рр. показники температур в межах залісної частини балки залишалися незмінними. Тобто рослинність вирівнює температурний фон, нівелюючи вплив рельєфу. Інша картина спостерігається на профілі 2014 року, де на графіку температурного поля відмічається дві ділянки незначного підвищення температур, які позначені на рисунку цифрами 1 і 2 (Рис. 6).

Поява слабких сплесків температури на температурному профілі 2014 року може бути пояснена впливом підвищених

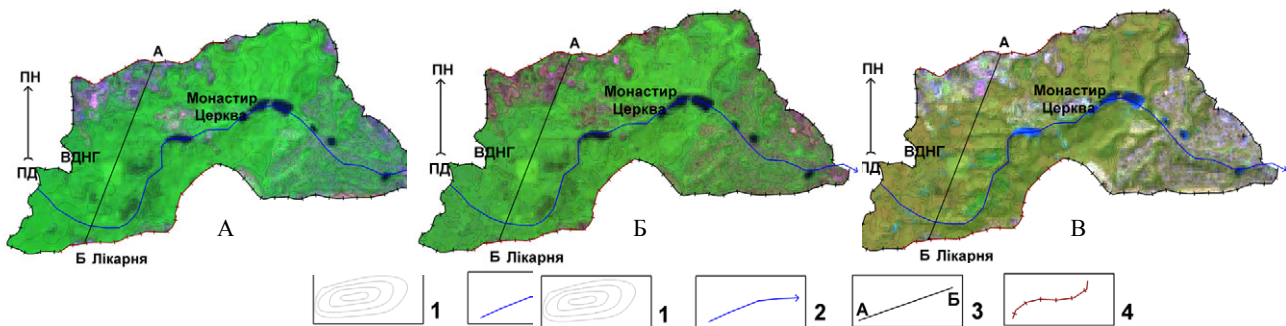


Рис. 5. Ізотерми на КЗ Landsat: А — 1987 р., композит 7, 4, 2 каналів; Б — 1992 р., композит 7, 4, 2 каналів; В — 2014 р., композит 7, 5, 3 каналів.

1 — ізотерми; 2 — русло струмка; 3 — профіль по лінії А-Б; 4 — межі долини Голосівського струмка

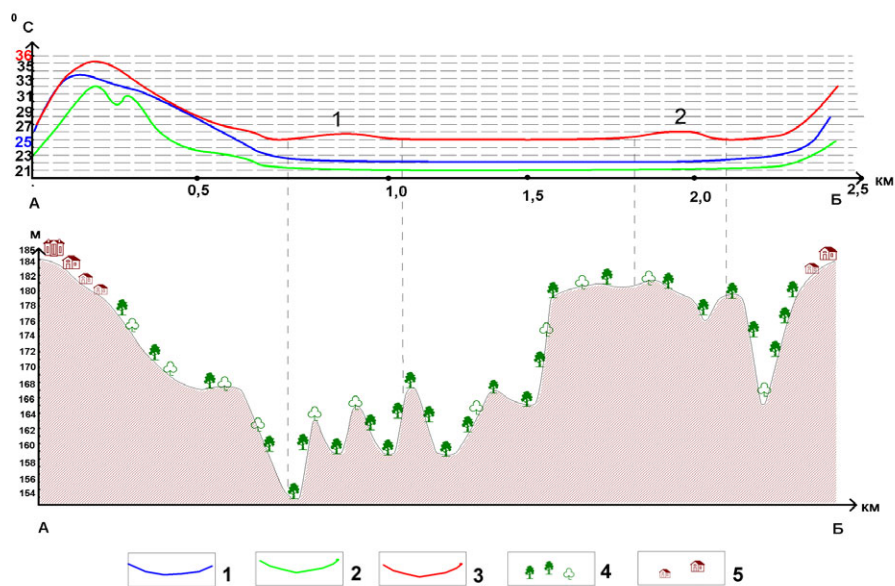


Рис. 6. Зіставлення теплових профілів з гіпсометричним профілем і ландшафтними особливостями.

Теплові профілі: 1 — профіль 1987 р.; 2 — профіль 1992 р.; 3 — профіль 2014 р.; 4 — гіпсометричний профіль; 5 — деревна рослинність; 6 — житлова забудова

ділянок або ж ділянок значного розчленування поверхні. На цих ділянках, при загальному зменшенні опадів, формуються умови для пониження рівня ґрунтових вод. Саме це впливає на деревну рослинність і призводить до пригнічення, зменшення листової маси і, як наслідок, прогрівання поверхні.

Річка Сирець розташована у північній частині Києва і належить до так званих малих річок. Площа долини становить 14.95 км<sup>2</sup>, а довжина русла — 7.5 км в межах підвищеного правобережжя Києва, загальна довжина русла — 13 км. Найбільша ліва притока — Курячий брід — протікає у колекторі і зливається з Сирцем на заплаві Дніпра. Вийшовши на заплаву Дніпра, р. Сирець впадає в одне з озер системи Опечень (Вишневецький, 2013) (Рис. 7).

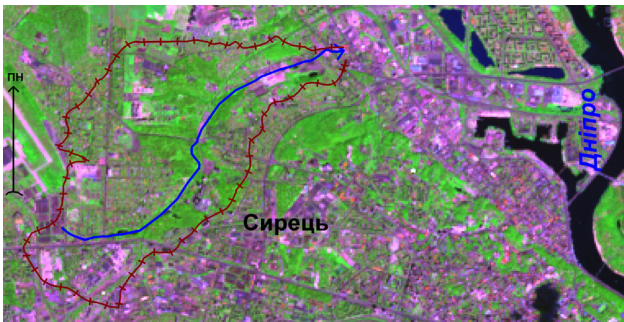


Рис. 7. Контур долини р. Сирець та її положення на K3 K3 Landsat, 06. 2018 р., композит 7, 4, 2 каналів, RGB

Долина простягається з південного заходу на північний схід. Басейн характеризується значними за площею пологіми привододільними ділянками. У південній частині долини на вододілі абсолютні позначки сягають 192 м. Русло починається на відмітках 182 м, а при виході на заплаву знижується до значень 106 м. Врізання у середній частині долини становить біля 40 м. Долина асиметрична — відносно широка лівобережна частина і звужена правобережна.

Значне антропогенне навантаження у ХХ столітті — забудова, прокладання нових вулиць, залізниці, розробка кар'єрів у схилах призвели до значних змін інфраструктури долини. В останні десятиріччя відбувається інтенсивна забудова вододілів багатопверховими житловими комплексами: “Парковий квартал”, “Місто квітів”, “Шевченківський квартал”, “Зелений острів” які наближаються до крутих схилів. Не дивлячись на інтенсивне антропогенне освоєння, в долині на схилах збереглися широколистяні деревні насадження: парки “Дубки”, “Сирецький”, “Нивки”.

Моніторинг теплового поля в межах долини р. Сирець проведено за період 30-ти років. Розрахунок значень теплового каналу проведено у чотирьох часових зрізах — червень 1987, 1992, 2014, 2018 рр. Комплексний профіль починається в межах житлового масиву “Нивки” (точка А), перетинає новобудову “Парковий квартал”, “Місто Квітів” в лівій частині балки проходить по лісопарковій зоні і перетинає район житлові комплекси “Зелений острів” та “Шевченківський квартал” на правобережжі (точка Б) (див. Рис. 1).

Сумісний аналіз графіків температур, ландшафтних умов та рельєфу показано на Рис. 8. Найнижчі температури відмічено на графіку 1992 року, мінімальні в межах прируслової частини балки складають 24°C, максимальні на лівобережжі досягають 35°C. У 1987 році температури відносно підвищені і змінюються в межах 27.5–38°C, перепад температур в межах балки складає 10°C. Лінії температурних профілів

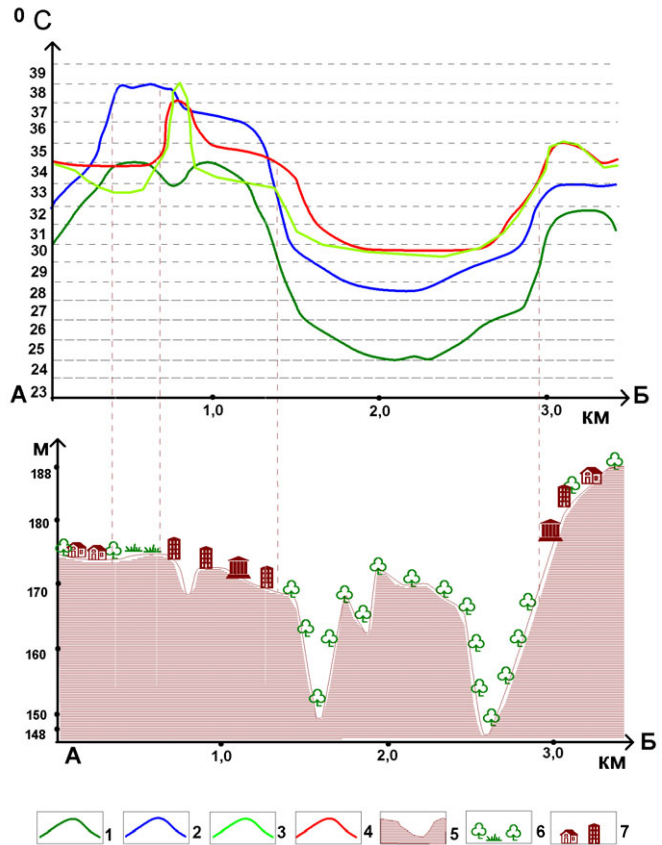


Рис. 8. Зіставлення теплових профілів з гіпсометричним профілем і ландшафтними особливостями долини р. Сирець. Теплові профілі: 1 — профіль 1987 р.; 2 — профіль 1992 р.; 3 — профіль 2014 р.; 5 — гіпсометричний профіль; 6 — деревна рослинність; 7 — житлова забудова

витримані без особливих сплесків. Профілі 2014 та 2018 років характеризуються підвищенням мінімальної і максимальної температур у порівнянні з попередніми роками. Мінімальні температури складають 29.5°C а максимальні 37–38°C. Контрастність температур в межах профілів 2014 і 2018 років складає 7.5 та 8.5°C. У залісненій частині балки спостерігаються вирівнювання температур, а на привододільних частинах температурні сплески зумовлені будівництвом житлових комплексів.

На ландшафтному профілі умовними позначками виділено високо- і низькоповерхову забудову, ділянки з деревною і трав'яною рослинністю. Трав'яна рослинність відповідає ділянкам городів на лівобережжі долини, деревна рослинність поширена на крутих схилах і у днищі долини Сирець. Розташування деревної рослинності і її збереження пов'язано з розчленуванням рельєфу, що унеможливило сільськогосподарську та будівельну діяльність. Моніторинг привододільних територій долини і району бровки схилів показав просування високоповерхової забудови до крутих поверхонь схилів, що, у майбутньому, сприятиме активізації зсувних процесів.

Сумісний аналіз даних профілювання показав, що мінімальні значення температур контролюються деревною рослинністю, поширення якої в свою чергу контролюється рельєфом. Саме розчленування рельєфу запобігає в межах долини р. Сирець агресивній житловій забудові. Також варто відмітити, що внутрішня структура балки, окремі притоки, вкриті лісом, не впливають на зміни теплового поля. Це свідчить про те що, як і у випадку долини Голосіївського струмка, щільна деревна рослинність нівелює вплив інсоля-

ційного ефекту. Крім того, в останні роки спостерігається звуження ділянки низьких температур, причому за рахунок “відсування” у бік прируслової частини лівобережних схилів південної експозиції. Дані зіставлення температурних і гіпсометричного профілю свідчать про загальне підвищення температур у літній період за досліджуваній період.

Також проведено дослідження в долині струмка (річки) Киянка, більш відомого як район житлового масиву Воздвиженка, що знаходиться у середмісті, днище якої інтенсивно забудовується. Струмок Киянка зараз протікає в колекторі і є правою приотокою р. Глибочиці, правої притоки Дніпра (Рис. 9).

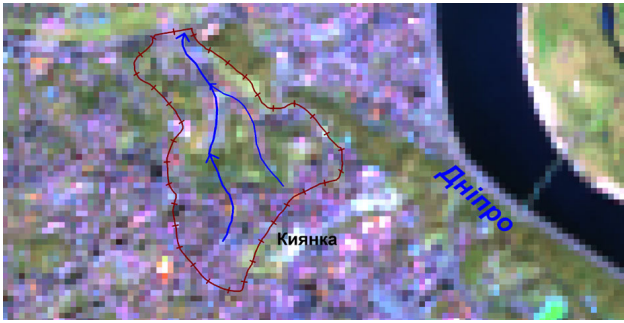


Рис. 9. Межі долини струмка Киянка на K3 Landsat, 06. 2014 р., композит 7, 5, 3 каналів, RGB

Довжина долини становить 1.45 км, ширина у верхів'ях — 0.9 км, а у пригирловій частині — 0.3 км. Врізання в поверхню плато від верхів'їв до гирла складає 80 м. У плані долини струмка складається з двох частин, які мають історичні назви “Гончарі” та “Кожум'яки”. Загальний напрям долини субмеридіональний — з півдня на північ. Праві схили струмка мають південно-західну інсоляційну експозицію, а ліві схили — північно-східну. З огляду на це, топографічний ефект більш виразний у значеннях теплового поля правих схилів долини.

У минулому територія долини характеризувалася значним розвитком ерозійних процесів, тимчасовим підтопленням, чисельними зсувами на схилах. Ліві схили були вкриті нещільним покривом деревної рослинності. Тепловий топографічний ефект був достатньо відчутним. Найбільш інтенсивно антропогенні зміни почали відбуватись в долині Киянки з початку XXI ст. (Рис. 10).

Після знесення одноповерхових будинків з садами та городями долина була щільно забудована 4-х поверховими будинками, причому деревний і трав'яний покриви на дніщі були практично знищені. Такі різкі зміни не могли не вплинути на стан температурного режиму та мікрокліматичні умови долини Киянки. Станом на 2011 рік в долині сформувалась позитивна теплова аномалія (Крилова, 2014). У період з 1987 року до 2014 року площа деревних насаджень у межах долини зменшилась на 25%, також зменшились і площі трав'яного покриву.

Для дослідження особливостей та змін теплового поля поверхні в долині струмка проведено обрахунок значень теплового каналу у трьох часових зрізах — червень 1987, 1992 і 2014 років. Проаналізовано різночасові температурні профілі, проведені через долину Киянки. Профілі проведені від Замкової гори, незабудованої, частково залісної (точка А) до Вознесенського узвозу (точка Б) (Рис. 11).

При обмеженому розвитку деревного та трав'яного покриву значний вплив на формування температур в межах балки починає відігравати інсоляційна експозиція схилів, а теплове поле дніща залежить від щільності і висотності житлової забудови. На стрімких схилах південно-західної експозиції у порівнянні з поверхнею вододілу, вкритою деревною і трав'янистою рослинністю (точка А), відмічається підвищення температур вниз до дніща від 26°C до 29°C у 1987 році, від 24°C до 26°C у 1992 році і від 28°C до 33°C у 2014 році. Натомість на протилежних схилах північно-східної експозиції (точка Б) вниз по схилу спостерігається зниження температур у 1987 р. від 31°C до 25°C, у 1992 році від 29°C до 22°C і у 2014 році від 34°C до 27°C.

Зіставлення гіпсометрії та ландшафту показує, що внутрішня структура балки визначає особливості характеру забудови. Забудовані більш вирівняні ділянки — дніща водотоків. Деревна рослинність розповсюджена на стрімких схилах, де будівництво є достатньо небезпечним, що може спровокувати активізацію зсувних процесів. На сонячних схилах південно-західної експозиції (точка А) переважає трав'яниста і чагарникова рослинність, на частині схилів спостерігаються відслонення суглинків, вододільна частина зайнята деревною рослинністю. Схили північно-західної експозиції зайняті породами широколистяних дерев з щільним розташуванням крон, що зумовило формування понижених температур в нижній частині схилу і поступове зростання показників температур до вододілу з міською забудовою (точка Б) (Рис. 12).

На прикладі долини Киянки визначено, що значний вплив на формування теплового поля мають топографічний

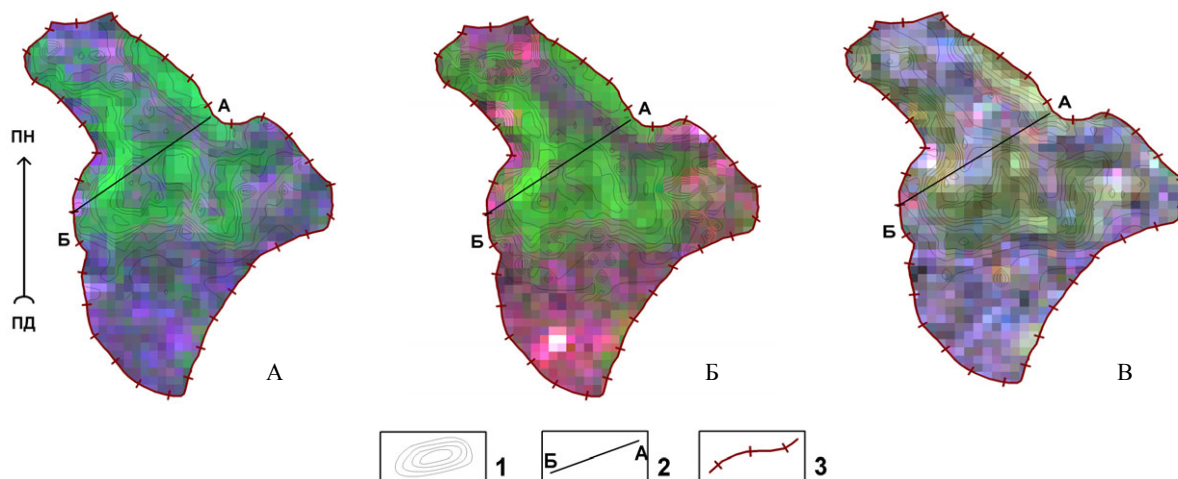


А

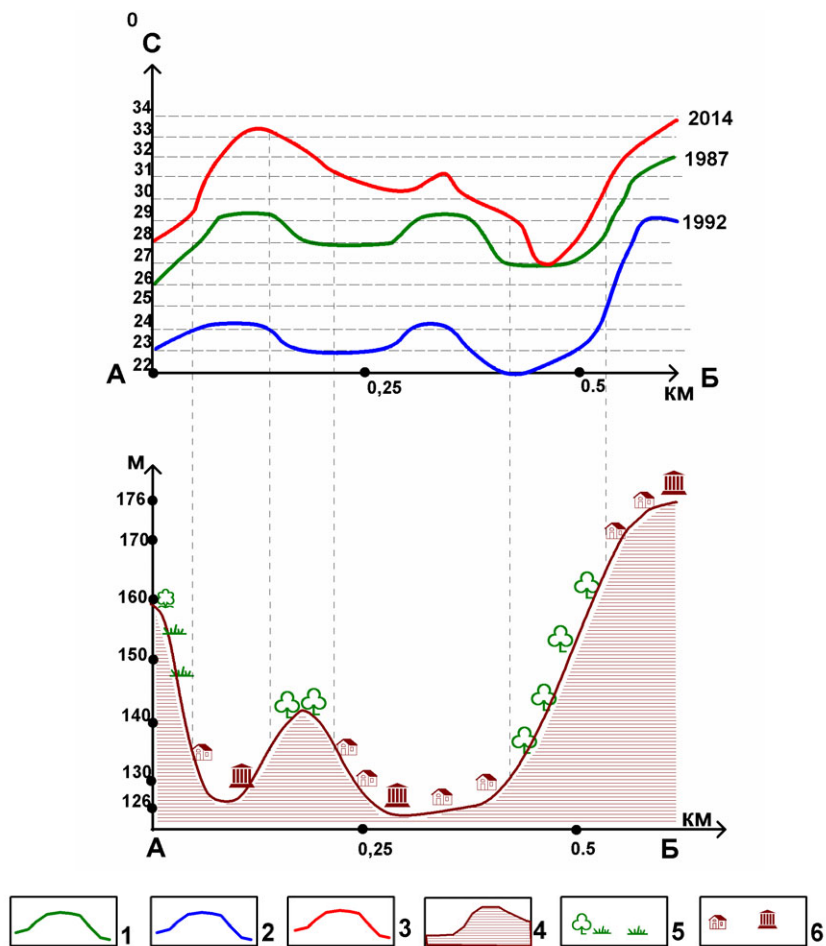


Б

Рис. 10. Долина струмка Киянка: А — K3 QuickBird від 06.2005 р.; Б — K3 Pleiades від 04.2016 р.



**Рис. 11.** Ізотерми за КЗ Landsat: А — 1987 р., композит 7, 4, 2 каналів; Б — 1992 р., композит 7, 4, 2 каналів; В — 2014 р., композит 7, 5, 3 каналів, RGB. 1 — ізотерми; 2 — профіль по лінії А–Б; 3 — межі долини струмка Киянка



**Рис. 12.** Зіставлення гіпсометричного, ландшафтного і теплових профілів в межах долини струмка Киянка по лінії А–Б. 1 — тепловий профіль 1987 р.; 2 — тепловий профіль 1992 р.; 3 — тепловий профіль 2014 р.; 4 — гіпсометричний профіль; 5 — чагарникова та трав’яна рослинність; 6 — житлова забудова

фактор, інсоляційна експозиція і тип земного покриття. Стрімкі схили в районі точки А профілю (Замкова гора) мають південно-західну експозицію і значно більше прогриваються, ніж протилежні схили. Температура в межах схилу зростає зверху до низу у напрямку забудованого днища балки на 1–3°C. На профілі забудовані днища дають позитивні

температурні сплески. В межах схилів північно-західної експозиції, в районі точки Б, спостерігається зворотна картина. Температура прогрівання збільшується знизу верх на 5–7°C. Найнижчі температури спостерігаються у підніжжі залісеного схилу північно-східної експозиції і поступово збільшуються до забудованої поверхні вододілу.

Результати зіставлення показали, що найвищі температури пов'язані з ділянками антропогенною забудови як у внутрішніх частинах балки, так і на вододілах. Ділянки з покриттям деревною рослинністю всі роки досліджень мали найнижчі значення температури.

Долини гідромережі вирізняються і специфічними особливостями внутрішньої повітряної циркуляції. Причиною цього є нахил поверхні, що дозволяє спускатися, “стікати” прохолодному, більш важкому, повітрю в пониззя в нічний час (Рис. 13 А) і навпаки висхідному руху прогрітого повітря в межах долини в денний час (Рис. 13 В). Також нерівномірне прогрівання схилів з різною інсоляційною експозицією формує внутрішню циркуляцію в межах долини, що може змінювати напрям на протязі дня (Рис.13 Б, Г).

Модель долини розташована за напрямом з південь — південний схід на північ — північний захід, що в цілому відповідає напрямку долини струмка Киянка. Вдень, при висхідному напрямку повітря, в долину надходять з пониззя загазоване повітря з вулиці Глибочиці, що викликає забруднення повітря в межах житлового масиву Воздвиженка. Мешканці масиву потерпають від підтоплення фундаментів, спеки і загазованого повітря. Тобто, всі сприятливі особливості долин до техногенного етапу розвитку при щільній забудові в межах агломерацій, трансформуються у негативні явища — підтоплення, застій загазованого повітря. В таких умовах мікроклімат долин значно поступається умовам на вододілах. Як

долини було б формування в її межах етнографічного парку. Урочища “Гончарі” і “Кожум’яки” — ремісничі осередки давнього Києва, мають історичне значення і, можливо, саме в останньому жив ремісник, що став прообразом билинного богатиря Микити Кожум’яки.

У долинах та яружно-балковій мережі, внаслідок заглиблення у поверхні оточуючих вододілів та щільного заростання крутих схилів, сталося прогрівання нижче, ніж на пласких оточуючих теренах, вкритих житловою або промисловою забудовою. За період з 1987 року до 2018 року було проведено зіставлення та аналіз літніх температур в межах понизь долин і на оточуючих вододілах. В північній частині Києва досліджено долини р. Сирець та Кирилівського струмка, в центральній частині — Киянки та Ботанічного струмка, у південній —Голосіївського та Оріхуватського струмків. Назви долин, глибина врізу, коефіцієнт рельєфу і середня різниця температур вододілів та долин представлені в Таблиці 1.

Зі значень температур на вододілах виключались будівельні майданчики, з високими значеннями температур. Найнижчі значення в долинах, навіть частково забудованих, зафіксовані в районі днищ та у нижніх частинах схилів північної експозиції. Різниця між температурами на вододілах та у нижніх частинах долин досягає 5–6°C. В межах Голосіївського та Оріхуватського струмків різниця збільшується до 6–7°C, що можна пояснити широким розвитком рослин-

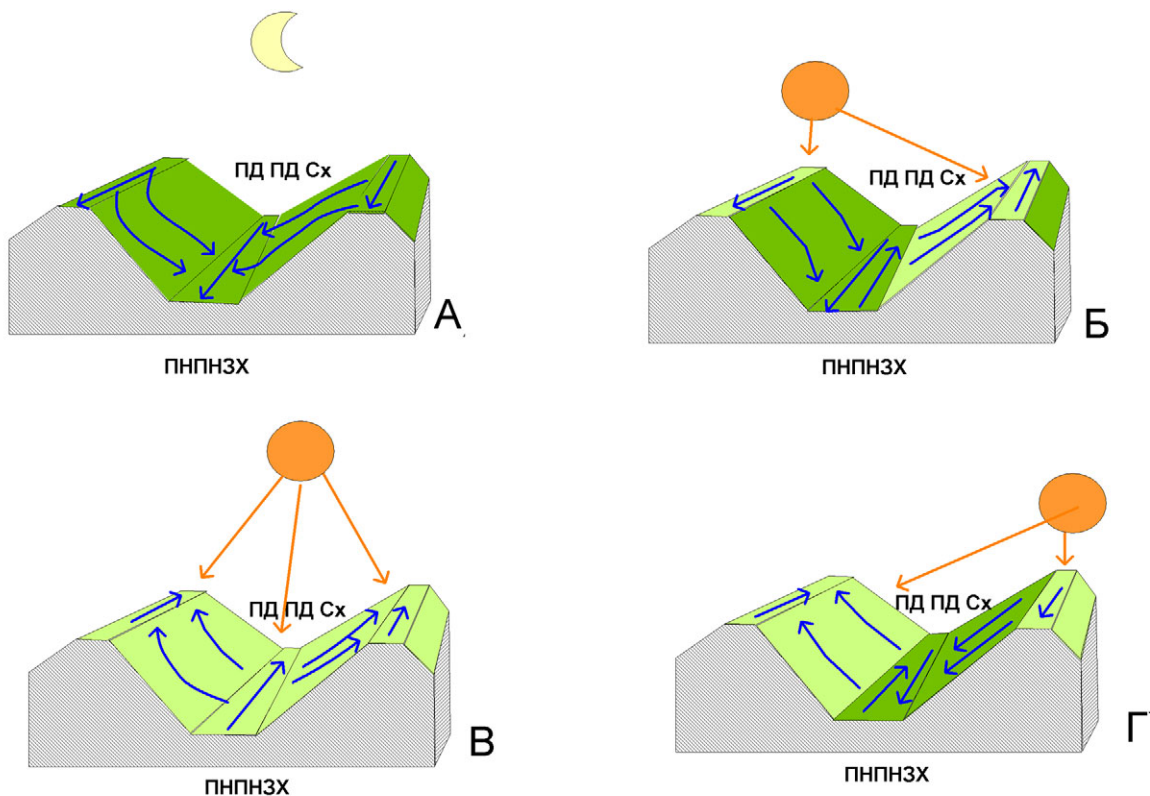


Рис.13. Модель денного циклу циркуляції повітряних мас у долинах

зазначалося раніше, в долині р. Либідь, що інтенсивно освоюється більше 100 років, окрім теплової аномалії, вже сформувалася геохімічна аномалія і, можливо, згодом така доля спіткає і долину струмка Киянки. На жаль, культурологічний і мікрокліматичний потенціал долини Киянка не було задіяно. Оптимальним рішенням щодо використання

ності та ставками. Долина Ботанічного струмка, у якому розташовано ботанічний сад ім. О. В. Фоміна, знаходиться у безпосередній близькості від парку ім. Т. Г. Шевченка. Температури в нижній частині долини Ботанічного струмка на 5–6°C нижчі, ніж на забудованих оточуючих теренах, а в парку, що знаходиться на вододілі тільки на 2–3°C нижче. Різниця



Таблиця 1.

Середня різниця температур вододілів та долин у північній та центральній частинах Києва

Назва долини струмка, парку	Долини		Середня різниця температур вододілів та днів долин С
	Коефіцієнт рельєфу %	Глибина врізу (м)	
річка Сирець	до 45	35–40	5–6
Кирилівський струмок	до 45	35–40	5–6
Совський струмок	до 30	35–40	5–6
струмок Киянка	до 45	35–40	5–6
Голосіївський та	до 30	40–44	6–7
Оріхуватський струмки			
Ботанічний струмок	до 27	17–20	5–6
Парк ім. Т. Г. Шевченка	–	–	2–3

температури у парку на вододілі і парку в долині становить 3°C. Це свідчить про те, що рослинність і рельєф є факторами синергії, сумарний ефект їхньої дії забезпечує зниження температур в долинних комплексах, що має велике екологічне значення в межах теплових островів міських агломерацій.

#### 4. Висновки

1. При щільному розповсюдженні деревної широколистяної рослинності відбувається нівелювання впливу гіпсометрії, граней рельєфу та інсоляційної експозиції на формування температурних показників. При змінах погодно-кліматичних умов, підвищенні температур та зменшенні вологості, фактор рельєфу долинних комплексів підсилюється.

2. Вплив рельєфу на рослинність в межах долин проявляється опосередковано, через сухість ґрунтів та зниження рівня ґрунтових вод на при піднятих або розчленованих ділянках поверхні, що зумовлює пригніченість рослинного покриття, зменшення листової маси, розрідження крон та підвищення температури.

3. В умовах обмеженого розвитку деревної рослинності на провідні позиції формування структури і особливостей теплового поля у долинно-балкової мережі виходять урбанізаційні та інсоляційна експозиція.

4. Круті схили долин ярів, балок, малих річок є тим запобіжником, що унеможливує знищення рослинності в Києві і таким чином сприяє збереженню осередків прохолоди у літній період та локально контролює температуру земної поверхні.

5. Рельєф впливає на температурний режим через специфічну долинну циркуляцію повітря і при несприятливих умовах може стати причиною формування ареалів техногенного забруднення.

6. Синергія охолоджуючої дії рослинності і від'ємних форм рельєфу, із заглибленням у поверхню вододілів на 20–40 м та з кутами нахилу 25–35° зумовлює в літній період зниження фонових температур у місті до 5–6°C. Температури у долинно-балкової мережі з природним покривом нижчі, ніж температури у паркових зонах на вододілах.

7. Долинні комплекси є еколого системним ресурсом в межах урбанізованих територій і виконують регулюючі (формування сприятливих мікрокліматичних умов) та культурні (задоволення естетичних і культурних потреб) функції.

8. Поки жаждою до збагачення забудовників буде переважати над здоровим глуздом ми і надалі будемо отримувати в долинах теплові і геохімічні аномалії, а мальовничі яри і балки, якими пишався Київ, стануть екологічно проблемними ділянками непридатними для комфортного проживання і відпочинку.

#### Література

- Вишневецький В. І. Малі річки Києва К.: Інтерпрес ЛТД. 2013. 84 с.
- Горный В. И., Крицук С. Г., Латыпов И. Ш., Тронин А. А., Киселев А. В., Бровкина О. В., Филиппович В. Е., Станкевич С. А. Теплофизические свойства поверхности городской среды (по результатам спутниковых съемок Санкт-Петербурга и Киева). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14, № 3. С. 51–66.
- Крилова Г. Б. Моніторинг формування і розвитку теплового острова міста Києва. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2014. № 2. С. 35–37. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/19/40> (дата звернення: 03.08. 2020).
- Пазинич Н. В., Ліщенко Л. П., Мичак А. Г., Філіпович В. Є., Теремченко О. М. Використання матеріалів дистанційного зондування Землі при вирішенні завдань екологічної геоморфології в міських умовах (на прикладі долини р. Либідь в м.Києві). *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 5. С. 33–36. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/49/68> (дата звернення: 03.08. 2020).
- Пестова І. О., Лубський М. С., Свіденюк М. О., Голубов С. І., Лаптев О. А. Теплове мікро картування міських територій з використанням космічних знімків та польових задвіркових вимірювань на прикладі міста Києва. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2019. № 21. С. 40–48. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/149/172> (дата звернення: 03.08. 2020).
- Філіпович В. Є., Крилова Г. Б. Дослідження теплового поля м. Києва заданими космічного зондування в ІЧ-діапазоні, як складової аналізу екологічного стану урбанізованої території. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: матеріали наук.-практ міжнародн. конференц. К.: Пушча-Водиця, 2014. С. 16–28.
- Sumit Khandelwal, Rohit Goyal, Nivedita Kaul, Aneesh Mathew. Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. Volume 21, Issue 1, April 2018. P. 87–94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.01.005> Get rights and content.
- Filipovych, V. Je., Krylova, Gh. B. (2014). Investigation of the thermal field of the city of Kyiv according to the data of space sensing in the IR range as a component of the analysis of the ecological condition of the urbanized area. Scientific Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference Modern Information Technologies for Environmental Safety, Nature Management, Emergency Measures, 2014, Kyiv, Puscha-Voditsa, P. 16–28. (in Ukrainian).

- Gorny, V. I., Kritsyk, S. G., Latypov, I. Sh., Tronin, A. A., Kiselev, A. V., Brovkina, O. V., Filippovich, V. E., Stankevich, S. A., Lubskii, M. S. (2017). Thermophysical properties of the of land surface in urban environment by satellite remote sensing of St. Petersburg and Kiev). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 14 (3). 51–66. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-51-66. (in Russian).
- Krylova, Gh. B. (2014). Monitoring of the formation and development of the thermal island of Kiev city. *Ukrainskyj zhurnal dystancijnogho zonduvannja Zemli*, 2. 35–37. Retrieved from: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/19/40>. (in Ukrainian).
- Pazinich, N. V., Lischenko, L. P., Mychak, A. G., Filipovich, V. E., Teremenko, A. N. (2015). Decision of task of ecological geomorphologic in the Kiev city with the use of remote sensing data (on the example of Lybyd river valley). *Ukrainskyj zhurnal dystancijnogho zonduvannja Zemli*, 5. 33–36. Retrieved from: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/49/68>. (in Ukrainian).
- Piestova, I. O., Lubskiy, M. S., Svideniuk, M. O., Golubov, S. I., Laptiev, O. A. (2019). Urban thermal micromapping using satellite imagery and groundtruth measurements: Kyiv city area case study. *Ukrainskyj zhurnal dystancijnogho zonduvannja Zemli*, 21. 40–48. Retrieved from <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/149/172>. (in Ukrainian).
- Sumit Khandelwal, Rohit Goyal, Nivedita Kaul, Aneesh Mathew. (2018). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21 (1). 87–94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.01.005> Get rights and content.
- Vyshnevsky, V. I. (2013). Small rivers of Kyiv. K.: Interpress LTD. (in Ukrainian).

#### ДОЛИННЫЕ КОМПЛЕКСЫ КАК ЭКОСИСТЕМНЫЕ АКТИВЫ ТЕПЛОВЫХ ОСТРОВОВ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ ЧАСТИ Г. КИЕВ)

Н. В. Пазинич

ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”, ул. Олеся Гончара 55-Б, Киев, Украина, 01054.

На основании данных дистанционного зондирования Земли проведен анализ влияния долинной сети правобережной части Киева на формирование летних температур земной поверхности. Использованы результаты обработки космических снимков Landsat с 1987 по 2018, представленные в виде изотерм. Сопоставление температурных данных, гипсометрии, геоморфологических особенностей, типов земного покрытия, проведено по профилям, пересекающих долины на наиболее репрезентативных участках. Установлено, что основными факторами, влияющими на формирование поля температур в пределах долин, являются растительность, инсоляционная экспозиция, антропогенная нагрузка. Проведенные исследования выявили наиболее низкие температуры в долинах у подножия склонов северной экспозиции, покрытых древесной растительностью. Установлено, что температуры в долинах с древесным покрытием на 5–6°C ниже, чем температуры на застроенных водоразделах и на 2–3°C ниже, чем в парковых зонах на водоразделах. В результате особенностей внутренней атмосферной циркуляции, застойных явлений в долинах, со значительным антропогенным давлением формируются тепловые и геохимические аномалии. В долинах р. Лыбидь и ручья Киянка сформированы неблагоприятные экологические условия. Вследствие климатических изменений и, постоянно растущего антропогенного давления, температуры в пределах теплового острова города за исследуемый период выросли на 2–3°C. Сохранение долинной сети в естественном состоянии, может обеспечить наличие своеобразных оазисов в пределах города с благоприятными микроклиматическими и рекреационными условиями.

**Ключевые слова:** тепловые острова, дистанционное зондирование Земли, температура поверхности земли, изотермы, ландшафтно-геоморфологические исследования, метод профилирования, инсоляционная экспозиция

#### VALLEY COMPLEXES AS ECOSYSTEM ASSETS OF HEAT ISLAND OF URBAN AGGLOMERATIONS (ON THE EXAMPLE OF THE RIGHT-BANK PART OF KYIV)

N. V. Pazynych

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. 55B, O. Gonchar st., Kyiv, Ukraine, 01054

The analysis of the influence of the valley network of the right-bank part of Kiev on the formation of summer surface temperatures based on the use of materials of space remote sensing is carried out. The results of processing Landsat satellite images from 1987 to 2018, presented as isotherms, were used. Comparison of temperature data, hypsometry, geomorphologic features, types of earth cover was carried out according to profiles crossing the valleys in the most representative areas. The main factors influencing the formation of the temperature field within the valleys are vegetation, insolation exposure and anthropogenic stress. The studies revealed the lowest temperatures in the valleys at the foot of the slopes of the northern exposure, covered with woody vegetation. It was established that the temperatures in the valleys with wood cover are 5–6°C and lower than the temperatures on the built-up water divide and 2–3°C lower than in the park zones on the water divide. As a result of the peculiarities of the internal atmospheric circulation, stagnation in the valleys, with significant anthropogenic pressure, positive thermal anomalies and even geochemical ones are formed. Unfavorable ecological conditions are formed on the river Lybid and Kiyanka stream. Due to climatic changes and constantly growing anthropogenic pressure (increase in the area of impermeable surfaces, density and number of storey of residential buildings), temperatures within the city's thermal island for the study period increased by an average of 2–3°C. Preservation of the valley network in its natural state provides a kind of oases within the city with favourable microclimatic and recreational conditions.

**Keywords:** heat island, remote sensing of the Earth, land surface temperature, isotherms, landscape-geomorphologic researches, profiling method, isolation exposition

*Рукопис статті отримано 02.06. 2020*