

doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.07.043>

УДК 551.582.2, 551.583.1

В.І. Осадчий¹, О.А. Скриник², О.Я. Скриник¹

¹ Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Київ

² Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

E-mail: skrunyk@univ.kiev.ua

Вплив неоднорідності часових рядів температури повітря на оцінку регіональних кліматичних змін

Представлено членом-кореспондентом НАН України В.І. Осадчим

На основі аналізу трендів первинних (негомогенізованих) та гомогенізованих рядів температури повітря досліджено вплив кліматологічної неоднорідності емпіричних даних на оцінку змін температурного режиму України. Для аналізу використано первинні ряди середньої місячної температури для 178 метеорологічних станцій України за період 1946–2014 рр. та відповідні гомогенізовані ряди, які було отримано в Українському гідрометеорологічному інституті. Виявлено істотний вплив “станційних сигналів” на оцінку регіональних кліматичних змін (температурних тенденцій).

Ключові слова: температура повітря, часові ряди, кліматологічна неоднорідність, гомогенізація, HOMER, кліматичні зміни.

Довгі часові ряди кліматологічних показників зазвичай містять різкі зсуви східчастого вигляду та/або плавні тренди, які не є наслідком впливу клімату чи його мінливості, а характеризують певні зміни у способі отримання емпіричної інформації на метеорологічних станціях [1]. Їх важко виявити через інтенсивну шумову складову, яка завжди присутня в рядах емпіричних даних. Основними причинами появи такої кліматологічної неоднорідності часових рядів [2] (яку інколи також називають “станційним сигналом/чинником”) є переміщення станцій, зміна їх оточення, заміна приладів, зміна методики вимірювання чи розрахунків [3]. Очевидно, що виявлення та вилучення “станційних сигналів” (гомогенізація часових рядів) повинні передувати будь-яким кліматологічним дослідженням, в яких передбачається аналіз емпіричної інформації. Проблема стає особливо гострою, коли необхідно оцінити кліматичні зміни (регулярні тенденції), що відбулися в тому чи іншому регіоні. Прямий аналіз первинних (негомогенізованих) часових рядів може привести до неправильного висновку про еволюцію клімату, оскільки величина реальних змін часто є порівнянною з величиною (амплітудою) “станційного сигналу” [4]. Зазначимо, що вилучення неоднорідності може бути здійснене на основі метаданих (інформації про дати та причини можливих розривів). Проте у більшості випадків гомогенізацію можна здійснити тільки статистичними методами.

© В.І. Осадчий, О.А. Скриник, О.Я. Скриник, 2017

ISSN 1025-6415. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2017. № 7

Незважаючи на довгу та багату на результати історію кліматологічних досліджень температурного режиму в Україні [5], а також досліджень регіональних кліматичних змін [6–9], проблемі виявлення, вивчення та вилучення кліматологічних неоднорідностей у часових рядах було приділено дуже мало уваги. Перші спроби гомогенізувати часові ряди середньої місячної температури повітря, які були отримані на території України, здійснені в [10, 11]. Детальніший аналіз, з використанням максимального (за довжиною рядів та кількістю станцій) набору даних, проведено в [12]. У результаті одержано гомогенізовану базу даних довгих (1946–2014 рр.) рядів середньої місячної температури повітря, отриманих на 178 метеорологічних станціях України.

Наша мета — використовуючи результати [12], дослідити вплив виявлених неоднорідностей на оцінку кліматичних змін температурного режиму України.

Гомогенізована база даних довгих рядів середніх за місяць температур повітря. Виявлення та вилучення кліматологічних неоднорідностей у 178 часових рядах температури повітря в [12] було здійснено за допомогою сучасного програмного забезпечення HOMER [13]. HOMER — європейський продукт, результат роботи проекту COST (European Cooperation in Science and Technology) Action ES0601. Він об'єднує декілька добре обґрунтованих та верифікованих гомогенізаційних алгоритмів.

Загальна кількість виявлених під час гомогенізації точок розривів дорівнює 287 (у середньому ~1,6 розривів на 1 станцію). Величини зсувів (амплітуди) у рядах річних значень температури не перевищують ± 1 °C (мінімальне значення: $-0,72$ °C, максимальне: $0,93$ °C). Середнє значення амплітуд дорівнює $-0,03$ °C, стандартне відхилення $0,21$ °C.

Відзначимо, що ідентифіковані точки розривів було зіставлено з інформацією з історичних описів метеорологічних станцій. 31 % загальної кількості виявлених розривів підтверджено метаданими. Більшість “істотних” змін у способі вимірювання (переміщення станцій з великих населених пунктів у замиські зони, аеропорти та ін.) були чітко ідентифіковані HOMER.

Вплив виявлених неоднорідностей на оцінку кліматичних змін. Відомо, що кліматологічна неоднорідність часових рядів значно впливає на оцінку регулярних (не випадкових) тенденцій (кліматичних змін). Зазвичай такі тенденції визначають, розраховуючи лінійні тренди (лінійні апроксимації) часових рядів.

Отже, для дослідження впливу виявлених кліматологічних неоднорідностей на оцінку кліматичних змін, було розраховано значення коефіцієнтів лінійних трендів для рядів сезонних та річних значень температури для кожної станції. Тренди розраховано методом найменших квадратів, окремо для первинних та гомогенізованих даних (до і після проведення гомогенізації). Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів лінійних трендів здійснено на 95 % довірчому рівні за допомогою критерію Стьюдента. Розраховані значення коефіцієнтів трендів проінтерпольовано у вузли регулярної сітки методом звичайного кригінгу і побудовано карти для наочного представлення результатів. На рис. 1 наведено результати розрахунків для сезонних рядів (зима, весна, літо та осінь), на рис. 2 — для річних рядів. На рис. 1, 2 області із статистично значущими трендами зображено суцільними контурними лініями, області з незначущими трендами — штриховими контурами.

Крім того, було розраховано найпростішу статистичну інформацію щодо різниць коефіцієнтів лінійних трендів часових рядів до і після вилучення неоднорідностей для кожного

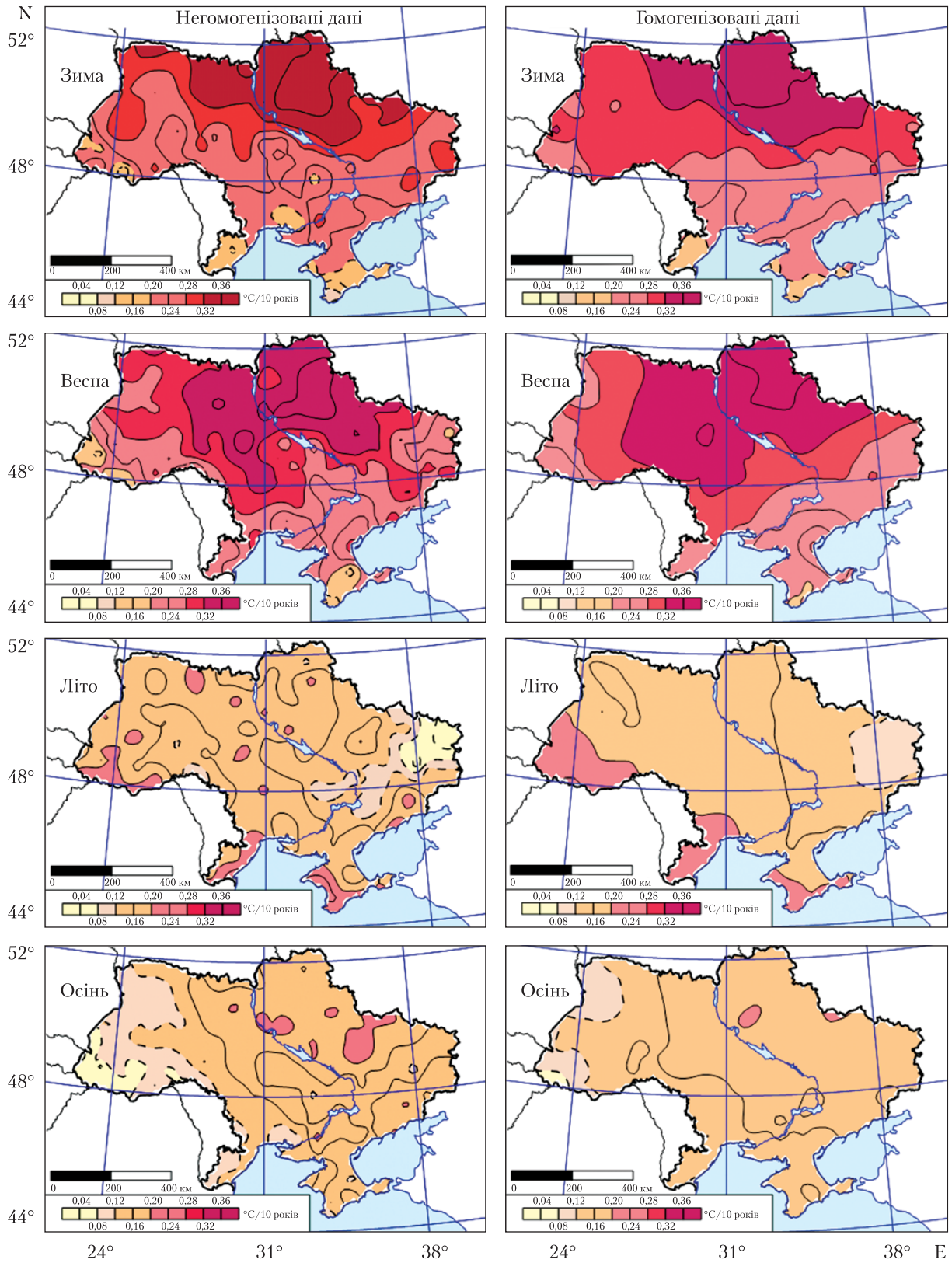


Рис. 1. Просторовий розподіл сезонних трендів за період 1946–2014 рр.

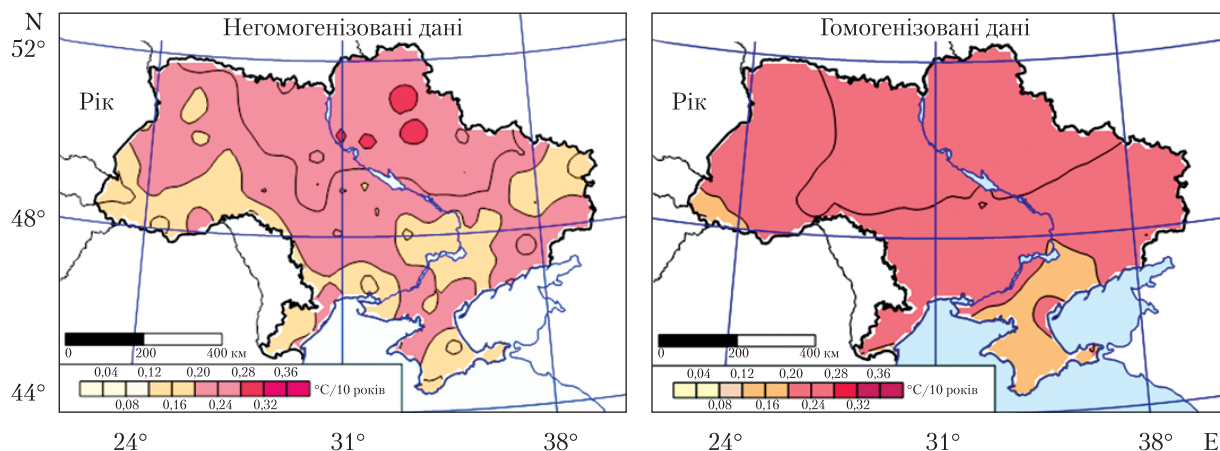


Рис. 2. Просторовий розподіл річних трендів за період 1946–2014 рр.

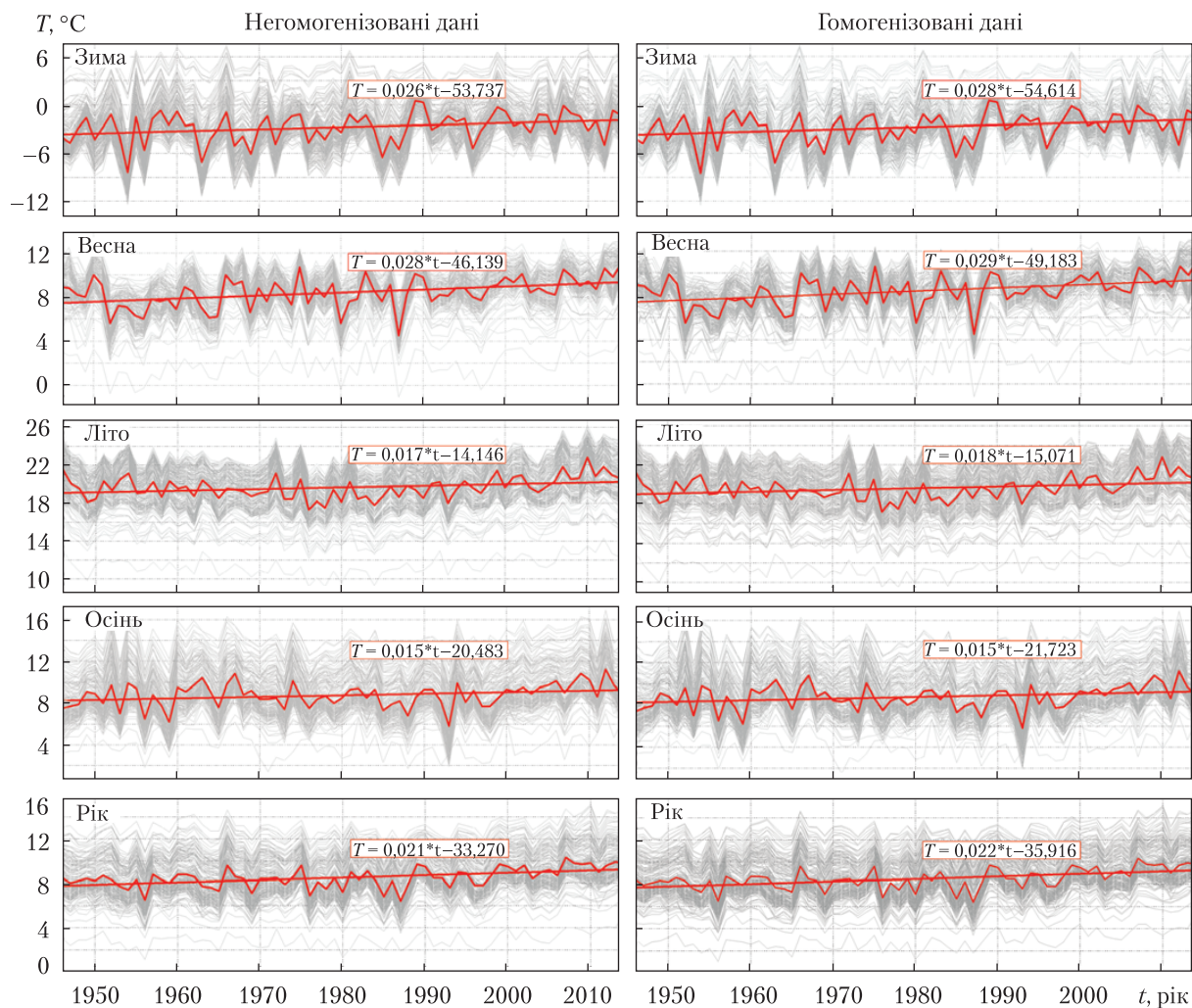


Рис. 3. Просторово осереднені (за територією України) часові ряди та їх лінійні апроксимації

сезону та року (таблиця). Різниці належать проміжку $(-0,14; 0,09 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ років})$ з усередненими за територією України значеннями $-0,02 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ років}$ (для зимового та весняного сезонів) і $-0,01 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ років}$ (для літа, осені та року в цілому).

Також розраховано просторово усереднені (за територією України) часові ряди до і після гомогенізації та їх лінійні тренди (рис. 3). Незважаючи на різні способи усереднення, оцінки відмінностей значень коефіцієнтів лінійних трендів рядів до і після гомогенізації, які наведено в таблиці та на рис. 3, практично збігаються.

Аналіз результатів проведених розрахунків дає підстави стверджувати, що кліматологічна неоднорідність часових рядів істотно впливає на оцінку кліматичних змін.

- У середньому для території України “станційні сигнали” дещо завищують температуру повітря в минулому і, таким чином, занижують значення коефіцієнтів лінійних трендів (на 10–20 %). Причиною завищення температури є велика кількість переміщень метеорологічних станцій, багато з яких було здійснено з центрів населених пунктів у приміські зони (чи в аеропорти). Такі переміщення зазвичай мають “охладжуючий” ефект.

- Просторовий розподіл на території України коефіцієнтів лінійних трендів негомогенізованих рядів має різку просторову неоднорідність для всіх сезонів та року: існує велика кількість локальних областей із вищими/нижчими значеннями трендів порівняно з оточуючими територіями. Тоді як гомогенізовані ряди показують більш згладжену просторову картину температурних тенденцій. Очевидно, реальні кліматичні зміни мають гладкий просторовий розподіл.

- Після гомогенізації значно зменшилися розміри областей, для яких лінійні тренди не є значущими.

Проте відзначимо, що виявлені неоднорідності не змінюють температурні тенденції кардинально: знак трендів є позитивним для всіх станцій для гомогенізованих та негомогенізованих рядів.

Загалом, температура повітря в Україні в період 1946–2014 рр. зростала у всі сезони і на всій території. Найінтенсивнішим зростання було в зимовий та весняний періоди в північних і центральних регіонах країни. Практично на всій території України зміни є значущими.

Таким чином, проведений аналіз впливу кліматологічної неоднорідності часових рядів температури повітря на оцінку регіональних кліматичних змін показав, що неоднорідність рядів слід обов’язково враховувати при оцінці змін клімату. Порівняльний аналіз трендів первинних та гомогенізованих температурних даних виявив істотний вплив неоднорідностей на оцінку температурних тенденцій в Україні, що проявлялося в заниженні значень коефіцієнтів лінійних трендів (заниження інтенсивності потепління). Усереднені за територією України коефіцієнти лінійних трендів оригінальних рядів є меншими на 10–20 % від трендів гомогенізованих даних. Проте для деяких станцій відмінності є значно більшими. Важливим також є суттєвий вплив виявлених “станційних сигналів” на про-

Різниці коефіцієнтів лінійних трендів ($^\circ\text{C}/10 \text{ років}$), розрахованих до та після проведення гомогенізації

Сезон/ Рік	Min	Max	Середнє за територією
Зима	-0,14	0,04	-0,02
Весна	-0,12	0,08	-0,02
Літо	-0,11	0,09	-0,01
Осінь	-0,10	0,06	-0,01
Рік	-0,10	0,06	-0,01

сторовий розподіл коефіцієнтів лінійних трендів, який виявляється в різкій просторовій неоднорідності температурних тенденцій.

Зауважимо, що аналіз було виконано для періоду 1946–2014 рр., коли метеорологічні спостереження проводилися досить якісно, порівняно з ранішим періодом, і певні зміни в способі отримання метеорологічної інформації (перенесення станцій, заміна приладів і т. п.) відбувалися “контрольовано” і лише у разі необхідності. Для довших рядів (більшого періоду) “станційні сигнали” будуть істотнішими, збільшиться кількість можливих точок розриву. Проте детальний аналіз провести складно через велику кількість пропусків у рядах даних, особливо в періоди першої та другої світових воєн, що значно знижують надійність результатів гомогенізації.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Trewin B. Exposure, instrumentation, and observing practice effects on land temperature measurements. *WIREs Clim. Change*. 2010. **1**, Iss. 4. P. 490–506. doi: <https://doi.org/10.1002/wcc.46>
2. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. Ленинград: Гидрометеоздат, 1978. 296 с.
3. Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson T.C., Wieringa J. Guidelines on climate metadata and homogenization. WMO/TD No. 1186. WCDMP No. 53. Geneva: World Meteorological Organization, 2003. 50 p.
4. Menne M.J., Williams C.N. Jr., Vose R.S. The U.S. historical climatology network monthly temperature data, version 2. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2009. **90**, № 7. P. 993–1007. doi: <https://doi.org/10.1175/2008BAMS2613.1>
5. Бабиченко В.Н., Рудишина С.Ф., Бондаренко З.С., Гущина Л.М. Температура воздуха на Украине. Ленинград: Гидрометеоздат, 1987. 399 с.
6. Волощук В.М., Бойченко С.Г., Степаненко С.М., Шищенко Г.П., Бортник С.Ю. Глобальне потепління та клімат України, регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти. Київ: ВПЦ “Київський університет”, 2002. 117 с.
7. Клімат України. В.М. Ліпінський, В.А. Дячук, В.М. Бабиченко (ред.). Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
8. Бабиченко В.М., Николаєва Н.В., Гущина Л.М. Зміни температури повітря на території України наприкінці ХХ та на початку ХХІ століття. *Укр. геогр. журн.* 2007. № 4. С. 3–12.
9. Осадчий В.І., Бабиченко В.М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Укр. геогр. журн.* 2013. № 4. С. 32–39. doi: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.04.032>
10. Osadchy V., Nabyvanets Y., Skrynyk O., Krakovska S., Skrynyk O. Homogenization of long monthly air temperature time series collected in Ukraine. *Seventh Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases jointly organized with the Meeting of COST ES0601 (HOME) Action MC Meeting*. Budapest, Hungary, 2011. WCDMP-No. 78. P. 92–98.
11. Skrynyk O., Savchenko V., Radchenko R., Skrynyk O. Homogenization of monthly air temperature and monthly precipitation sum data sets collected in Ukraine. *Eighth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and Third Conference on Spatial Interpolation Techniques in Climatology and Meteorology*. Budapest, Hungary, 2014. WCDMP-No. 84. P. 128–133.
12. Скриник О.А., Осадчий В.І., Радченко Р.Ю., Скриник О.Я. Гомогенізована база даних довгих рядів середньої місячної температури повітря. *Наукові праці УкрНДІГМІ*. 2017. Вип. 271. С. 3–18.
13. COST – ES0601: Advances in homogenization methods of climate series: an integrated approach (HOME). URL: http://www.homogenisation.org/v_02_15/

Надійшло до редакції 31.01.2017

REFERENCES

1. Trewin, B. (2010). Exposure, instrumentation, and observing practice effects on land temperature measurements. *WIREs Clim. Change*, 1, Iss. 4, pp. 490-506. doi: <https://doi.org/10.1002/wcc.46>
2. Kobysheva, N. V. & Narovlyansky, G. Y. (1978). *Climatological processing of meteorological information*. Leningrad: Gidrometeoizdat (in Russian).
3. Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T.C. & Wieringa, J. (2003). *Guidelines on climate metadata and homogenization*. WMO/TD No. 1186. WCDMP No. 53. Geneva: World Meteorological Organization.
4. Menne, M. J., Williams, C. N. Jr. & Vose, R. S. (2009). The U.S. historical climatology network monthly temperature data, version 2. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 90, No. 7, pp. 993-1007. doi: <https://doi.org/10.1175/2008BAMS2613.1>
5. Babichenko, V. N., Rudyshina, S. F., Bondarenko, Z. S. & Gushchyna, L. M. (1987). *Air temperature in Ukraine*. Leningrad: Gidrometeoizdat (in Russian).
6. Voloshchuk, V. M., Boychenko, S. G., Stepanenko, S. M., Shyshchenko, G. P. & Bortnyk, S. Y. (2002). *Global warming and climate of Ukraine, regional, ecological and socio-ecological aspects*. Kyiv: VPC "Kyiv University" (in Ukrainian).
7. Lipinsky, V. M., Dyachuk, V. A. & Babichenko, V. M. (Eds.). (2003). *Climate of Ukraine*. Kyiv: Vyd-vo Raevskogo (in Ukrainian).
8. Babichenko, V. M., Nikolaeva, N. V. & Gushchyna, L. M. (2007). Changes in air temperature in Ukraine in the late XX and early XXI century. *Ukr. geogr. j.*, No. 4, pp. 3-12 (in Ukrainian).
9. Osadchy, V. I. & Babichenko, V. M. (2013). The air temperature on the territory of Ukraine in today's climate conditions. *Ukr. geogr. j.*, No. 4, pp. 32-39 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.04.032>
10. Osadchy, V., Nabyvanets, Y., Skrynyk, O., Krakovska, S. & Skrynyk, O. (2011). Homogenization of long monthly air temperature time series collected in Ukraine. Seventh Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases jointly organized with the Meeting of COST ES0601 (HOME) Action MC Meeting. WCDMP-No. 78 (pp. 92-98). Budapest, Hungary.
11. Skrynyk, O., Savchenko, V., Radchenko, R. & Skrynyk, O. (2014). Homogenization of monthly air temperature and monthly precipitation sum data sets collected in Ukraine. Eighth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and Third Conference on Spatial Interpolation Techniques in Climatology and Meteorology. WCDMP-No. 84 (pp. 128-133). Budapest, Hungary.
12. Skrynyk, O. A., Osadchy, V. I., Radchenko, R. Y. & Skrynyk, O. Y. (2017). Homogenized dataset of monthly mean air temperature. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*, Iss. 271, pp. 3-18 (in Ukrainian).
13. COST – ES0601: Advances in homogenization methods of climate series: an integrated approach (HOME). Retrieved from http://www.homogenisation.org/v_02_15/

Received 31.01.2017

*В.И. Осадчий*¹, *О.А. Скриник*², *О.Я. Скриник*¹

¹ Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС Украины и НАН Украины, Киев

² Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев

E-mail: skrynyk@univ.kiev.ua

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА
НА ОЦЕНКУ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

На основе анализа трендов первичных (негомогенизированных) и гомогенизированных рядов температуры воздуха исследовано влияние климатологической неоднородности эмпирических данных на оценку изменений температурного режима Украины. Для анализа использованы первичные ряды среднемесячной температуры для 178 метеорологических станций Украины за период 1946–2014 гг. и соответствующие гомогенизированные ряды, полученные в Украинском гидрометеорологическом институте. Выявлено значительное влияние “станционных сигналов” на оценку региональных изменений климата (температурных тенденций).

Ключевые слова: температура воздуха, временные ряды, климатологическая неоднородность, гомогенизация, HOMER, климатические изменения.

V.I. Osadchyi¹, O.A. Skrynyk², O.Ya. Skrynyk¹

¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute

under the State Emergency Service of Ukraine and the NAS of Ukraine, Kiev

² National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev

E-mail: skrynyk@univ.kiev.ua

INFLUENCE OF INHOMOGENEITY OF TEMPERATURE
TIME SERIES ON THE ESTIMATION OF REGIONAL CLIMATE CHANGES

Based on a trend analysis of raw and homogenized temperature data, the influence of inhomogeneities of time series on the assessment of temperature changes in Ukraine has been studied. The raw monthly mean temperature data collected at 178 stations during the period 1946–2010 and respective homogenized data, which had been obtained in the Ukrainian Hydrometeorological Institute, have been used for the analysis. The analysis has revealed the substantial influence of “station signals” on the assessment of regional climate changes.

Keywords: *air temperature, time series, inhomogeneity, homogenization, HOMER, climate change.*