

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 502:517

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-66-74

І. Я. Климчук, Л. М. Архипова
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН КЛІМАТУ В КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ: НАСЛІДКИ ТА ВИКЛИКИ ДЛЯ ГІРСЬКОЛИЖНИХ КУРОРТІВ

Зміна клімату – це глобальне явище, яке має значний вплив на екосистеми та природні ресурси. Карпатський регіон, розташований у Центральній Європі, є особливо вразливим до наслідків зміни клімату, враховуючи його різноманітні екосистеми, включаючи ліси, гори та річки, а також залежність від цих ресурсів для його соціально-економічного розвитку. Це дослідження вивчає вплив зміни клімату на Карпатський регіон за останні 40 років. Особлива увага приділена змінам клімату на різних висотах.

Використовуючи дані з численних метеорологічних та гідрологічних станцій Карпатського регіону, проаналізовано зміни температури та опадів, зокрема на різних висотах. Аналіз показав, що в регіоні спостерігається загальне потепління, за майже 40 років температура в регіоні зросла на 2,4°C та зменшення кількості опадів із загальним зменшенням за майже 40 років на 117 мм. Висувається припущення, що ці зміни можуть суттєво вплинути на потік водних джерел у регіоні, оскільки в районах з низькою кількістю опадів і високими температурами спостерігається зниження доступності води.

Зменшення доступності води може мати серйозні наслідки для соціально-економічного розвитку Карпатського регіону, особливо в туристичному і сільськогосподарському секторі, які значною мірою залежать від водних ресурсів. Крім того, зміни у водному потоці можуть вплинути на природні екосистеми регіону, які вже перебувають під тиском людської діяльності та змін у землекористуванні.

Дослідження підкреслює важливість використання передових технологій, таких як супутниковий збір даних для моніторингу довкілля. Результати цього дослідження свідчать про те, що супутниковий збір даних є більш точним, достовірним і ефективним методом збору даних, ніж традиційні наземні вимірювання та дані отримані з найближчих метеостанцій.

Ключові слова: Карпатський регіон, зміни клімату, опади, температура, тренд, різні висоти.

Постановка проблеми: Карпатський регіон є життєво важливою екосистемою, яка підтримує низку туристичних, сільськогосподарських та екологічних систем. Однак цей регіон стикається із загрозою зміни клімату, яка спричиняє значні зміни температури, кількості опадів та структури водних потоків. Проблема полягає в тому, що ці зміни призводять до зменшення потоку води та її доступності, особливо в районах з низькою кількістю опадів і високими температурами. Це має серйозні наслідки для туристичних, сільськогосподарських та екологічних систем, а також для населення, яке залежить від цих ресурсів. Незважаючи на важливість цього питання, існує невелика кількість досліджень щодо впливу зміни клімату на водні ресурси в Карпатському регіоні. Тому існує потреба дослідити вплив зміни клімату на водні ресурси в цьому регіоні, щоб розробити ефективні стратегії моніторингу та управління цими ресурсами в контексті триваючої зміни клімату. Це дослідження має на меті заповнити цю критичну прогалину в знаннях, проаналізувавши зміни температури, кількості опадів за останні 40 років.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив зміни клімату на водні ресурси в гірських регіонах стає все більш важливою темою досліджень в останні роки. Огляд останніх досліджень і

публікацій на цю тему свідчить про те, що зростає кількість доказів, які вказують на те, що зміна клімату має значний вплив на доступність і якість водних ресурсів у гірських регіонах, зокрема в Карпатах.

Одним з досліджень, яке виділяється, є робота Молдован І.А. та її колег (2020), які використовували супутникові дані для аналізу змін снігового покриву і танення льодовиків у Карпатах. Вони виявили, що сніговий покрив зменшувався протягом останніх кількох десятиліть, що призвело до змін у часі та величині водного потоку в гірських річках. Вони також виявили, що танення льодовиків стає все більш важливим джерелом води в регіоні, що має наслідки для управління та планування водних ресурсів.

Ще одним помітним дослідженням є робота Овсепяна А. та його колег (2021), які досліджували вплив зміни клімату на водні ресурси у Вірменському нагір'ї, що має багато спільного з Карпатами. Вони виявили, що за останні кілька десятиліть у регіоні спостерігається зменшення кількості опадів і підвищення температури, що призвело до змін у доступності та якості води. Вони також виявили, що регіон вразливий до посух і дефіциту води, що має наслідки для сільськогосподарства і населених пунктів [6].

Крім того, з'являється все більше досліджень, які зосереджуються на соціальному та економічному впливі зміни клімату на гірські регіони. Наприклад, у дослідженні Такаакі К. [7] з колегами (2020) вивчався вплив зміни клімату на туристичну галузь в японських Альпах. Вони виявили, що зміни снігового покриву та погодних умов призвели до занепаду гірськолижного туризму, що мало економічні та соціальні наслідки для гірських громад.

Загалом, ці дослідження підкреслюють нагальну потребу в удосконаленні стратегій моніторингу, управління та адаптації до впливу зміни клімату на водні ресурси в гірських регіонах, зокрема в Карпатах. Вони також підкреслюють важливість міждисциплінарних досліджень, які враховують як фізичні, так і соціальні аспекти цього критичного питання.

Мета та завдання роботи. Мета роботи полягає в оцінці змін клімату в Карпатському регіоні.

Основним завданням даної роботи є збір і аналіз ключових метеорологічних даних, таких як температура повітря та кількість опадів за майже 40 років, та виявлення різноманітних залежностей впливу кліматичних показників на дебіт природних водних джерел. Пошук найточнішого методу збору даних.

Викладення основного матеріалу. Паризька угода 2015 року встановлює глобальні рамки для обмеження рівня глобального потепління значно нижче 2°C, переважно до 1,5°C (градусів Цельсія), порівняно з доіндустріальним рівнем. Для досягнення цієї глобальної температурної мети країни прагнуть якнайшвидше скоротити зростання викидів парникових газів, а потім швидко скорочувати їх, ґрунтуючись на найкращих наявних наукових даних, економічній та соціальній доцільності [8].

Наслідки зміни клімату вже добре помітні щодо підвищення температури повітря, танення льодовиків і зменшення полярних крижаних шапок, підвищення рівня моря, посилення опустелювання, а також по екстремальних погодних явищах, таких як хвилі спеки, посухи, повені і шторми. Зміна клімату не є глобально рівномірною та впливає на деякі регіони більше, ніж на інші. На наступних діаграмах представлено, як зміна клімату вплинула на досліджувані пункти за останні 40 років, як джерело даних використовується ERA5, атмосферний реаналіз глобального клімату п'ятого покоління ECMWF, що охоплює часовий діапазон з 1979 по 2021 рік з просторовою роздільною здатністю 30 км [1].

Мікроклімати та місцеві відмінності не відображаються. Тому температура часто буде вищою, ніж показано на екрані, особливо в містах, а кількість опадів може змінюватись в залежності від рельєфу місцевості.

Для збору даних і їх аналізу використовувався сервіс Meteoblue. Meteoblue використовує передові технології для створення, відображення та розповсюдження даних про погоду. Meteoblue обчислює запатентовані моделі симуляції погоди з високою роздільною здатністю. Важливо, що жодна модель погоди (її також називають «автономною» або «необробленою») не є ідеальною. Залежно від погодної ситуації, місця розташування, пори року чи навіть часу доби один прогноз може бути точнішим за інший [1].

Щоб краще зрозуміти масштаби кліматичних змін у Карпатському регіоні, було зібрано кліматичні дані у 20 різних точках на різних висотах, зокрема, акцентовано увагу на температурі та рівню опадів за останні кілька десятиліть, щоб виявити будь-які значні зміни в кліматичних

показниках. На меті було дізнатися різницю зміни клімату на різноманітних висотах, особливо на вершинах Карпатських гір та в підніжжі рис.1 [2].

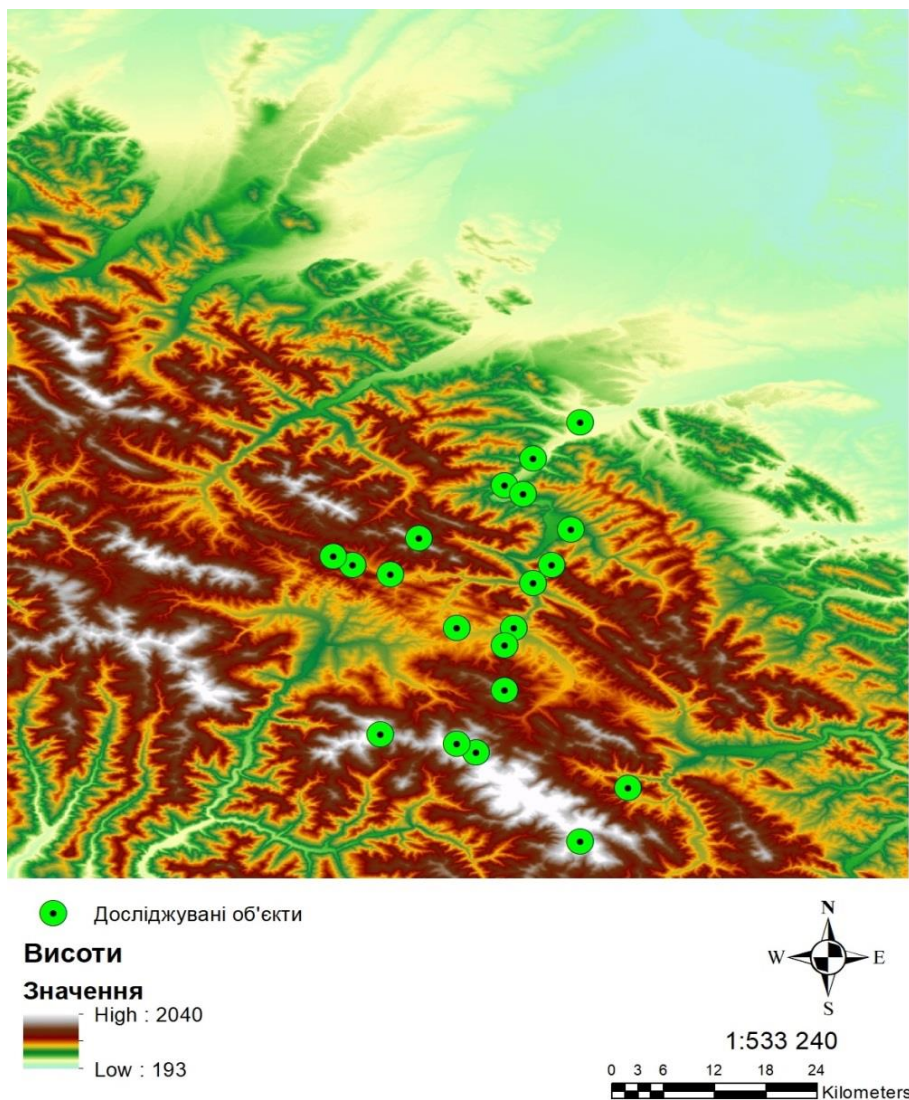


Рис. 1. Карта абсолютних висот досліджуваної території з точками аналізу метеорологічних параметрів

Результати дослідження виявили чітку тенденцію до підвищення температури та зменшення кількості опадів у регіоні за останні кілька десятиліть. Це викликає занепокоєння, оскільки має значні наслідки для доступності та якості водних ресурсів у регіоні, що, в свою чергу, впливає на туристичну сферу та інші аспекти місцевої економіки [10].

Проаналізовані метеорологічні дані, наведені в табл. 1, на початку та наприкінці тренду, надали можливість отримання кількісних параметрів змін температури та опадів у часі в кожному з 20 пунктів спостережень за 40 років.

Аналіз залежності змін клімату від висоти місцевості не виявив суттєвих закономірностей. Отже, для більш детального аналізу розглянемо територію найбільшого гірськолижного курорту Буковель, що знаходиться в Івано-Франківській області.

Буковель, розташований в українських Карпатах, є одним з найпопулярніших туристичних напрямків у регіоні [11]. Завдяки своєму стратегічному розташуванню, Буковель був обраний як місце для збору даних про зміну клімату в Карпатському регіоні. Також проаналізувавши метеорологічні дані інших популярних туристичних місць в регіоні, було визначено, що подібна ситуація спостерігалася і в інших місцях, де проводився аналіз даних [3].

Дані, зібрані в Буковелі, виявили тенденцію до підвищення температури та зменшення кількості опадів, що збігається з результатами, отриманими в інших місцях регіону. Це підкреслює масштаби зміни клімату в Карпатах і необхідність постійного моніторингу та досліджень для кращого розуміння його впливу на екосистему та природні ресурси регіону [4].

Таблиця 1

Кількісні показники зміни середньорічної температури повітря та річної суми опадів за 40 років на різних абсолютних висотах в Карпатському регіоні

№	Місце дослідження	Висота, м.н.р.м.	Середньорічна температура за 1979-2021 рр., С°			Середньорічні опади за 1979-2021 рр., мм.		
			початок тренду, С°	кінець тренду, С°	ріст темп. за 40 років, на С°	початок тренду, мм	кінець тренду, мм	зменшення річної суми опадів, мм
1	Яремче	580	6	8,3	2,3	1051,1	942,4	108,7
2	Делятин	419	6	8,3	2,3	1051,1	942,4	108,7
3	Микуличин	716	4,50	7	2,5	1255,9	1070,8	185,1
4	г.Синяк	1613	2,9	5,4	2,5	1484,4	1373,6	110,8
5	Дземброня	917	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
6	г.Пожижевськ	1794	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
7	Вороненко	920	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
8	г.Кукул	1526	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
9	Ямна	600	6	8,3	2,3	1051,1	942,4	108,7
10	Буковель	1163	2,9	5,4	2,5	1484,4	1373,6	110,8
11	г. Довга	1295	3,3	5,8	2,5	1376,1	1226,6	149,5
12	г. Петрос	2020	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
13	Ворохта	850	4,5	7	2,5	1255,9	1170,8	85,1
14	Поляниця	878	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
15	г. Ягідна	1168	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
16	Дора	481	6,5	8,8	2,3	999,6	921,4	78,2
17	г. Говерла	2061	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
18	г. Осередок	887	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
19	г. Піп Іван	2022	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
20	Татарів	685	5,3	7,7	2,4	1110,6	989,6	121

На верхньому графіку рис. 2 показано відхилення середньомісячних температур червня від середньобагаторічної норми для кожного місяця (Червня) з 1979 року до теперішнього часу. Аномалія показує, наскільки місяць був теплішим або холоднішим за середній кліматичний показник за більше ніж 43 роки (1979-2022 рр.). Таким чином, червоні місяці були теплішими, а сині - холоднішими ніж норми. У більшості місць із роками спостерігається збільшення кількості теплих місяців, що відображає глобальне потепління, пов'язане зі зміною клімату.

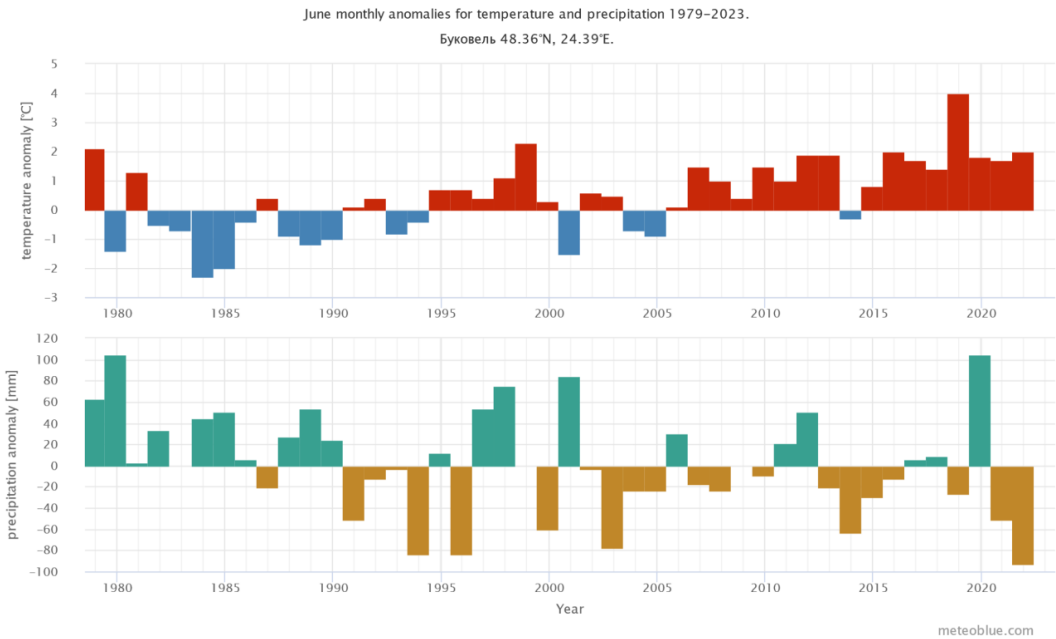


Рис. 2. Відхилення середньомісячної температури та суми опадів за червень в період 1979-2022 року від середньобагаторічного значення

На нижньому графіку рис. 2 показано відхилення місячних червневих сум опадів від середньобаторічної норми для кожного місяця (Червня) з 1979 року до теперішнього часу. Аномалія показує, у якому місяці випало більше чи менше опадів, ніж у середньому за 43 роки 1979-2022 років. Таким чином, зелені місяці були більш мокрими, а коричневі - більш сухими, ніж зазвичай [5].

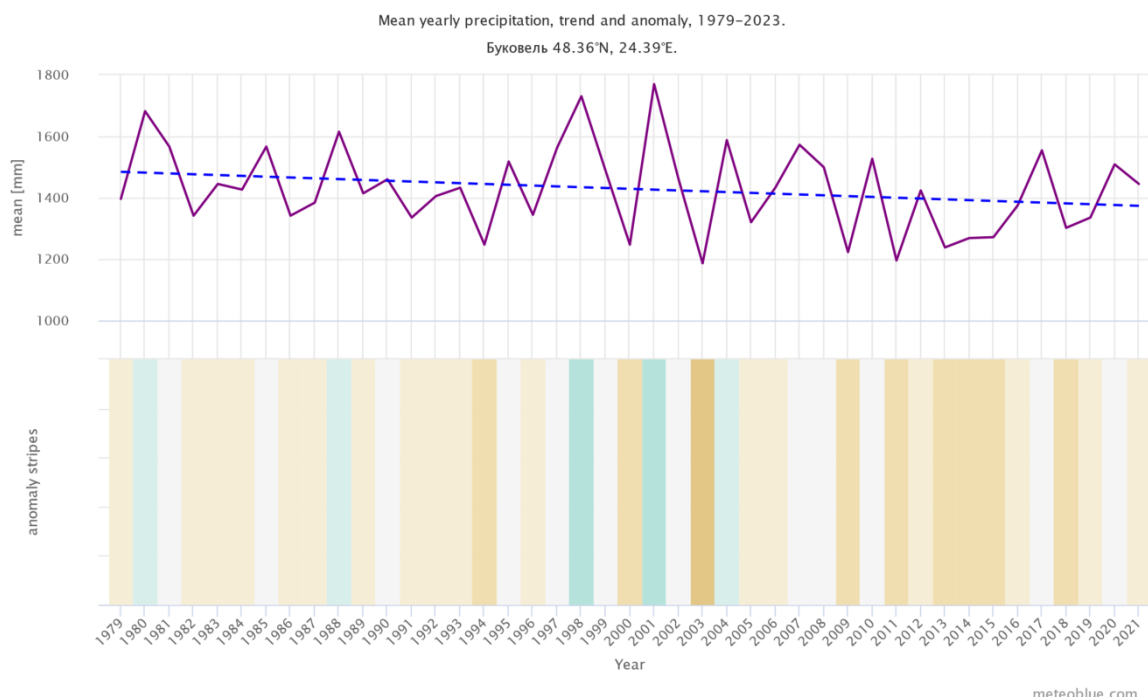


Рис. 3. Лінія тренду зміни кількості опадів в період 1979-2022 року

Таким чином, можемо візуально спостерігати збільшення температури повітря та зниження кількості опадів на прикладі місяця червня за останні 43 роки.

На верхньому графіку рис. 3 показано оцінку середньої кількості опадів для великого регіону Буковель. Пунктирна синя лінія – це лінійна тенденція зміни клімату. Якщо лінія тренду йде вгору ліворуч, то тенденція випадання опадів позитивна і в Буковелі стає вологіше через зміну клімату. Якщо лінія горизонтальна, то чіткої тенденції не видно, а якщо вона йде вниз, то умови в Буковелі згодом стають сушішими.

У нижній частині графіка рис. 3 показані кольором смуги опадів. Кожна кольорова смуга є загальною кількістю опадів за рік: синя - більш мокрі роки, червона - більш сухі.

Таким чином, бачимо, що лінійна тенденція зміни клімату вказує на зменшення опадів і збільшення посушливих років.

На верхньому графіку рис.4 показано оцінку середньорічної температури для великого регіону Буковель. Пунктирна синя лінія – це лінійна тенденція зміни клімату. Якщо лінія тренду піднімається зліва направо, то тенденція зміни температури позитивна і в Буковелі стає тепліше через зміну клімату. Якщо лінія горизонтальна, то чіткої тенденції не видно, а якщо вона йде вниз, то умови в Буковелі згодом стають холоднішими.

У нижній частині графіка рис.3 показані кольором смуги потепління. Кожна кольорова смуга є середньою температурою за рік: синя - більш холодні роки, червона - більш теплі.

На графіку, що представляє зібрані кліматичні дані з Буковелю, простежується чітка тенденція до підвищення середньорічної температури повітря за останні кілька десятиліть. Це тривожна тенденція, оскільки вона свідчить про вплив зміни клімату на Карпатський регіон.

Наступний графік рис.5, який ілюструє середньомісячні зміни температури повітря та кількості опадів протягом досліджуваного періоду. Графік розділений на дві частини: верхня частина відображає зміни температури, а нижня - зміни опадів.

Дивлячись на зміни температури, очевидно, що графік показує чітку тенденцію до підвищення температури протягом 40-річного періоду дослідження. Лінійний графік відображає середньомісячну зміну температури за ці роки, і видно, що найвищі зміни температури відбуваються в літні місяці червень, липень і серпень, тоді як найнижчі зміни температури

відбуваються в зимові місяці грудень, січень і лютий. Середньомісячне підвищення температури становить приблизно 0,1-0,3°C за десятиліття, з більш значним підвищенням на 1,2-1,5°C протягом літніх місяців.

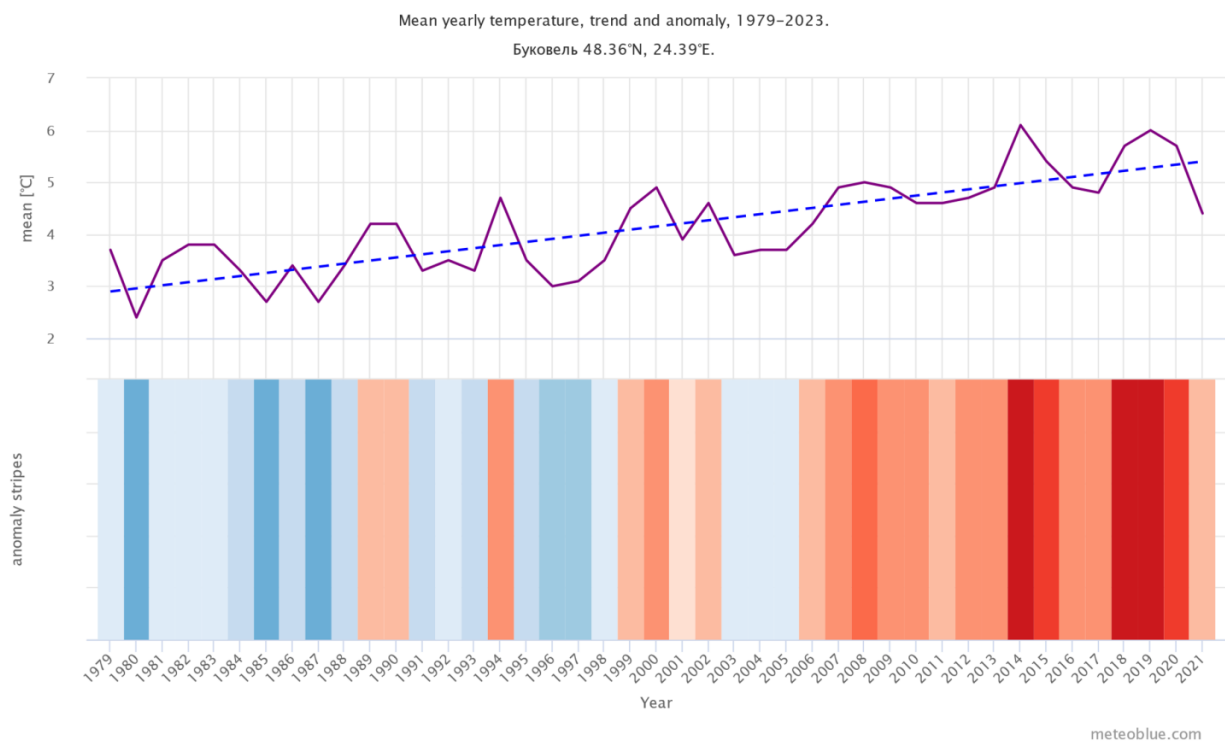


Рис. 4. Збільшення середньорічної температури впродовж 1979-2022 років

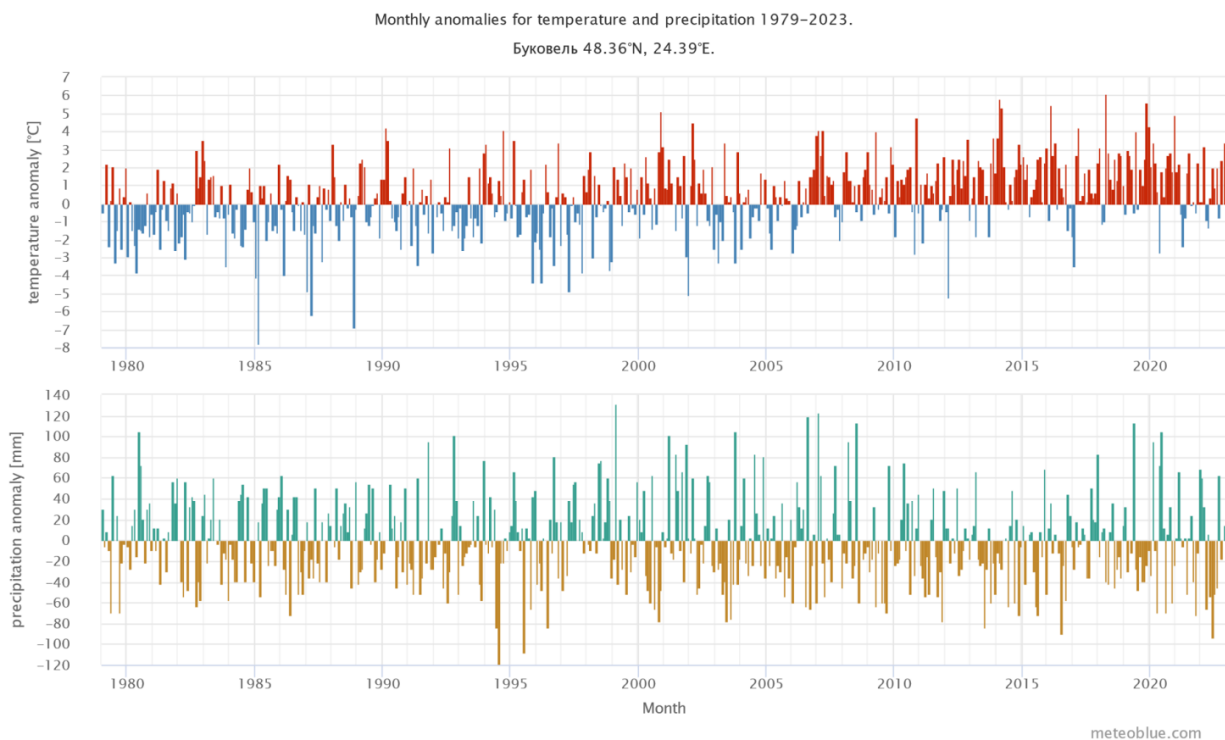


Рис. 5. Середньомісячна аномалія зміни температури та опадів впродовж 1979-2022 років

З іншого боку, нижня частина графіка показує зміни кількості опадів за той самий досліджуваний період. Графік ілюструє чітку тенденцію до зменшення кількості опадів у Карпатському регіоні протягом досліджуваного періоду. Лінійний графік відображає середньомісячні зміни кількості опадів, і видно, що найбільші зміни кількості опадів відбуваються у весняні місяці березень, квітень і травень, тоді як найменші зміни кількості опадів відбуваються

у літні місяці червень, липень і серпень. Середньомісячне зменшення кількості опадів становить приблизно 2-3 мм за десятиліття, з більш значним зменшенням на 15-20 мм протягом літніх місяців.

Таким чином, графік на рис. 4 дає візуальне уявлення про середньомісячні зміни температури повітря та кількості опадів у Карпатському регіоні за 40-річний період. Графік показує, що за досліджуваний період спостерігається загальне підвищення температури та зменшення кількості опадів. Ці зміни можуть мати значний вплив на екосистеми та природні ресурси регіону, а також на соціально-економічний розвиток території.

Потепління та зменшення кількості опадів у Карпатському туристичному регіоні створює значні наслідки та виклики для гірськолижних курортів. Зменшення снігового покриву може призвести до скорочення гірськолижного сезону, що зменшить доходи та можливості працевлаштування для місцевої економіки. Гірськолижним курортам, можливо, доведеться більше покладатися на штучне виробництво снігу, що може бути дорогим та екологічно нестійким. Туристи також можуть змінити свої вподобання на інші види зимового відпочинку або обрати гірськолижні курорти в інших регіонах, що призведе до скорочення туризму в Карпатському туристичному регіоні. Крім того, наслідки зміни клімату можуть спричинити зміни природних ландшафтів та екосистем у цьому регіоні [12].

Для вирішення цих проблем гірськолижні курорти повинні розробити стратегії адаптації, такі як диверсифікація своєї діяльності, інвестиції в технології штучного засніження та просування альтернативних туристичних продуктів [13].

Висновки. Отже, це дослідження підкреслює значний вплив зміни клімату на Карпатський регіон Центральної Європи. Аналіз метеорологічних і гідрологічних даних з регіону показує, що за період 1979-2022 років температура в ньому підвищилася на 2,4°C, а кількість опадів за цей же період зменшилася на 117 мм. Ці кліматичні зміни мають однаковий суттєвий вплив на різних висотах. Такі зміни, особливо в районах з низькою кількістю опадів і високими температурами, можуть призвести до зменшення доступності води, що можуть мати наслідки для соціально-економічного розвитку регіону, особливо в туристичному та сільськогосподарському секторах.

Результати цього дослідження також свідчать про те, що зміни можуть вплинути на природні екосистеми регіону, які вже перебувають під тиском людської діяльності та змін у землекористуванні. Тому вкрай важливо вжити заходів для пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації до його впливу, щоб захистити природні екосистеми регіону та забезпечити соціально-економічний розвиток Карпатського регіону.

Це дослідження підкреслює важливість використання передових технологій, таких як збір супутникових даних для моніторингу навколишнього середовища. Результати показують, що супутниковий збір даних є більш точним, надійним та ефективним методом збору даних, ніж традиційні наземні вимірювання та дані, отримані з найближчих метеостанцій. Використання супутникових даних може покращити наше розуміння впливу зміни клімату на Карпатський регіон і допомогти розробити ефективні стратегії адаптації.

Отже, це дослідження підкреслює нагальну потребу вжити заходів для вирішення проблеми зміни клімату в Карпатському регіоні і в цілому. Це включає реалізацію заходів зі скорочення викидів парникових газів, розробку стратегій адаптації для пом'якшення впливу зміни клімату на природні екосистеми та соціально-економічний розвиток регіону, а також використання передових технологій моніторингу довкілля для покращення нашого розуміння наслідків зміни клімату.

Література

- 1 Meteoblue. (2023). Meteoblue. Retrieved from <https://www.meteoblue.com/>
- 2 IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- 3 Giannakopoulos, C., Le Sager, P., and Bindi, M. (2005). Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. Report for WWF. Athens, Greece: MEDACC project.
- 4 Hannah, L., Midgley, G., and Millar, D. (2002). Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology and Biogeography*, 11, 485-495.

- 5 Körner, C. (2003). *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. New York, NY: Springer.
- 6 Hovsepyan, R., Avagyan, A., & Aghababian, A. (2021). Assessment of Climate Change Impact on Water Resources in the Armenian Highlands. *Water*, 13(1), 43.
- 7 Takaaki, K., Matsuyama, H., & Sasaki, H. (2020). Impacts of Climate Change on Mountain Tourism: Case Study of Japanese Ski Resorts. *Sustainability*, 12(5), 1835.
- 8 WMO (World Meteorological Organization). (2021). *The Global Climate in 2020*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- 9 Xu, X., Liu, Y., Zhang, L., Zhang, J., Wan, S., Li, X., Li, J., Li, B., Li, X., and Liang, E. (2013). Effects of climate change on vegetation phenology and productivity in the Loess Plateau, China. *Climatic Change*, 116(2), 405-420.
- 10 Kravchynskyi R., Korchemlyuk M., Khilchevskyi V., Arkhypova L., Mykhailiuk I., Mykhailiuk J. 2021. Spatial-factorial analysis of background status of the Danube River basin state on the northeastern slopes of the Ukrainian Carpathians. *Journal of Physics: Conference Series*, 1781(1), 11-12.
- 11 Klymchuk I., Matiyiv K., Arkhypova L., Korchemlyuk M. 2022. Mountain Tourist Destination – The Quality of Groundwater Sources. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(3), 208-214. doi.org/10.12912/27197050/147764
- 12 Корчемлюк М.В., Приходько М.М., Архипова Л.М. Вплив змін клімату на водний режим гірської частини басейну р.Прут. Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – Вип. 1(6). – С.118-128
- 13 Arkhypova L., Fomenko N., Kinash I., Golovnia O. Territorial Recreational Systems and Sustainable Development. *Advances in Economics, Business and Management Research*, volume 99. 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019) Published by Atlantis Press. Web of Science P.189-194 <https://www.atlantispress.com/proceedings/mdsmes-19/125919213>

I. Klymchuk, L. Arkhypova

*Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas*

RESEARCH ON CLIMATE CHANGE IN THE CARPATHIAN REGION: CONSEQUENCES AND CHALLENGES FOR SKI RESORTS

Climate change is a global phenomenon that has a significant impact on ecosystems and natural resources. The Carpathian region, located in Central Europe, is particularly vulnerable to the effects of climate change, given its diverse ecosystems, including forests, mountains, and rivers, and the dependence on these resources for its socio-economic development. This study examines the impacts of climate change on the Carpathian region over the past 40 years, with a particular focus on climate change at different altitudes.

Using data from numerous meteorological and hydrological stations across the region, the changes in temperature and precipitation, particularly at different altitudes, were analyzed. The analysis showed that the region was experiencing an overall increase in temperature, with 2.4°C increase in the region over nearly 40 years, and a decrease in precipitation, with a total decrease of 117 mm over nearly 40 years. These changes could have a significant impact on the flow of water sources in the region, as areas with low precipitation and high temperatures experience a decrease in water availability.

Reduced water availability can have serious consequences for the socio-economic development of the Carpathian region, especially in the tourism and agricultural sectors, which are heavily dependent on water resources. In addition, changes in water flow could affect the region's natural ecosystems, which are already affected by human activities and land use changes.

The study emphasizes the importance of using advanced technologies such as satellite data collection for environmental monitoring. The results of this study indicate that satellite data collection is a more accurate, reliable and efficient method of data collection than traditional ground-based measurements and data obtained from nearby weather stations.

Keywords: Carpathian region, climate change, precipitation, temperature, trend, different altitudes.

References

- 1 Meteoblue. (2023). Meteoblue. Retrieved from <https://www.meteoblue.com/>
- 2 IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- 3 Giannakopoulos, C., Le Sager, P., and Bindi, M. (2005). Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. Report for WWF. Athens, Greece: MEDACC project.
- 4 Hannah, L., Midgley, G., and Millar, D. (2002). Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology and Biogeography*, 11, 485-495.
- 5 Körner, C. (2003). *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. New York, NY: Springer.
- 6 Hovsepyan, R., Avagyan, A., & Aghababian, A. (2021). Assessment of Climate Change Impact on Water Resources in the Armenian Highlands. *Water*, 13(1), 43.
- 7 Takaaki, K., Matsuyama, H., & Sasaki, H. (2020). Impacts of Climate Change on Mountain Tourism: Case Study of Japanese Ski Resorts. *Sustainability*, 12(5), 1835.
- 8 WMO (World Meteorological Organization). (2021). *The Global Climate in 2020*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- 9 Xu, X., Liu, Y., Zhang, L., Zhang, J., Wan, S., Li, X., Li, J., Li, B., Li, X., and Liang, E. (2013). Effects of climate change on vegetation phenology and productivity in the Loess Plateau, China. *Climatic Change*, 116(2), 405-420.
- 10 Kravchynskyi R., Korchemlyuk M., Khilchevskyi V., Arkhypova L., Mykhailiuk I., Mykhailiuk J. 2021. Spatial-factorial analysis of background status of the Danube River basin state on the northeastern slopes of the Ukrainian Carpathians. *Journal of Physics: Conference Series*, 1781(1), 11-12.
- 11 Klymchuk I., Matiyiv K., Arkhypova L., Korchemlyuk M. 2022. Mountain Tourist Destination – The Quality of Groundwater Sources. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(3), 208-214. doi.org/10.12912/27197050/147764
- 12 Korchemlyuk M.V., Prykhod'ko M.M., Arkhypova L.M. Vplyv zmin klimatu na vodnyy rezhym hirs'koyi chastyny baseynu r.Prut. *Problemy heomorfolohiyi i paleoheohrafiyi Ukrayins'kykh Karpat i prylehlykh terytoriy – L'viv: LNU imeni Ivana Franka*, 2016. – Vyp. 1(6). – S.118-128
- 13 Arkhypova L., Fomenko N., Kinash I., Golovnia O.. *Territorial Recreational Systems and Sustainable Development. Advances in Economics, Business and Management Research*, volume 99. 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019) Published by Atlantis Press. Web of Science P.189-194 <https://www.atlantispress.com/proceedings/mdsmes-19/125919213>