

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГІРСЬКИХ І ПЕРЕДГІРНИХ ЛАНДШАФТІВ

УДК 378.141:908

DOI: 10.31652/2786-5665-2023-4-33-44

**Холявчук Д. І.**

кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної географії, геоморфології та палеогеографії.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Україна.

d.kholyavchuk@chnu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0002-7489-7848>

### МІНЛИВІСТЬ БІОКЛІМАТИЧНИХ ПОЯСІВ КАРПАТ: НУКЛЕАРНА КОНФІГУРАЦІЯ ЛАНДШАФТІВ У ДИНАМІЦІ

**Анотація.** У дослідженні розглядається просторово-часова мінливість біокліматичних показників, температур повітря зокрема, у ландшафтних регіонах Карпат з використанням сіткових даних ERA5-Land (1961-2020 рр.). Мінливість виражена у високогірних і низькогірних смугах. Високогірні і середньогірні біокліматичні смуги термічно залежні, тоді як низькогірні зони вразливі до дефіциту опадів. Потепління клімату і зміна антропогенного впливу – ключові чинники ландшафтної сукцесії в Карпатах. Потепління спостерігається протягом усього року, з найменшими значеннями у січні у високогір'ї. Липень став повсюдно теплішим, особливо в Західних Карпатах, що призводить до зменшення площі альпійських і субальпійських ландшафтів. Ландшафти мішаних лісів найстійкіші до біокліматичної мінливості, визначаючи домінування цього ландшафтного регіону у Карпатах. Виявлені закономірності сприятимуть динамічній інтерпретації гірських ландшафтів і вдосконаленні фізико-географічного районування.

**Ключові слова:** біоклімат, кліматичні зміни, температура повітря, ландшафтний регіон, Карпати.

### **Kholiavchuk D. VARIABILITY OF CARPATHIAN BIOCLIMATIC ZONES: NUCLEAR CONFIGURATION OF LANDSCAPES IN DYNAMICS**

**Abstract.** The paper explores the variability of bioclimatic indicators, with a particular emphasis on air temperature, revealing fluctuations in the nuclear configuration of the Carpathian landscape regions. To achieve this, multi-year monthly gridded data from the ERA5-Land series for the period of 1961-2020 are utilized. This variability becomes evident in the decadal and short-term fluctuations of the high mountain bioclimatic core zone and its associated lower zones, highlighting a deviation from symmetry in the distribution of bioclimatic zones, extending from the core towards the foothills. High and mid-mountain bioclimatic zones are primarily thermally dependent, while low mountain zones are susceptible to precipitation deficits. The research identifies the influence of climate warming and anthropogenic factors in shaping the succession of nuclear landscape regions within the Carpathians. Throughout all months between 1961 and 2020, warming is consistently observed, as confirmed by significant positive trends in average monthly air temperatures. The only exception to this trend is found in the high mountain landscape zones, which exhibit the lowest and insignificant magnitude of the warming trend in January. Among these zones, the coldest regions are in the Eastern Carpathians, specifically on the northeastern macroslope. In contrast, July experiences a significant warming trend in all Carpathian regions, particularly in the Western Carpathians, possibly attributed to changes in the influence of Atlantic circulation. Consequently, a reduction in the extent of alpine and subnival high mountain landscapes, including coniferous forests, is determined. Among the various bioclimatic zones within the Carpathians, mixed forest landscapes emerge as remarkably resilient to fluctuations in bioclimatic indicators, underscoring their significance as a dominant nuclear landscape region of the Carpathians. The findings suggest that these patterns have the potential to provide valuable insights into the dynamic interpretation of mountain landscapes and can be integrated into physical-geographical zoning schemes. In summary, this research contributes to a deeper understanding of the climatic dynamics in the Carpathian region and their implications for landscape changes.

**Keywords:** bioclimate, climate change, air temperature, landscape region, Carpathians.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Гірські ландшафти модифікують макроклімат і відповідно, вирізняються мезокліматичними рисами, а в їхніх межах різноманіття діяльних поверхонь та їхніх морфометричних характеристик визначає підгрунтя для виокремлення мозаїки мікро- чи топокліматів (Bailey, 2014). В останній доповіді Міжурядової комісії зі змін клімату (IPPC) гірські регіони віднесені до кліматично вразливих систем (IPCC, 2022). Із дуже високою ймовірністю прогнозовано, що підвищення температури повітря продовжуватиме спричиняти зміни в гірських регіонах протягом усього XXI ст. (IPCC, 2022; Pepin et al., 2022). Такі зміни, відповідно, можуть негативно вплинути на стабільність холодних високогірних ландшафтів, їх біорізноманіття та екосистемні послуги (Pepin et al., 2022).

Регіональні і локальні варіації кліматичних змін, зокрема в Європі, є найбільш виразними і, часто, найбільш екстремальними в областях із неоднорідною та глибоко розчленованою поверхнею (Pörtner et al., 2022). Водночас для таких територій типовими є різноспрямовані або незначні тенденції змін кліматичних показників у кількадесятилітніх часових зрізах. Так, свідчення впливу потепління на висотне зміщення біокліматичних поясів упродовж останніх десятиліть є неоднозначне у різних гірських системах світу (Adler et al., 2022).

Карпати, як субмеридіонально витягнута гірська країна, є цікавим тлом кліматичної мінливості з огляду на неоднозначність проявів змін повітряного компоненту над складно побудованими поверхнями, які виступають центрами збурень кліматичних параметрів. Великі «міжнародні» розміри такого ландшафтотвірного ядра-осі виходять за межі типового адміністративного розуміння регіону та окреслюються тривалим часом. Біокліматичний пласт устрою ландшафтних регіонів мінливий і у розрізі сторіччя, про що свідчать останні доповіді Міжурядової комісії зі змін клімату (IPCC, 2022). Тому гірські ландшафти є важливими модельними об'єктами для виявлення характеру проявів кліматичної мінливості регіонального генезису. Пояснення просторово-часових особливостей кліматичних змін на рівні регіональних гірських ландшафтів Карпат є питанням на часі (Birsan et al., 2014; Kholiavchuk & Cebulska, 2019; Kynal & Kholiavchuk, 2016;

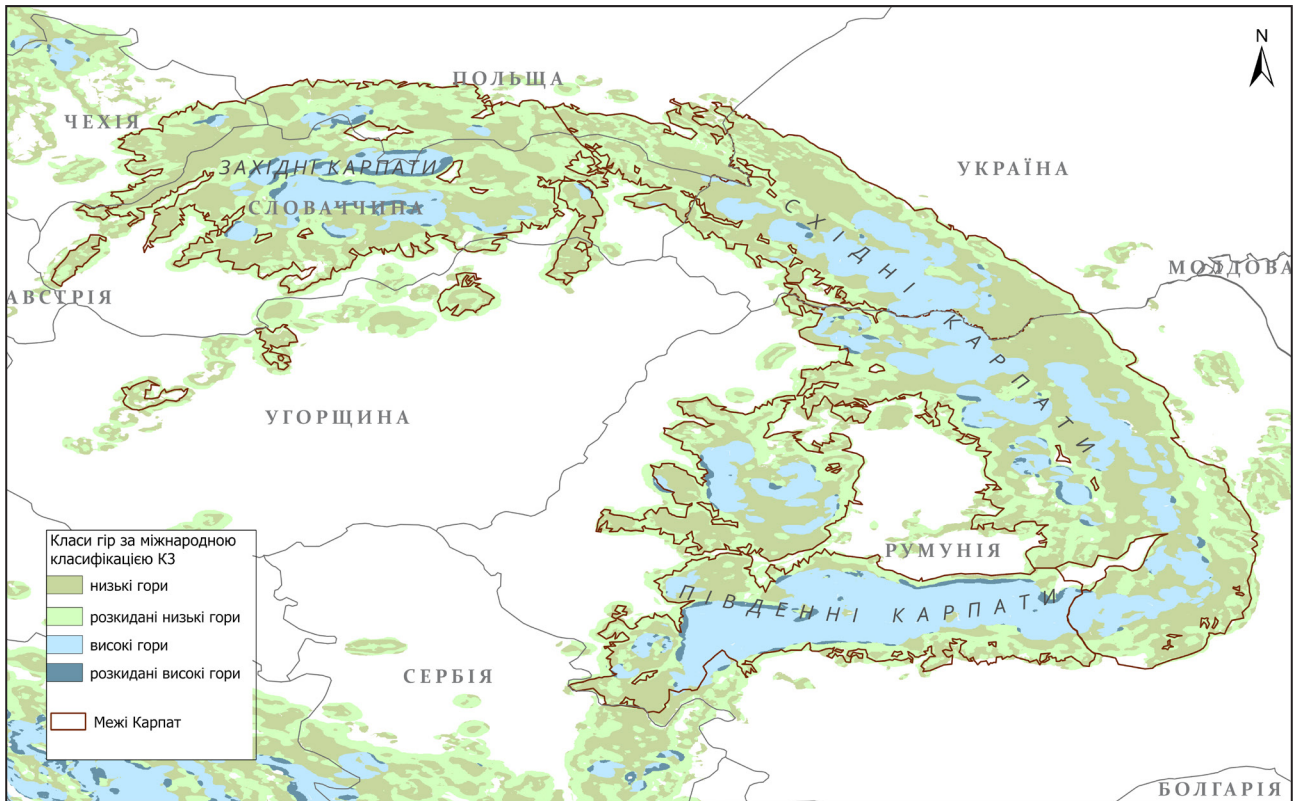
Micu et al., 2021; Walanus et al., 2021).

Так, у Карпатах зміщення ізотерм, що визначальні у проростанні лісових формацій, проявляється неоднаково у різних ландшафтних регіонах Карпат (Micu et al., 2020). Регіон є особливим, зважаючи і на положення його частини в динамічному екотоні між зоною широколистяних лісів та лісостепу, що надалі збільшує флуктуації природних процесів на цих теренах. Поява доступних і якісних кліматичних просторових даних достатньої роздільності (починаючи з другої половини XX століття) дає змогу інтерпретувати кліматичну мінливість не лише в часі, а в й просторі, що виступає метою вишукування. Такий аналіз є актуальним та цінним для спеціалізованих регіональних ландшафтознавчих досліджень та інтерпретації динамічності біокліматичних меж ландшафтних регіонів.

**Регіон дослідження і методи.** Для інтерпретації мінливості основних біокліматичних індикаторів як модельний простір обрано Карпати у конфігурації ландшафтних регіонів. У дослідженні ландшафтні регіони інтерпретуємо у контексті нуклеарної конфігурації ландшафтних регіонів за Гродзинським (2005). Відповідно гірську вісь Карпат трактуємо як ядро збурення властивостей ландшафтів, клімату зокрема, у напрямках макросхилів, які проявляються у біокліматичних поясах.

Каркасом для означення просторово-часової мінливості виступають межі класів гірських регіонів за глобальною цифровою класифікацією К3 (Sayre et al., 2018). Масштаб виконаної класифікації у середовищі з просторовою роздільністю 250 м відповідає потребам ландшафтно-кліматичного дослідження регіонального масштабу. Класифікація виконана відповідно до глобально узгодженої класифікації еколандшафтних регіонів (Sayre, 2014) (рис. 1). В останній застосовано чотири види шарів для вводу при моделюванні еколандшафтних регіонів: біоклімат, форми рельєфу, літологія, види діяльних поверхонь (земель). Такі регіони віднесені до мезорівня (від 10 до 100000 га), що загалом узгоджується із кліматологічним розумінням такого масштабу (Bailey, 2014). Трактуючи біокліматичну складову еколандшафтної системи, доцільною є інтерпретація термічних умов та умов зволоження.

Мережа точкових даних наземних стаціонарних гідрометеорологічних станцій, розташова-



**Рис. 1.** Класи гір Карпатської гірської країни відповідно до глобальної класифікації К3  
(Sayre et al., 2018)

них у Карпатах не дає повної просторої картини розподілу кліматичних показників, які відображають регіональні риси територіальних конфігурацій ландшафту. Відповідно використання просторових даних, отриманих шляхом поєднання точкових даних та моделювання поверхні і приземної атмосфери, спрямоване на розв'язання цієї проблеми. У дослідженні апробовано найновішу серію сіткових даних ERA Interim ERA5-Land (Muñoz Sabater, 2019). Останні – оновлені дані наземного компоненту реаналізу клімату ERA5. Суттєве вдосконалення ERA5-Land – підвищена роздільна здатність (9 км порівняно з 31 км у ERA5), що значно покращує можливості регіональних ландшафтно-кліматичних досліджень. Базові дані дослідження – місячні кліматичні характеристики ERA5-Land упродовж 1961-2020 рр. У дослідженні проаналізовано мінливість полів основних біокліматичних індикаторів (річних температур повітря, середньомісячних температур січня та липня сум) навколо високогір'їв та Карпатської споруди загалом як прояв нуклеарної конфігурації ландшафтних регіонів. Зокрема, визначені просторові патерни мінімального,

максимального впливу високогір'я та гір загалом на деформацію полів показників упродовж 1961-2020 рр. Визначені також найтипівіші патерни розподілу біокліматично значимих температур повітря.

**Виклад основного матеріалу.** Карпати – друга за масштабами гірська країна Європи. Вона має форму дуги, випуклої на північний схід протяжністю понад 1500 км. У північно-західній частині ширина становить 250 км. У західній частині споруда найширша (430 км), у центральній – найвужча (120 км). Означені морфометричні характеристики додають регіональній специфіці секторній та висотній диференціації ландшафтів Карпат (рис. 1).

На відміну від інших європейських гірських країн, Карпати представлені переважно середньо- (800-1500 м) та низькогірними (нижче 800-1000 м) ландшафтними підкласами. Ізольовані острівці альпійських ландшафтів з висотами понад 2000 м складають менше 1% їх загальної площі. Зважаючи на орографію, Карпати перебували під значно меншим впливом четвертинних зледенень, ніж Альпи. Лише у Татрах, Західних

Карпатах (з найвищою вершиною Герлаховський Штит, 2654,4 м н.р.м.) та окремих масивах Південних Карпат (Фагараш, Ретезат та Бучеджі) біокліматичний альпійський пояс переходить у субнівальний (у середньому вище 2300 м н. р. м. (табл. 1). Такі висоти перевищують кліматич-

ізотермі +2°C (ізотерма липня +10°C) і снігова лінія з річною ізотермою -2°C. Багаторічна мерзлота, яка відома на висоті понад 1900 м у Татрах та вище 2000 м у Південних Карпатах, не виявлена в Українських Карпатах (*Dobiński, 2005*). Порівняно із Західними Карпатами, у Південних

**Таблиця 1.** Біокліматичні пояси Карпат (узагальнені дані на основі *Круглов 2008; Hess, 1965, Hess 1971; Micu et al., 2021*)

Висотні кліматичні смуги	Геоботанічні / Геоморфологічні назви	Середня річна температура повітря, °C	Висоти, м н.р.м. (1960-1990 рр.)		
			Західні Карпати	Східні Карпати	Південні Карпати
Дуже холодна	Субнівальна	< -2°C	>2250	–	>2430
Холодна	Альпійська	-2°C* – 0°C	2250-1850	>1850	2430-2050
Дуже прохолодна	Субальпійська	0 – +2°C	1850-1450	1850-1550	2050-1670
Прохолодна	Смерекова	+2°C** – +4°C	1450-1050	1550-1200	1670-1300
Помірно прохолодна	Буково-смерекова	+4 – +6°C	1050-650	1200-850	1300-920
Помірно тепла	Смереко-букова	+6 – +8°C	<650	850-500	920-540
Тепла	Букова, дубова, мішана широколистяна	> +8°C	<550	<500	<540

\* кліматично снігова лінія

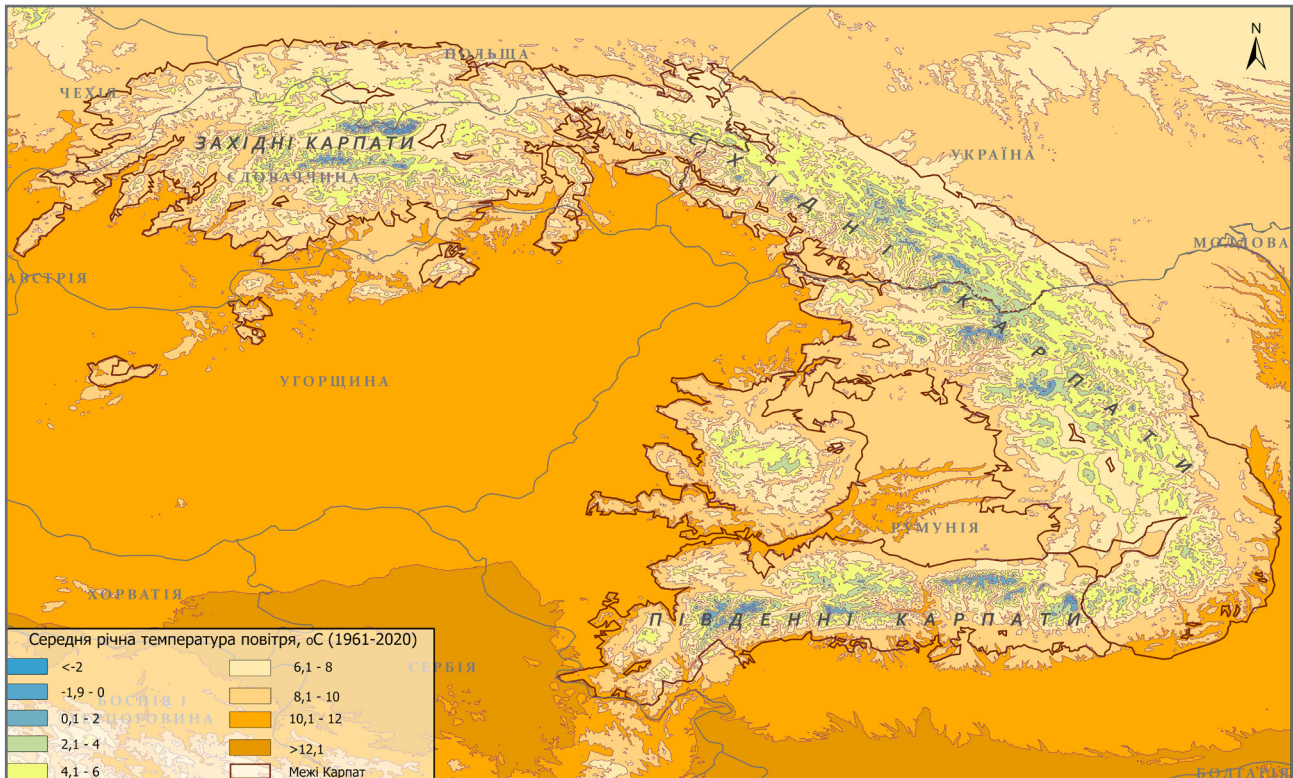
\*\* кліматично верхня межа лісу

ну снігову лінію, але через специфічні топоклімати постійні льодовики не отримали розвитку (*Ronikier, 2011*).

Означені риси розчленування Карпатської споруди визначають особливості висотної диференціації біокліматичних ландшафтних регіонів (Таблиця 1), які узгоджуються із поняттям ландшафтних підкласів та типів у класифікації ландшафтів Українських Карпат (*Українські Карпати, 2016-2017*). У середньогір'ях і високогір'ях такі ландшафти, передусім, термічно залежні (*Fisher et al., 2018*). Кліматично найдетермінованішою є верхня межа лісу, яка відповідає річній

Карпатах верхня межа дуже прохолодної смуги (ізотерма +2°C) (табл. 1) розташована приблизно на 200 м вище (*Niedźwiedz, 2012*).

Багаторічний розподіл середніх річних температур повітря упродовж 1978-2018 рр. також свідчить про виражені субнівальні та альпійські біокліматичні ландшафтні смуги лише у Західних та Південних Карпатах (рис. 2). Вони займають ізольовані незначні площі у вигляді високогірних ядер найвищих масивів. Прохолодна біокліматична смуга, оптимальна для проростання хвойних лісів, також займає розірвані смуги. Вони, проте, найкраще виражені у Східних Кар-



**Рис. 2.** Багаторічний розподіл масштабованих середніх річних температур повітря упродовж 1978-2018 рр. (за даними Wouters, 2021)

патах до висоти 1500 м. Термічно оптимальними є умови для розвитку широколистянолісових ландшафтів у низькогір'ї Карпат, про що свідчать найбільші і найвираженіші відповідні біокліматичні смуги (рис. 2). Однак оротографічно саме ці ареали найвразливіші до дефіциту атмосферних опадів (Hlásny et al., 2016; Shvidenko et al., 2017).

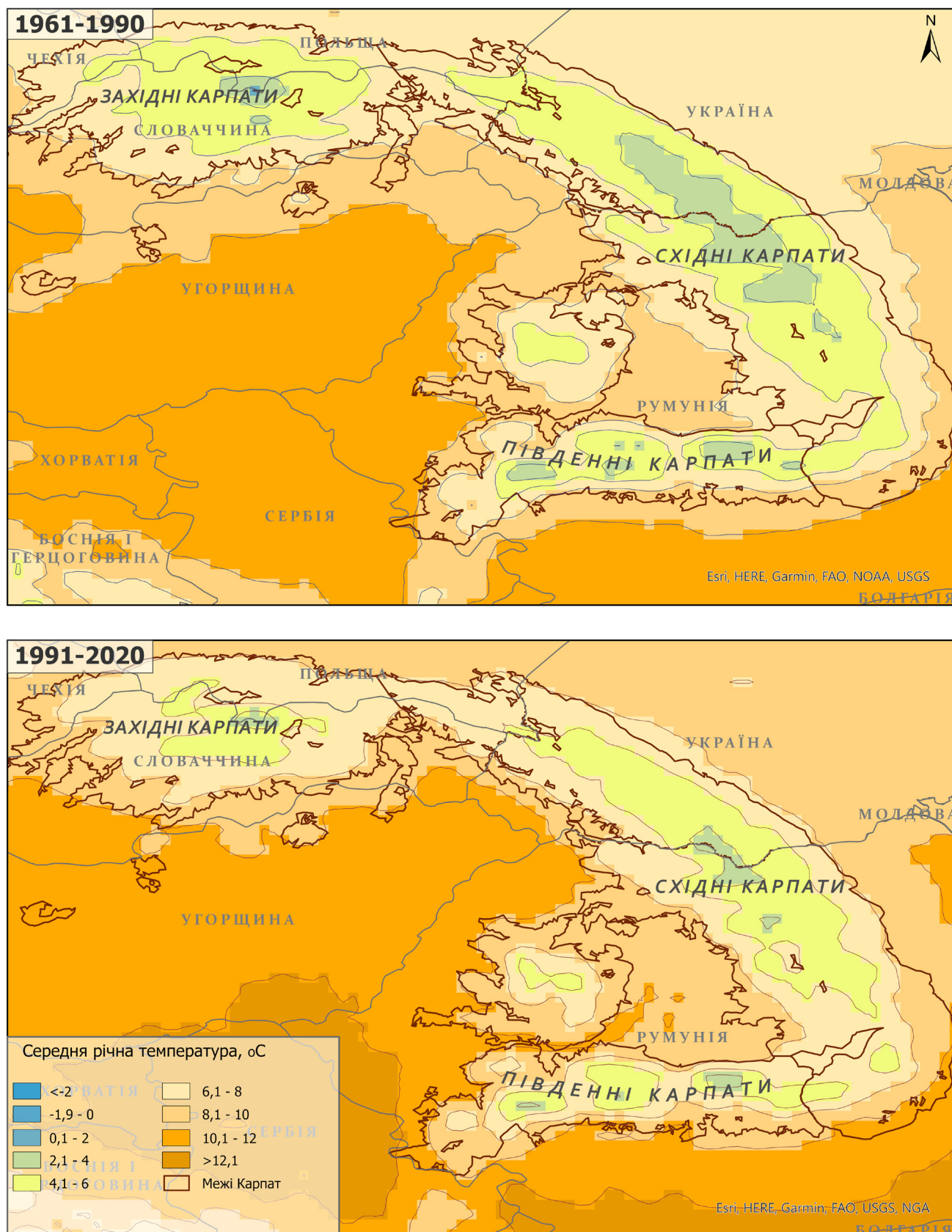
Упродовж другої половини ХХ ст. – початку ХХІ століття у просторовому розподілі таких смуг помітні зміни. Для порівняння взято два часові зрізи (1961-1990 рр.) і (1991-2020 рр.), оскільки тенденцію в бік потепління у Карпатах приурочують саме до початку 90-х років ХХ ст. (Kynal & Kholiavchuk, 2016). Порівняння вказує на суттєве зменшення площі холодних біокліматичних смуг, а отже субальпійських, альпійських і субнівальних ландшафтів (рис. 3). Натомість, збільшились території з термічно оптимальними умовами для розвитку лісових ландшафтів, мішанолісових і теплих дубоволисових зокрема.

Описані біокліматичні пояси загалом відповідають глобальній класифікації кліматів за авторством Кешпена-Гейгера (Beck et al., 2018). Згідно з нею у Карпатах переважаючим є прохолодний тип клімату D, який відповідає лісовим біокліма-

тичним смугам. Підтип Dfc (тільки 1-3 місяці із середньою температурою повітря найтеплішого місяця  $>+10^{\circ}\text{C}$ ) відповідає прохолодній біокліматичній смузі хвойнолісових ландшафтів. Холодні біокліматичні смуги відповідають альпійському типу клімату (полярному), з середніми температурами найтеплішого місяця у діапазоні  $0-+10^{\circ}\text{C}$ . Виконаний просторовий багаторічний аналіз вказує на чітку ядроформуєчу роль Карпатської гірської споруди у полях розподілу біокліматичних індикаторів. Загалом в усі місяці впродовж 1961-2020 рр. спостерігається потепління, що підтверджується значущими додатними трендами середньомісячних температур повітря.

Однак такі зміни найнезначніші в січні у високогір'ях. Так, для високогірних ландшафтних смуг характерна не лише найнижча величина тренду, але окрім того вона статистично незначима (рис. 4). Натомість липень став теплішим у всіх Карпатах, особливо у Західних (рис. 4). Останнє спонукає до висновку про зміни у силі впливу атлантичної циркуляції, а відповідно у ймовірному посушінанні гірського клімату в цій частині (Kholiavchuk, 2022).

Отже, геопозиційні характеристики провін-



**Рис. 3.** Середні річні температури повітря у двох часових зрізах:  
1961-2020 рр.; 1991-2020 рр.

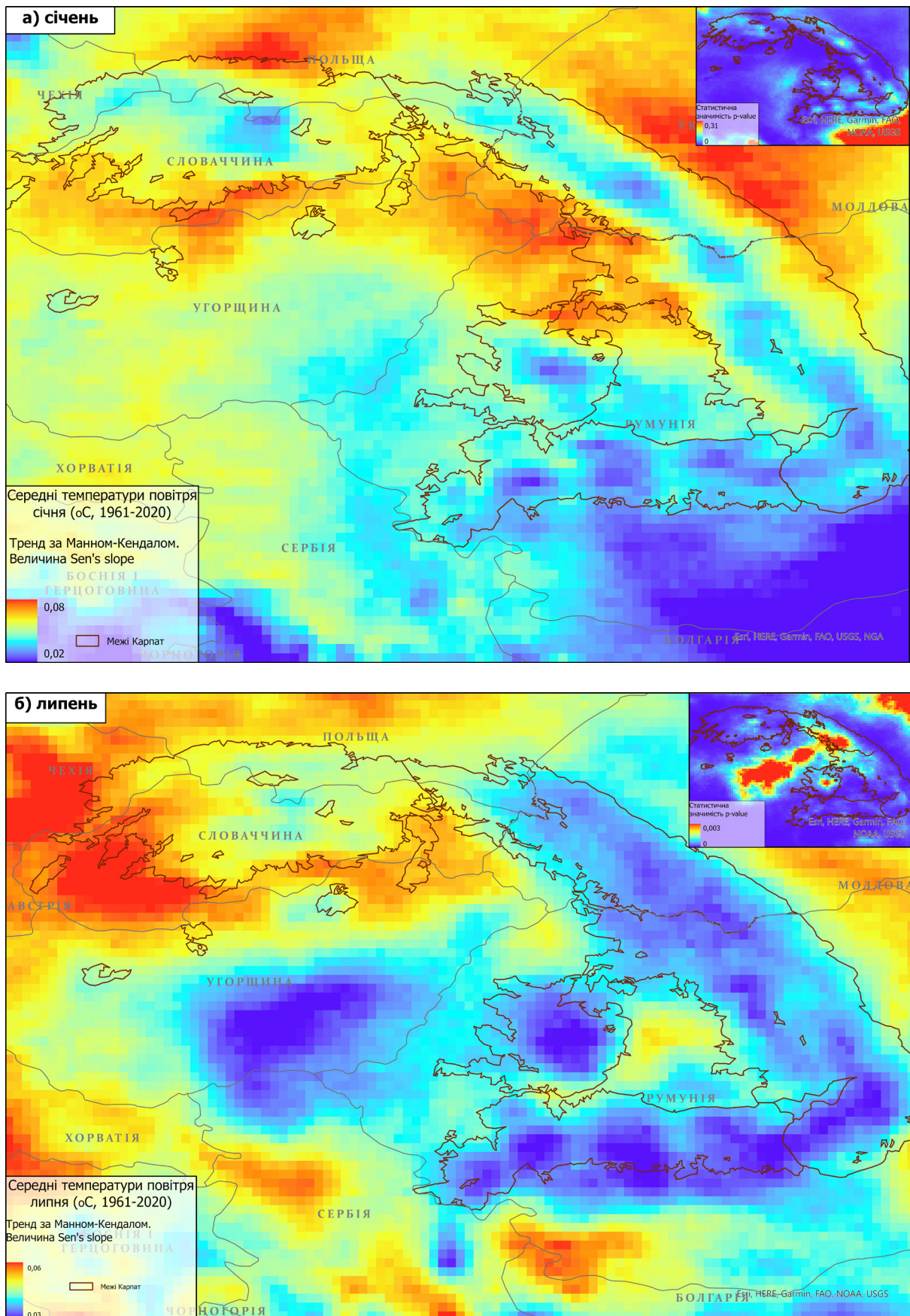


Рис. 4. Трендові зміни середньомісячних температур повітря упродовж 1961-2020 рр.:  
а) січня; б) липня.

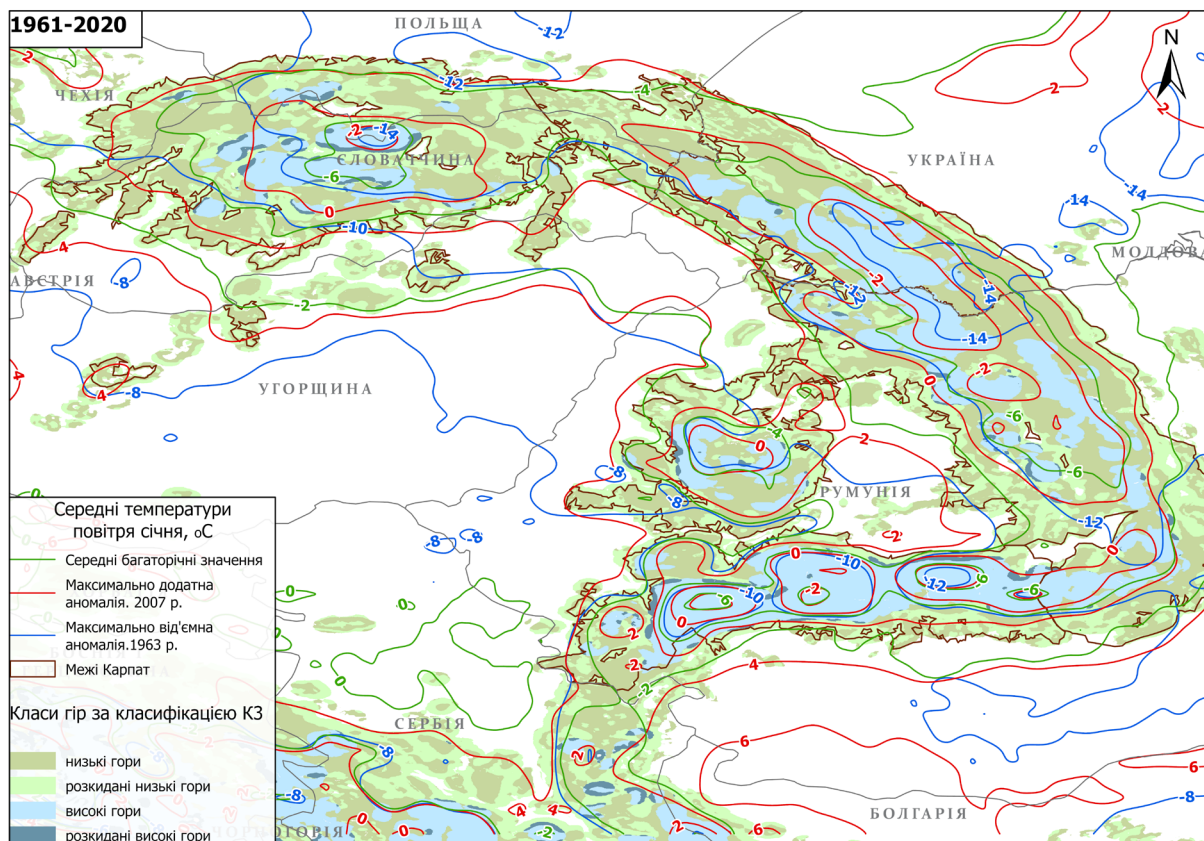


Рис. 5. Мінливість поля середніх температур повітря січня упродовж 1961-2020 рр.

цій Західних, Східних, Південних і Південно-західних Карпат визначають регіональні відмінності полів приземних температур повітря над Карпатами. Вони помітні і у мінливості розподілу температур повітря. Зокрема, значна мінливість січневих температур повітря у відносно вузькій частині Карпат характерна для Південних Карпат, що ускладнює багаторічну стабільність холодних біокліматичних смуг (рис. 5). Натомість найхолоднішими низькогірні біокліматичні смуги у січні є у Східних Карпатах, на північно-східному макросхилі зокрема, який зазнає найбільшого впливу арктичних повітряних мас. Це підтверджує висновок про найменш виражене висотно залежне потепління у Східних Карпатах (Micu et al., 2021). Micu et al. (2021) вказують, що магнітуда трендових змін з висотою найменша у цій частині Карпат і у розрізі весняних і літніх температур повітря. Наші дослідження вказують, що таке потепління мало залежне від висоти у Південних Карпатах (рис. 4.)

У Південних Карпатах найвищими є липневі температури повітря, особливо на західних і південно-східних схилах, де спостерігаються

високі додатні аномалії, які у контексті почастишання атмосферних посух (Budeanu et al., 2016; Schurman et al., 2019) можуть бути загрозливими для функціонування лісових ландшафтів. Водночас, навіть у високогірних лісових ландшафтах Західних Карпат впродовж останніх десятиліть помітний вплив дефіциту атмосферних опадів, що на тлі високих температур повітря, супутніх інвазій комах-шкідників і вітровалів спричиняє всихання смерекових лісів (Schurman et al., 2019). Однак лише у Західних Карпатах на регіональному рівні помітний ареал низьких липневих температур повітря, що уможливають розвиток альпійських і субнівальних ландшафтів (рис. 6).

Зональне положення частини Карпат, зокрема східної, між зоною широколистяних лісів і лісостепом, відображається у значних просторових коливаннях біокліматичних показників і у передгірних височинах. Такі відмінності загострюються за умов переважаючої адвекції арктичних повітряних мас на території Східних Карпат, північноатлантичних морських повітряних на території Західних Карпат і середземноморських циклонів у Південних Карпатах.



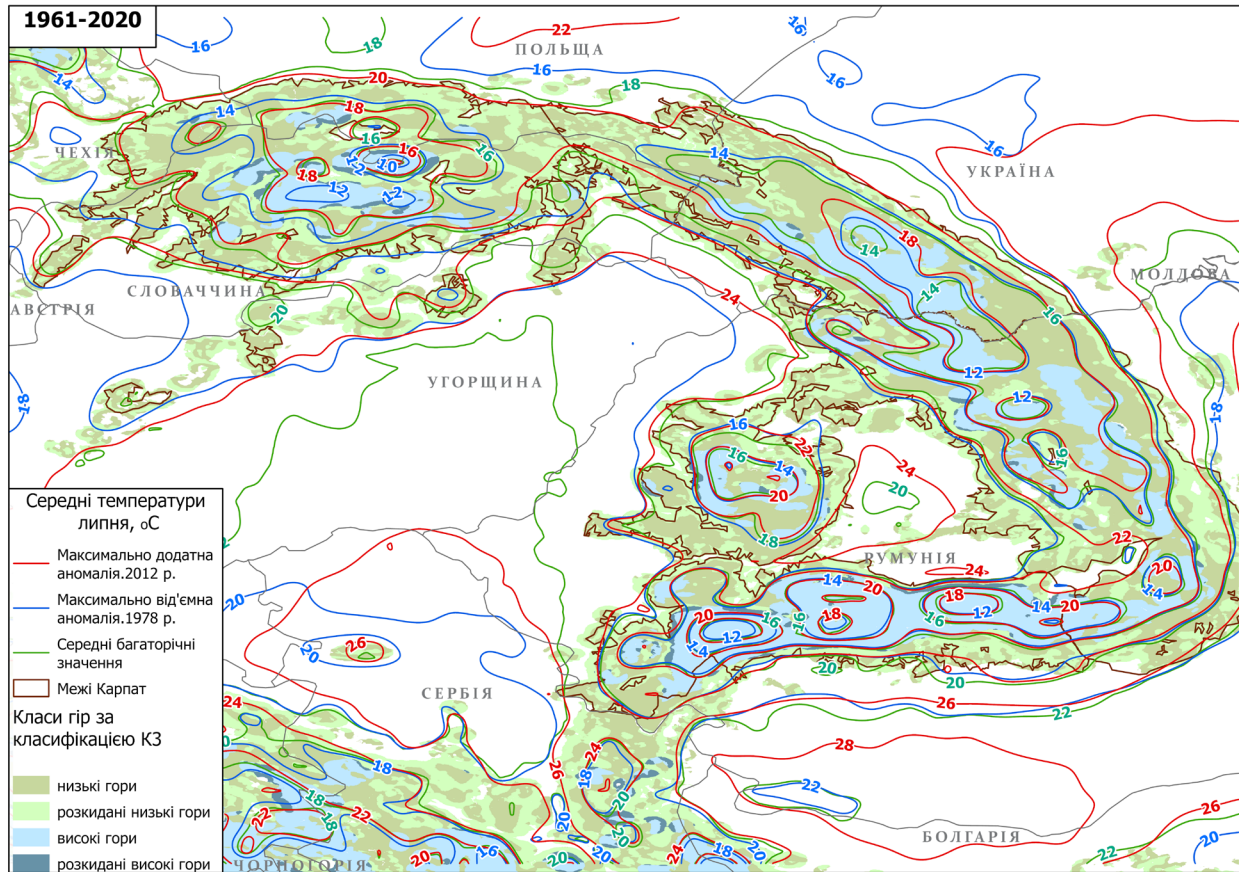


Рис. 6. Мінливість поля середніх температур повітря липня упродовж 1961-2020 рр.

Результати дослідження також вказують на короткоперіодичні міжрічні коливання біокліматичних індикаторів. Вони узгоджуються із попередніми дослідженнями за даними метеостанцій у розрізі років (Kynal & Kholiavchuk, 2016). Зокрема, вирізняються 4-, 7-9-, 18-20-річні флуктуації температур повітря. Окрім того, на межі переходу від холоднішого до теплішого періоду, як у 60-их рр. XX ст. з'являються екстремальні поля приземних температур повітря, що повторюються упродовж 2-4 років і є нетиповими для наступних періодів. До них зараховуємо патерни, коли для високогір'їв характерні дуже низькі температури повітря і деформації температурних полів поступово оконтурюють нижчі висотні ландшафтні смуги Карпати.

Починаючи з XV-XVI ст., антропогенний вплив став постійним фактором розвитку гірських ландшафтів Карпат. Тому сучасна конфігурація геоботанічних поясів, особливо верхня межа поширення лісових ландшафтів, не відповідає кліматично зумовленим межам. Водночас, зважаючи на депопуляційні процеси у поселен-

ських ландшафтах високогір'їв і середньогір'їв та відповідне зменшення площ пасовищ та сіножатей, лісові ландшафти на тлі потепління, особливо у Західних та Східних Карпатах, ймовірно, підійматимуться вище. Означені процеси необхідно враховувати в інтерпретації майбутньої динаміки нуклеарних ландшафтних регіонів.

**Висновки.** Багаторічні кліматичні сіткові дані серії ERA5-Land придатні для пояснення кліматичної мінливості Карпат на регіональному рівні, зважаючи на достатню просторову точність. Кліматична мінливість біокліматичних показників, температурних зокрема, вказує на флуктуації нуклеарних ландшафтних регіонів Карпат із послабленою симетрією флуктуацій від осі ядра у бік передгір'їв. Односпрямовані (трендові) кліматичні та антропогенні зміни сприяють сукцесії нуклеарних ландшафтних регіонів Карпат, лісових зокрема, і натомість свідчать про зменшення територій альпійських і субнівальних високогірних ландшафтів. З-поміж виокремлених біокліматичних смуг у Карпатах, мішанолісові ландшафти найстійкіші до флуктуації біо-

кліматичних показників, а тому, ймовірно, будуть найвираженішим ландшафтним регіоном Карпат нуклеарного типу.

Ідентифікація просторово-часових патернів кліматичної мінливості на прикладі температур повітря та атмосферних опадів для всіх Карпат

передбачає перспективу наших досліджень. Очікується, що такі паттерни дадуть змогу просто-риво інтерпретувати гірські ландшафти у динамічному контексті і відображати ці риси у схемах фізико-географічного районування.

### Список використаних джерел

- Гродзинський, М.Д. (2005). *Пізнання ландшафту: місце і простір: монографія*. У 2-х т. Київ, Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”. Т.2.
- Круглов І. (2008). Делімітація, метризація та класифікація морфогенних екорегіонів Українських Карпат. *Укр. геогр. журн.*, 3, 59–68.
- Українські Карпати. Цифрова ландшафтна карта (базовий масштаб 1:500 000)*. (2016-2017). Автор-укладач Т. Г. Купач, редагування – Л. Ю. Сорокіна. Укладено на основі матеріалів: А. В. Мельник, 1999; Б. П. Муха, 2003; Л. І. Воропай, В. М. Гуцуляк, М. В. Дутчак, М. М. Куниця, П. І. Чернега, 1985; Л. М. Тимуляк, 2007. Київ, Інститут географії НАН України.
- Adler, C., P.Wester, I. Bhatt, C. Huggel, G.E. Insarov, M.D. Morecroft, V. Muccione, and A. Prakash (2022). Cross-Chapter Paper 5: Mountains. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2273–2318, doi:10.1017/9781009325844.022
- Bailey, R. G. (2014). Ecoregions: The ecosystem geography of the oceans and continents. In *Ecoregions: The Ecosystem Geography of the Oceans and Continents*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0524-9>
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Birsan, M.-V., Dumitrescu, A., Micu, D. M., & Cheval, S. (2014). Changes in annual temperature extremes in the Carpathians since AD 1961. *Natural Hazards*, 74(3), 1899–1910. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1290-5>
- Budeanu, M., Petritan, A. M., Popescu, F., Vasile, D., & Tudose, N. C. (2016). The Resistance of European Beech (*Fagus sylvatica*) from the Eastern Natural Limit of Species to Climate Change. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(2), 625–633. <https://doi.org/10.15835/nbha44210262>
- Dobiński, W. (2005). Permafrost of the Carpathian and Balkan Mountains, eastern and southeastern Europe. *Permafrost and Periglacial Processes*, 16(4), 395–398. <https://doi.org/10.1002/ppp.524>
- Fisher, M. R., Dorsner, K., Geddes, A., Theis, T., & Tomkin, J. (2018). *Environmental biology*. Open Oregon Educational Resources
- Hess M (1965) Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich [Vertical climatic zones in the Polish Western Carpathians]. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne* 11, 1–267 [in Polish]
- Hess M (1971) Piętra klimatyczne w Karpatach Północnych i Południowych i ich charakterystyka termiczna [Vertical climatic zones in north and south Carpathians and their thermic characteristics]. *Folia Geogr Ser Geogr Phy Kraków*, 5, 15–23 [in Polish]
- Hlásny, T., Trombik, J., Dobor, L., Barcza, Z., & Barka, I. (2016). Future climate of the Carpathians: climate change hot-spots and implications for ecosystems. *Regional Environmental Change*, 16(5), 1495–1506. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0890-2>
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the IPCC Sixth Assessment Report. *SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6)*.
- Kholiavchuk, D. (2022). Changes in the atmospheric circulation types over western Ukraine in the 20th-21st centuries. *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Geografiya* [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography], 3/4 (84/85), 39-45 (in English, abstr. in Ukrainian), DOI: 10.17721/1728-2721.2022.85.2
- Kholiavchuk, D., & Cebulska, M. (2019). The highest monthly precipitation in the area of the Ukrainian and the Polish Carpathian Mountains in the period from 1984 to 2013. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(3–4), 1615–1628. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02910-z>
- Kynal, O., & Kholiavchuk, D. (2016). Climate variability in the mountain river valleys of the Ukrainian Carpathians. *Quaternary International*, 415, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.053>
- Micu, D. M., Dumitrescu, A., Cheval, S., Nita, I.-A., & Birsan, M.-V. (2021). Temperature changes and elevation-warming relationships in the Carpathian Mountains. *International Journal of Climatology*, 41(3), 2154–2172. <https://doi.org/10.1002/joc.6952>
- Muñoz Sabater, J. (2019). *ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present*. Copernicus Climate Change Service

- (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.68d2bb30
- Niedźwiedz, T. (2012). Climate. In M. and K. A. Lóczy Dénes and Stankoviansky (Ed.), *Recent Landform Evolution: The Carpatho-Balkan-Dinaric Region* (pp. 19–29). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2448-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2448-8_2)
- Pepin, N. C., Arnone, E., Gobiét, A., Haslinger, K., Kotlarski, S., Notarnicola, C., Palazzi, E., Seibert, P., Serafin, S., Schöner, W., Terzago, S., Thornton, J. M., Vuille, M., & Adler, C. (2022). Climate Changes and Their Elevational Patterns in the Mountains of the World. In *Reviews of Geophysics* (Vol. 60, Issue 1). <https://doi.org/10.1029/2020RG000730>
- Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, H. Adams ... Z. Zaiton Ibrahim (2022). Technical Summary. [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösckke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösckke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118, doi:10.1017/9781009325844.002.
- Ronikier, M. (2011). Biogeography of high-mountain plants in the Carpathians: An emerging phylogeographical perspective. In *Taxon* (Vol. 60, Issue 2). <https://doi.org/10.1002/tax.602008>
- Sayre, R. (2014). A New Map of Global Ecological Land Units — An Ecophysiographic Stratification Approach. *A New Map of Global Ecological Land Units — An Ecophysiographic Stratification Approach*.
- Sayre, R., Frye, C., Karagulle, D., Krauer, J., Breyer, S., Aniello, P., Wright, D. J., Payne, D., Adler, C., Warner, H., Vansistine, D. P., & Cress, J. (2018). A new high-resolution map of world mountains and an online tool for visualizing and comparing characterizations of global mountain distributions. *Mountain Research and Development*, 38(3). <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00107.1>
- Schurman, J. S., Babst, F., Björklund, J., Rydval, M., Bače, R., Čada, V., Janda, P., Mikolas, M., Saulnier, M., Trotsiuk, V., & Svoboda, M. (2019). The climatic drivers of primary Picea forest growth along the Carpathian arc are changing under rising temperatures. *Global Change Biology*, 25(9), 3136–3150. <https://doi.org/10.1111/gcb.14721>
- Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S., & Lakyda, P. (2017). Vulnerability of Ukrainian forests to climate change. *Sustainability (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/su9071152>
- Walanus, A., Cebulska, M., & Twardosz, R. (2021). Long-Term Variability Pattern of Monthly and Annual Atmospheric Precipitation in the Polish Carpathian Mountains and Their Foreland (1881–2018). *Pure and Applied Geophysics*, 178(2), 633–650. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02663-9>
- Wouters, H., (2021). Downscaled bioclimatic indicators for selected regions from 1979 to 2018 derived from reanalysis. Copernicus Climate Change Service (C3S) *Climate Data Store* (CDS). DOI: 10.24381/cds.fe90a594

## References

- Adler, C., P.Wester, I. Bhatt, C. Huggel, G.E. Insarov, M.D. Morecroft, V. Muccione, and A. Prakash (2022). Cross-Chapter Paper 5: Mountains. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösckke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2273–2318, doi:10.1017/9781009325844.022
- Bailey, R. G. (2014). Ecoregions: The ecosystem geography of the oceans and continents. In *Ecoregions: The Ecosystem Geography of the Oceans and Continents*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0524-9>
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Birsan, M.-V., Dumitrescu, A., Micu, D. M., & Cheval, S. (2014). Changes in annual temperature extremes in the Carpathians since AD 1961. *Natural Hazards*, 74(3), 1899–1910. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1290-5>
- Budeanu, M., Petritan, A. M., Popescu, F., Vasile, D., & Tudose, N. C. (2016). The Resistance of European Beech (*Fagus sylvatica*) from the Eastern Natural Limit of Species to Climate Change. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(2), 625–633. <https://doi.org/10.15835/nbha44210262>
- Dobiński, W. (2005). Permafrost of the Carpathian and Balkan Mountains, eastern and southeastern Europe. *Permafrost and Periglacial Processes*, 16(4), 395–398. <https://doi.org/10.1002/ppp.524>
- Fisher, M. R., Dorsner, K., Geddes, A., Theis, T., & Tomkin, J. (2018). *Environmental biology*. Open Oregon Educational Resources.
- Hess M (1965) Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich [Vertical climatic zones in the Polish Western Carpathians]. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne* 11, 1–267 [in Polish]
- Hess M (1971) Piętra klimatyczne w Karpatach Północnych i Południowych i ich charakterystyka termiczna [Vertical climatic zones in north and south Carpathians and their thermic characteristics]. *Folia Geogr Ser Geogr Phy Kraków*, 5, 15–23 [in Polish]
- Hlásny, T., Trombik, J., Dobor, L., Barcza, Z., & Barka, I. (2016). Future climate of the Carpathians: climate change hotspots and implications for ecosystems. *Regional Environmental Change*, 16(5), 1495–1506. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-0700-0>

- org/10.1007/s10113-015-0890-2
- Hrodzynskiy, M.D. (2005). *Piznannia landshaftu: mistse i prostir: monohrafiia*. [Knowledge of the landscape: place and space: Monograph] U 2-kh t. Kyiv, Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr “Kyivskiy universytet”. T.2. [in Ukrainian]
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the IPCC Sixth Assessment Report. *SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6)*.
- Kholiavchuk, D. (2022). Changes in the atmospheric circulation types over western Ukraine in the 20th-21st centuries. *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Geografiya* [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography], 3/4 (84/85), 39-45 (in English, abstr. in Ukrainian), DOI: 10.17721/1728-2721.2022.85.2
- Kholiavchuk, D., & Cebulska, M. (2019). The highest monthly precipitation in the area of the Ukrainian and the Polish Carpathian Mountains in the period from 1984 to 2013. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(3–4), 1615–1628. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02910-z>
- Kruhlov I. (2008). Delimitatsiia, metryzatsiia ta klasyfikatsiia morfohennykh ekorehioniv Ukrainskykh Karpat. [Belimitation, metrisation and classification of morphogenic ecoregions for the Ukrainian Carpathians]. *Ukr. heohr. zhurn.*, 3, 59–68. [in Ukrainian]
- Kynal, O., & Kholiavchuk, D. (2016). Climate variability in the mountain river valleys of the Ukrainian Carpathians. *Quaternary International*, 415, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.053>
- Micu, D. M., Dumitrescu, A., Cheval, S., Nita, I.-A., & Birsan, M.-V. (2021). Temperature changes and elevation-warming relationships in the Carpathian Mountains. *International Journal of Climatology*, 41(3), 2154–2172. <https://doi.org/10.1002/joc.6952>
- Muñoz Sabater, J. (2019). *ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present*. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.68d2bb30
- Niedźwiedz, T. (2012). Climate. In M. and K. A. Lóczy Dénes and Stankoviansky (Ed.), *Recent Landform Evolution: The Carpatho-Balkan-Dinaric Region* (pp. 19–29). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2448-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2448-8_2)
- Pepin, N. C., Arnone, E., Gobiet, A., Haslinger, K., Kotlarski, S., Notarnicola, C., Palazzi, E., Seibert, P., Serafin, S., Schöner, W., Terzago, S., Thornton, J. M., Vuille, M., & Adler, C. (2022). Climate Changes and Their Elevational Patterns in the Mountains of the World. In *Reviews of Geophysics*, 60 (1). <https://doi.org/10.1029/2020RG000730>
- Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, H. Adams ... Z. Zaiton Ibrahim (2022). Technical Summary. [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösche, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118, doi:10.1017/9781009325844.002.
- Ronikier, M. (2011). Biogeography of high-mountain plants in the Carpathians: An emerging phylogeographical perspective. In *Taxon*, 60(2). <https://doi.org/10.1002/tax.602008>
- Sayre, R. (2014). A New Map of Global Ecological Land Units – An Ecophysiological Stratification Approach. *A New Map of Global Ecological Land Units – An Ecophysiological Stratification Approach*.
- Sayre, R., Frye, C., Karagulle, D., Krauer, J., Breyer, S., Aniello, P., Wright, D. J., Payne, D., Adler, C., Warner, H., Vansistine, D. P., & Cress, J. (2018). A new high-resolution map of world mountains and an online tool for visualizing and comparing characterizations of global mountain distributions. *Mountain Research and Development*, 38(3). <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00107.1>
- Schurman, J. S., Babst, F., Björklund, J., Rydval, M., Bače, R., Čada, V., Janda, P., Mikolas, M., Saulnier, M., Trotsiuk, V., & Svoboda, M. (2019). The climatic drivers of primary Picea forest growth along the Carpathian arc are changing under rising temperatures. *Global Change Biology*, 25(9), 3136–3150. <https://doi.org/10.1111/gcb.14721>
- Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S., & Lakyda, P. (2017). Vulnerability of Ukrainian forests to climate change. *Sustainability (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/su9071152>
- Ukrainski Karpaty. Tsyfrova landshaftna karta (bazovyi masshtab 1:500000)*. (2016-2017) [The Ukrainian Carpathians. Digital landscape map (basic scale 1:500000)]. Avtor-ukladach T. H. Kupach, redahuvannia – L. Yu. Sorokina. Ukladeno na osnovi materialiv: A. V. Melnyk, 1999; B. P. Mukha, 2003; L. I. Voropai, V. M. Hutsuliak, M. V. Dutchak, M. M. Kynytsia, P. I. Cherneha, 1985; L. M. Tymuliak, 2007. Kyiv, Instytut heohrafi NAN Ukrainy. [in Ukrainian].
- Walanus, A., Cebulska, M., & Twardosz, R. (2021). Long-Term Variability Pattern of Monthly and Annual Atmospheric Precipitation in the Polish Carpathian Mountains and Their Foreland (1881–2018). *Pure and Applied Geophysics*, 178(2), 633–650. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02663-9>
- Wouters, H., (2021). *Downscaled bioclimatic indicators for selected regions from 1979 to 2018 derived from reanalysis*. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.fe90a594

Статтю надіслано до редколегії 13.11.2023 р.