

ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 551.583.1

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.013>

**О.А. Скриник¹, В.І. Осадчий², Т. Сзентімрей³, З. Біхарі³, В.П. Сіденко²,
Д.О. Ошурок², Д.О. Бойчук², О.Я. Скриник²**

¹ Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ

² Український гідрометеорологічний інститут, Київ

³ OMSZ – Угорська метеорологічна служба, Будапешт, Угорщина

ПРОСТОРОВА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ КЛІМАТОЛОГІЧНИХ ДАНИХ З УРАХУВАННЯМ ТОПОГРАФІЧНИХ ТА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

У статті представлено результати геопросторової інтерполяції кліматологічних даних (мінімальної T_n , максимальної T_x та середньої T_m за місяць температури повітря на території України) у вузли регулярної мережі з кроком 0.1° . Інтерполяцію проведено за допомогою спеціалізованого (метеорологічного) програмного забезпечення MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized data basis), розробленого в Угорській метеорологічній службі. Для здійснення інтерполяції використано гомогенізовані ряди даних 178 станцій України для періоду 1946-2015 рр., які раніше було отримано в Українському гідрометеорологічному інституті. Алгоритм MISH базується на ідеях геостатистичного просторового моделювання (як, наприклад, крігінг), проте для розрахунку статистичної інформації, необхідної для проведення інтерполяції, залучені довгі гомогенізовані ряди кліматологічних показників. Як додаткові предиктори використано висоту місцевості, компоненти локальної топографії AURELHY (15 перших значень) та відстань до берегової лінії Чорного та Азовського морів. На основі кросс-валідаційної процедури здійснено оцінювання точності інтерполяції. Внаслідок виконаної роботи отримано базу даних мережових часових рядів: значення T_n , T_x та T_m у вузлах регулярної мережі для кожного місяця періоду 1946-2015 років. Отриманий результат може бути використаний як для досліджень регіонального клімату, так і для суміжних сфер діяльності, де кліматологічна інформація є необхідною.

Ключові слова: кліматологічні поля; температура повітря; просторова інтерполяція; рельєф; MISH; Україна.

**O.A. Skrynyk¹, V. I. Osadchy², T. Szentimrey³, Z. Bihari³, V. P. Sidenko², D. O. Oshurok², D. O. Boichuk²,
O. Y. Skrynyk²**

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

² Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kyiv

³ OMSZ – Hungarian Meteorological Service, Budapest, Hungary

SPATIAL INTERPOLATION OF CLIMATOLOGICAL DATA WITH RELIEF AND PHYSICOGEOGRAPHICAL PECULIARITIES OF THE TERRITORY OF UKRAINE TAKEN INTO ACCOUNT

The paper presents the results of geospatial interpolation of climatological data (monthly averages of daily minimum, T_n , maximum, T_x and mean, T_m , air temperature in Ukraine) into a regular grid with the spatial resolution of 0.1° . The interpolation has been conducted by means of the meteorological software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized data basis) developed at the Hungarian Meteorological Service. Homogeneous data series of 178 Ukrainian meteorological stations covering the period of 1946-2015, previously obtained at the Ukrainian Hydrometeorological Institute, have been used as the base for the interpolation. The MISH algorithm adopts the ideas of geostatistical spatial modeling (like e.g. kriging), but takes advantages of valuable climatological/statistical information contained in long homogenized data series. Terrain elevation, local topography components (AURELHY, 15 first values) and a distance to the Black Sea and the Sea of Azov seashore have been used as additional predictors. The interpolation accuracy has been estimated based on the cross-validation procedure. The main result of our work is the database of grid time series: values of T_n , T_x and T_m at the regular grid points for each month of the period of 1946-2015. The result can be used both for regional climate studies and for adjacent areas where climatological information is necessary and essential.

Keywords: climatological fields; air temperature; spatial interpolation; relief; MISH; Ukraine.

© О.А. Скриник, В.І. Осадчий, Т. Сзентімрей, З. Біхарі, В.П. Сіденко, Д.О. Ошурок, Д.О. Бойчук, О.Я. Скриник, 2020

Актуальність теми дослідження

Кліматологічну інформацію, яку отримують із строкових значень метеорологічних величин, вимірюваних на метеорологічних станціях, як правило інтерполюють у вузли регулярної мережі що покриває область дослідження [1-3]. Проінтерпольовані дані використовують для аналізу клімату, його просторово-часової мінливості [4], візуалізації кліматологічних полів (у вигляді карт, атласів), як вхідну та/чи верифікаційну інформацію для кліматичних [5], гідрологічних [6], агрокліматичних [7], біогеографічних [8] та інших чисельних моделей та для створення сучасних кліматичних сервісів [9]. Очевидно, що широке використання кліматологічної інформації у такому вигляді потребує і стимулює розроблення та впровадження сучасних спеціалізованих інтерполяційних методів [10], які б реально відображали просторовий розподіл тієї чи іншої кліматологічної величини, особливо в умовах складного рельєфу та/чи інших фізико-географічних особливостей місцевості.

Стан вивчення питання

В Україні просторову інтерполяцію кліматологічної інформації здійснювали, як правило, на основі використання детерміністичних [10] інтерполяційних алгоритмів (таких, зокрема, як метод обернених зважених відстаней) і, зазвичай, без залучення фізико-географічної інформації (висота над рівнем моря, відстань до берегової лінії тощо) як додаткових предикторів [11, 12]. Рельєф України є доволі складним [11] – дві гірські системи (Українські Карпати і Кримські гори), Волинська, Подільська, Придніпровська та Приазовська височини, Донецький кряж, Поліська, Придніпровська на Причорноморська низовини, узбережжя двох морів (Чорне та Азовське) – є основними топографічними та фізико-географічними особливостями, які значно урізноманітнюють кліматичні умови України і значно ускладнюють просторову інтерполяцію кліматологічних даних.

З іншого боку, останнім часом було розроблено та впроваджено багато нових спеціалізованих (метеорологічних) некомерційних інтерполяційних програмних продуктів, які разом із використанням детерміністичних алгоритмів залучають також до розрахунків ГІС технології та геостатистичне/ймовірнісне моделювання кліматологічних полів [10]. Одним із таких програмних продуктів є MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis), який був роз-

роблений в Угорській метеорологічній службі [13]. MISH часто використовують для створення національних або регіональних кліматичних атласів, а також баз мережових даних [напр. 14, 15]. Проте найяскравішим прикладом ефективного використання MISH є його залучення як інтерполяційного інструменту в рамках міжнародного кліматичного проекту CARPATCLIM [4].

Мета цієї публікації – представити результати використання MISH в Українському гідрометеорологічному інституті (УкрГМІ) для інтерполяції кліматологічних даних про температуру повітря в Україні та створення бази даних мережових (проінтерпольованих у вузли регулярної мережі) значень середньої, мінімальної та максимальної за місяць температури повітря для періоду 1946-2015 рр. з високою просторовою роздільною здатністю ($0.1^\circ \times 0.1^\circ$) для їх використання у кліматологічних та інших дослідженнях.

Дані та методи дослідження

Кліматологічні дані про температуру повітря в Україні

Основою для проведення інтерполяції та формування бази мережових даних (мережових часових рядів) середньої (T_m), мінімальної (T_n) та максимальної (T_x) за місяць температур повітря були створені в Українському гідрометеорологічному інституті бази гомогенізованих (приведених до однорідного стану: з заповненими пропусками та вилученими викидами і станційними сигналами) рядів відповідних кліматологічних показників. Їх детальний опис представлено в [16-18]. База даних містить гомогенізовані ряди 178 станцій України за період 1946-2015 років. Географічне розміщення станцій на території України представлено на *рис. 1*.

Інтерполяційне програмне забезпечення MISH

Існує багато сучасних інтерполяційних алгоритмів, які здійснюють розрахунок полів (2D поверхонь) на основі даних, вимірюваних/заданих у окремих точках території визначення. У кліматології найбільшого поширення останнім часом набули методи AURELHY (Analyse Utilisant le Relief pour les Besoins de l'Hydrometeorologie) [19], PRISM (Parameter-Elevation Relationships on Independent Slopes Model) [20] та MISH [13]. Всі вони відносяться до гібридних, які разом із детерміністичними алгоритмами залучають до розрахунків також ідеї геостатистичного моделювання, де інтерполяційна поверхня розглядається як одна

з можливих реалізацій випадкового поля. Крім того, на відміну від класичних геостатистичних методів (таких як, наприклад, крігінг), MISH використовує інформацію не тільки з одночасового перерізу (якогось конкретного моменту часу, з інтервалу для якого здійснюють просторову інтерполяцію), а статистичну інформацію, отриману з усього часового проміжку. Тобто, інформацію, яка міститься у часових рядах, що задають значення кліматологічного показника на досліджуваному інтервалі часу.

MISH складається з двох частин: моделювальної та інтерполяційної. У моделювальній частині кліматологічний параметр (наприклад, температура повітря – у випадку адитивної моделі, або сума опадів – у випадку мультиплікативної моделі) задають як функцію додаткових детерміністичних предикторів (топографічних та фізико-географічних величин, кількість та склад яких визначає користувач) за допомогою рівняння лінійної регресії. Залежна величина у цьому регресійному рівнянні – просторовий тренд предиктанта, тобто – очікуване значення кліматологічного параметра у просторі. Також розраховують/моделюють значення статистичних параметрів кліматологічної величини у вузлах регулярної мережі, для яких задано значення детерміністичних предикторів.

Інтерполяційна частина базується на результатах моделювальної частини. На цьому етапі проводять інтерполяцію значень кліматологічного показника та розраховують помилку інтерполяції. Крім того, додаткова «фонова» інформація може бути залучена до розрахунків, як наприклад, супутникові, радіолокаційні дані чи дані прогностичних моделей. Зазвичай «фонову» інформацію використовують для інтерполяції даних про атмосферні опади, оскільки це надзвичайно мінлива у просторі характеристика, а мережа станцій не завжди є достатньо щільною.

Вичерпний опис математичних основ останньої версії MISH разом із детальним поясненням алгоритму проведення розрахунків представлено в [21]. MISH – некомерційний програмний продукт, який можна отримати з сайту [http://www.met.hu/en/omsz/rendezvenyek/homogenization_and_interpolation/software/] після реєстрації.

Додаткові детерміністичні (топографічні та фізико-географічні) предиктори

Відомо, що локальні фізико-географічні особливості місцевості мають певний вплив на її клімат.

Тобто, зазвичай існують статистично значущі кореляційні зв'язки між фізико-географічними характеристиками місцевості, як наприклад абсолютна висота над рівнем моря, експозиція схилів гірських масивів, відстань до берегової лінії, географічні координати (широта та/чи довгота) та кліматологічними величинами. Більшість сучасних спеціалізованих (метеорологічних) інтерполяційних методів намагаються врахувати ці кореляційні зв'язки, розглядаючи зазначені фізико-географічні чи/та топографічні характеристики як предиктори у регресійних/інтерполяційних моделях.

Однак вибір фізико-географічних предикторів не завжди є тривіальним завданням. Наприклад, використання абсолютної висоти місцевості як предиктора для температури повітря є досить обгрунтованим, оскільки існує добре відомий факт наявності її вертикального градієнта. Проте, багато важливих метеорологічних/кліматологічних процесів залежать більше від морфологічних аспектів місцевості та відносних різниць у висотах локальної топографії, ніж від абсолютних висот над рівнем моря [22].

У роботі [19] було показано, що для врахування топографічних особливостей територій при здійсненні інтерполяції кліматологічної інформації можуть бути визначені топографічні величини, які задають базові типи рельєфу. Такі величини отримали назву компонент AURELHY і визначаються на основі застосування аналізу головних компонент (Principal Component Analysis - PCA) до ковзного вікна в цифровій моделі рельєфу території дослідження. Сам метод інтерполяції з використанням компонент AURELHY як предикторів отримав однойменну назву.

У цій роботі як додаткові предиктори для інтерполяції температури повітря в Україні було використано абсолютну висоту над рівнем моря, компоненти AURELHY (15 перших значень) та відстань до берегової лінії. Компоненти AURELHY розраховано на основі даних цифрової моделі рельєфу GTOPO30 з просторовою роздільною здатністю 30'' в обох горизонтальних напрямках. Дані отримано геологічною службою США [23].

Оцінювання точності інтерполяції

У програмному забезпеченні MISH передбачено оцінювання точності інтерполяції. Таке оцінювання здійснюють на основі кросс-валідаційної процедури за допомогою середньої квадратичної

помилки, яку визначають за формулою:

$$RMSE(s_0) = \sqrt{\left((Z(s_0, t) - \hat{Z}(s_0, t))^2 \right)}, \quad (1)$$

де $Z(s_0, t)$ – виміряне значення кліматологічного параметра у точці простору з географічними координатами s_0 та момент часу t , $\hat{Z}(s_0, t)$ – його проінтерпольоване значення. Горизонтальна риска зверху означає операцію осереднення.

Крім того, розраховують ще одну величину, яку називають репрезентативністю інтерполяції:

$$REP(s_0) = 1 - \frac{RMSE(s_0)}{D(s_0)}, \quad (2)$$

де $D(s_0)$ – середнє квадратичне відхилення предиктанта (тобто, $D^2(s_0) = \overline{(Z(s_0, t) - \overline{Z(s_0, t)})^2}$).

Очевидно, що чим точнішою є інтерполяція (чим меншою є помилка інтерполяції), тим ближчою до 1 є репрезентативність $REP(s_0)$. У випадку «ідеальної» інтерполяції, отримаємо що $REP(s_0) = 1$. З іншого боку, коли помилка інтерполяції за величиною зрівнюється із стандартним відхиленням предиктанта, то репрезентативність стає рівною 0.

Виклад основного матеріалу

На *рис. 1* представлено рельєф території України, побудований на основі даних ГТОРО30. У зв'язку з певними технічними обмеженнями програмного забезпечення MISH (лінійні просторові розміри домену дослідження/моделювання не повинні перевищувати ~1000 км), територію України було розділено на 3 регіони, де розрахунки проводились окремо. Регіон Reg1 характеризується складним рельєфом (наявністю Карпатських гір та Подільської височини) із значними перепадами абсолютних висот місцевості. У регіоні Reg2 перепади висот є не такими значними, проте місцевість дуже пересічена, з великою кількістю річкових долин. Основна частина регіону Reg3 також характеризується незначним перепадом висот, однак наявність Кримських гір та Чорного й Азовського морів значно ускладнюють його фізико-географічні особливості. У цьому регіоні як додаткові предиктори для проведення інтерполяції використано висоту над рівнем моря, компоненти AURELHY та відстань до берегової лінії, тоді як у Reg1 та Reg2 – тільки висоту та компоненти AURELHY. Як видно з *рис. 1*, регіони перекривають один одного, тому остаточну компіляцію результатів інтерполяції для всієї України було здійснено на основі гармонізації

даних. Тобто, на територіях, які перекриваються, було проведено осереднення розрахованих даних за їх кількістю (2 або 3). Така процедура гармонізації забезпечила можливість усунути крайові ефекти і отримати неперервний просторовий розподіл кліматологічних величин. На *рис. 1* також показано просторовий розподіл метеорологічних станцій України, дані яких використано для проведення інтерполяції.

Основним результатом дослідження є бази даних мережових часових рядів середніх за місяць значень температури повітря (середньої, мінімальної та максимальної) 1946-2015 років.

На *рис. 2* представлено приклади результатів інтерполяції середньої за місяць температури: на рисунку 2 а) зображено розрахований просторовий розподіл температури за березень 1946 року, а на б) – d) – осереднені за 30 років (1961-1990) розподіли температур за січень, липень та за рік. Зауважимо, що наведені приклади подано лише для наочної ілюстрації ефективності методу MISH. Тобто, аналогічні до *рис. 2* карти можна отримати для будь-якого іншого місяця вказаного періоду чи будь-якого іншого періоду усереднення.

Результати верифікації проведеної інтерполяції (оцінку точності розрахунків) представлено у графічному вигляді на *рис. 3*, де показано щомісячні значення репрезентативності, розрахованої на основі кросс-валідаційної процедури за формулою (2) та усередненої за кількістю станцій у кожному регіоні. Як видно з рисунка, середні значення REP для кожного регіону є досить високими (> 0.85). Помітний річний хід точності інтерполяції (з мінімальними значеннями наприкінці літа – на початку осені) можна пояснити складнішою структурою статистичної залежності температури повітря від додаткових детерміністичних предикторів. Також, як і слід було очікувати, найкращі результати інтерполяції отримано у Reg2, де особливості рельєфу простіші порівняно із іншими регіонами. Проте відмінності між регіонами не є значними.

Загалом, як видно з *рис. 2* та 3, MISH є потужним і ефективним інструментом побудови достовірних просторових розподілів кліматологічних показників. Так, основні особливості температурного розподілу по території України чітко простежуються і збігаються з раніше отриманими результатами [напр., 11, 12]. Проте, на відміну від останніх, MISH реальніше відображає прос-

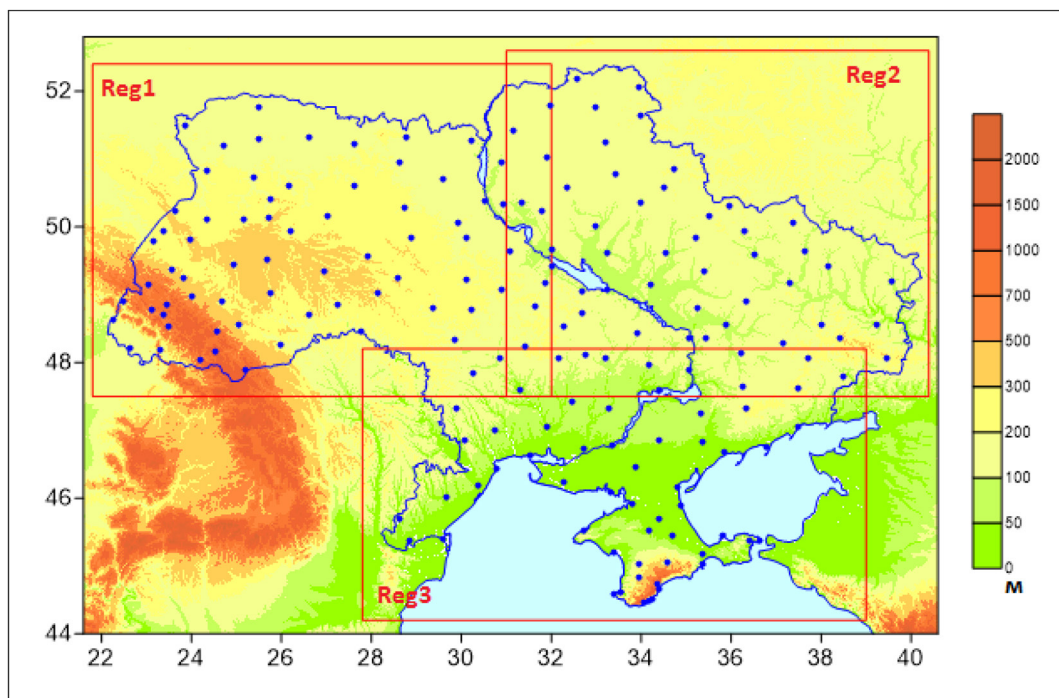


Рис. 1. Рельєф України, побудований на основі даних GTOPO30.

На карті позначено 3 регіони (прямокутні області червоного кольору Reg1, Reg2, Reg3), для кожного з яких розрахунки проводились окремо. Точками синього кольору позначені метеорологічні станції, дані яких використано для проведення інтерполяції

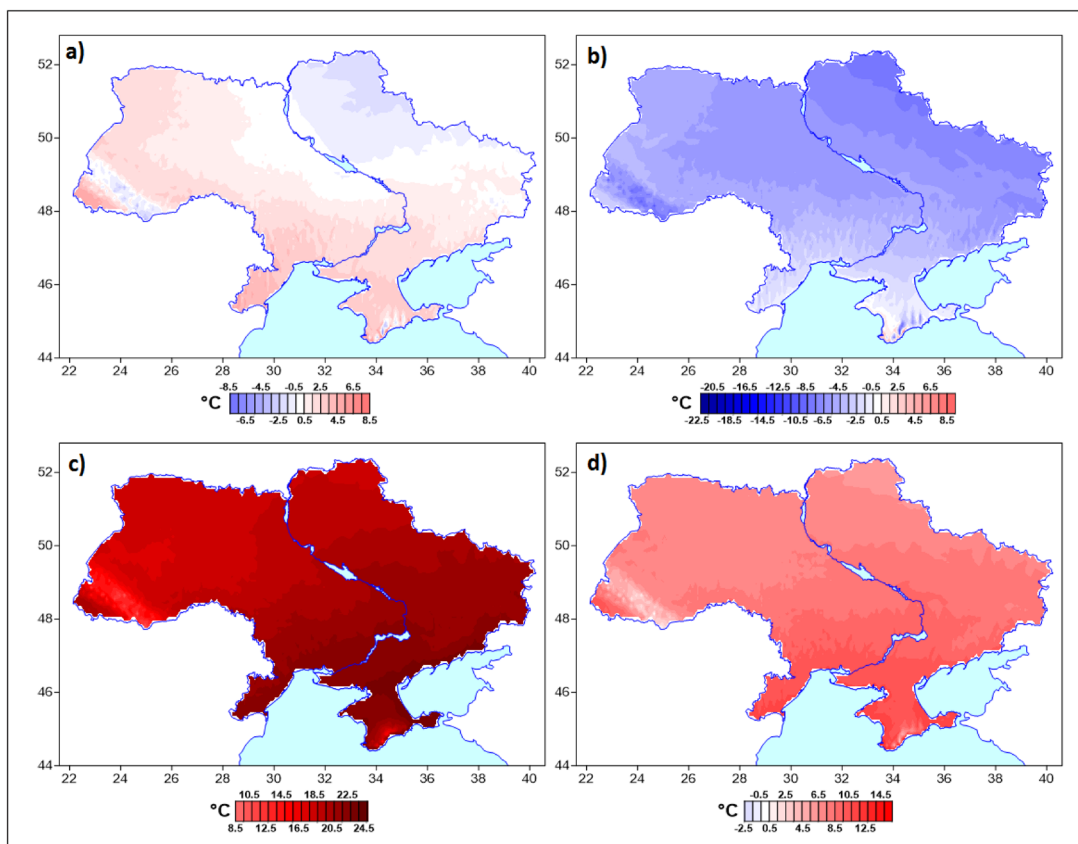


Рис. 2. Приклади результатів інтерполяції: а) середня температура в Україні за березень 1946 р.; б), с) та д) середня місячна температура в Україні за січень, липень та рік відповідно, усереднені за стандартний кліматологічний період 1961-1990 рр.

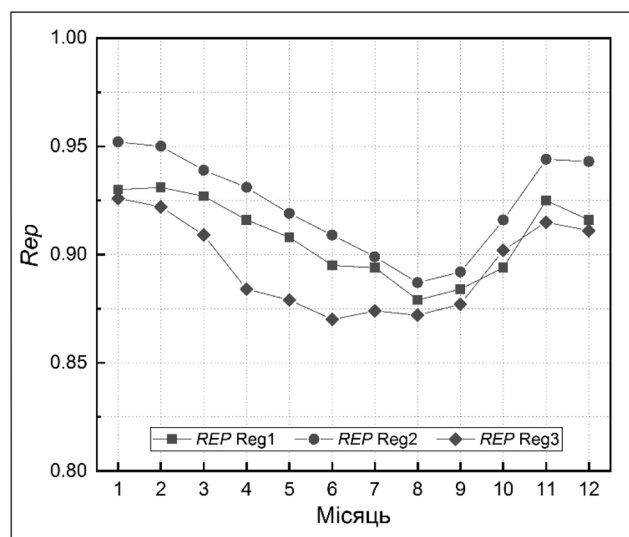


Рис. 3. Усереднені (за кількістю станцій у регіоні) значення репрезентативності проведеної інтерполяції для кожного місяця року у 3 регіонах. Репрезентативність розрахована на основі кросс-валідаційної процедури

торові розподіли кліматологічних показників, особливо при наявності фізико-географічних особливостей місцевості.

Висновки

У роботі представлено результати просторової інтерполяції місячних значень температури повітря (мінімальної, максимальної та середньої) на території України у вузлі регулярної мережі з просторовим кроком 0.1° в обох горизонтальних напрямках. Інтерполяцію проведено засобами сучасного спеціалізованого програмного забезпечення MISH, спеціально розробленого для вирішення

метеорологічних/кліматологічних задач. MISH базується на ідеях геостатистичного моделювання, широко використовуваного в ГІС-технологіях, проте, на відміну від останнього, у розрахунках також використовується статистична/кліматологічна інформація, що міститься у довгих гомогенізованих часових рядах кліматологічних показників. Крім того, MISH використовує додаткові предиктори (висота над рівнем моря, компоненти локальної топографії AURELHY, відстань до берегової лінії тощо), що значно підвищує ефективність інтерполяції в умовах складних фізико-географічних особливостей місцевості. Проведена оцінка точності інтерполяції на основі кросс-валідаційної процедури показала високу ефективність використаного інтерполяційного алгоритму (та програмного забезпечення) для просторового моделювання кліматологічних полів.

В результаті проведених розрахунків було отримано мережеві часові ряди для періоду 1946–2015 рр. Створена база даних мережевих значень місячної температури повітря (мінімальної, максимальної та середньої) може бути використана для вирішення широкого спектра завдань кліматології, а також суміжних областей. Отриманий результат є особливо важливим у зв'язку з актуальністю кліматологічних задач у світлі сучасних глобальних та регіональних змін клімату та адаптації до них різних сфер людської діяльності.

Мережеві часові ряди середніх за місяць значень температури повітря (T_n , T_x та T_m) можуть бути отримані для проведення наукових досліджень на некомерційній основі після запиту в Український гідрометеорологічний інститут.

References [Література]

1. Szentimrey T., Lakatos M., Bihari Z., Kovacs T., Nemeth A., Szalai S., Hiebl J., Auer I., Milkovic J., Zahradnicek P., Štěpánek P., Tolasz R., Kilar P., Pyrc R., Limanowka D., Cheval S., Matei M., Kajaba P., Ivanakova G., Bochnicek O., Nejedlik P., Statsny P., Mihic D., Petrovic P., Savic T., Skrynyk O., Nabyvanets Y., Gnatiuk N. (2012). *Final report on the creation of national gridded datasets, per country. CARPATCLIM Project Deliverable D2.9*. Available at: http://www.carpatclim-eu.org/docs/deliverables/D2_9.pdf
2. Hiebl J., Auer I., Böhm R., Schöner W., Maugeri M., Lentini G., Spinoni J., Brunetti M., Nanni T., Perčec Tadić M., Bihari Z., Dolinar M., Müller-Westermeier G. (2009). A high-resolution 1961–1990 monthly temperature climatology for the greater Alpine region. *Meteorologische Zeitschrift (Meteorol. M.)*, 18(5), 507–530. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2009/0403>
3. Cornes R.C., Schrier G., Besselaar E.J.M., Jones P.D. (2018). An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation data sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
4. Spinoni J., Szalai S., Szentimrey T., Lakatos M., Bihari Z., Nagy A., Nemeth A., Kovacs T., Mihic D., Dacic M., Petrovic P., Kržic A., Hiebl J., Auer I., Milkovic J., Štěpánek P., Zahradnicek P., Kilar P., Limanowka D., Pyrc R., Cheval S., Birsan M.-V., Dumitrescu A., Deak G., Matei M., Antolovic I., Nejedlik P., Štastny P., Kajaba P., Bochnicek O., Galo D., Mikulova K., Nabyvanets Y., Skrynyk O., Krakovska S., Gnatiuk N., Tolasz R., Antofie T., Vogt J. (2015). Climate of the

- Carpathian region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *Int. J. Climatol.* 35(7), 1322–1341. <https://doi.org/10.1002/joc.4059>
5. Krakovska S.V., Palamarchuk L.V., Shedemenko I.P., Diukel G.O., Gnatiuk N.V. (2008). Verification of data of the World climate research center (CRU) and the regional climate model (REMO) regarding surface air temperature forecasting for the period of 1961–1990. *Proceeding of UHMI*. Iss. 257, 42–60. [In Ukrainian].
[Верифікація даних Світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961–1990 рр. / С.В. Краковська, Л.В. Паламарчук, І.П. Шедемєнко, Г.О. Дюкель, Н.В. Гнатюк // Наукові праці УкрНДГМІ, 2008. Вип. 257. С. 42–60.]
 6. Osadchyi V.I. (2017). Resources and quality of surface water in Ukraine under conditions of anthropogenic load and climate change. *Visnyk NAS Ukr.*, 8, 29–46. <https://doi.org/10.15407/visn2017.08.029> [In Ukrainian].
[Осадчий В.І. Ресурси та якість поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження та кліматичних змін // Вісн. НАН України. 2017. № 8. С. 29–46]
 7. Kryvobok O.A., Kryvoshein O.O., Adamenko T.I. (2018). Peculiarities of technological adaptation of the CGMS system for agricultural crops monitoring in Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 22, 64–79. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.07>. [In Russian].
[Кривобок А.А., Кривошеин А.О., Адаменко Т.И. Особенности технологической адаптации системы CGMS для мониторинга сельскохозяйственных посевов в Украине // Укр. гідрометеорол. журн. 2018. № 22. С. 64–79.]
 8. Shvidenko A., Buksha I., Krakovska S., Lakyda P. (2017) Vulnerability of Ukrainian forests to climate change. *Sustainability*, 9 (7), 1152. <https://doi.org/10.3390/su9071152>
 9. WMO. (2019). *Global Framework for Climate Services (GFCS)*. <http://www.wmo.int/gfcs/> Accessed September 2019
 10. Dobesch H., Dumolard P., Dyras I. (Eds.). (2007). *Spatial Interpolation for Climate Data: The Use of GIS in Climatology and Meteorology*. Geographic Information Systems Series, ISTE Ltd., London, 320. ISBN:9781905209705
 11. *National atlas of Ukraine*. (2007). Kyiv, 440 p. [In Ukrainian].
[Національний атлас України. Київ, 2007. 440 с.]
 12. Osadchyi V.I., Babichenko V.M., Nabyvanets Y.B., Skrynyk O.Y. (2013). *Dynamics of Air Temperature in Ukraine over Instrumental Observation Period*. Kyiv, 308 p. [In Ukrainian].
[Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень / В.І.Осадчий, В.М. Бабіченко, Ю.Б. Набіванець, О.Я. Скриник. Київ, 2013. 308 с.]
 13. Szentimrey T., Bihari Z. (2007). Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). *Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology*. Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, COST Office, 17–27.
 14. Mamara A., Anadranistakis M., Argiriou AA, Szentimrey T, Kovacs T, Bezesc A, Bihari Z. (2017). High resolution air temperature climatology for Greece for the period 1971–2000. *Meteorol. Appl.*, 24 (2), 191–205. <https://doi.org/10.1002/met.1617>
 15. Gofa F., Mamara A., Anadranistakis M., Flocas H. (2019). Developing gridded climate data sets of precipitation for Greece based on homogenized time series. *Climate*, 7 (5), 68. <https://doi.org/10.3390/cli7050068>
 16. Osadchyi V., Skrynyk O.A., Radchenko R., Skrynyk O.Y. (2018). Homogenization of Ukrainian air temperature data. *Int. J. Climatol.*, 38(1), 497–505. <https://doi.org/10.1002/joc.5191>
 17. Osadchyi V.I., Skrynyk O.A., Sidenko V.P., Boichuk D.O., Oshurok D.O., Skrynyk O.Y. (2018). Homogenized database of long monthly mean air temperature time series. *Geoinformatika*, 1 (65), 45–68. [In Ukrainian].
[Гомогенізована база даних довгих рядів середньої місячної температури повітря / В.І. Осадчий, О.А. Скриник, В.П. Сіденко, Д.О. Бойчук, Д.О. Ошурок, О.Я. Скриник // Геоінформатика. 2018. 1 (65). С. 54–68]
 18. Skrynyk O.Y., Aguilar E., Skrynyk O.A., Sidenko V., Boichuk D., Osadchyi V. (2019). Quality control and homogenization of monthly extreme air temperature of Ukraine. *Int. J. Climatol.*, 39(4), 2071–2079. <https://doi.org/10.1002/joc.5934>
 19. Benichou P., Le Breton O. (1987). AURELHY: une methode d'analyse utilisant le relief pour les besoins de l'hydrometeorologie. In *Deuxiemes Journées Hydrologiques de l'ORSTOM a Montpellier* (Colloques et Seminaires). ORSTOM: Paris; 299–304. ISBN: 2-7099-0865-4.
 20. Daly C, Neilson RP, Philips DL. (1994). A statistical-topographical model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *J. Appl. Meteorol.*, 31, 661–676. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1994\)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2)
 21. Szentimrey T., Bihari Z. (2014). *Manual of interpolation software MISHv1.03*, Hungarian Meteorological Service, Budapest, Hungary, 59 p.
 22. Thomas A., Herzfeld U.C. (2004). REGEOTOP: new climatic data fields for East Asia based on localized relief information and geostatistical methods. *Int. J. Climatol.*, 24 (10), 1283–1306. <https://doi.org/10.1002/joc.1058>
 23. USGS (2010). *Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30)* <https://doi.org/10.5066/F7DF6PQS> [Accessed September 2019]

Стаття надійшла до редакції 27.09.2019