

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Яковишина Т.Ф.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
вул. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро
t_yakovyshyna@ukr.net

Зміна клімату набуває глобального масштабу, проте її прояви в окремих регіонах можуть сильно відрізнятися. Тому важливим підґрунтям для прийняття стратегічних рішень щодо успішного розвитку різних галузей народного господарства виступає розуміння тенденцій сучасних кліматичних змін. Дане дослідження присвячено аналізу інтегральних показників оцінювання зміни клімату, з метою пошуку ефективних, а саме тих що включають найбільш вагомні чинники та забезпечують повноту інформації стосовно їх комплексної дії, що має важливе значення для забезпечення екологічної безпеки населення та функціонування екосистем. В роботі надана характеристика ефективності використання інтегральних показників зміни клімату, а саме: індексу посушливості клімату (b , De Martonne-Gotman), індексам ефективності опадів (I_m , Erinc) та (PE , Thornthwaite), коефіцієнту вологості/посушливості (N_{ks}/K_{ks} , Aydeniz). Оцінка зміни клімату техногенно ненавантаженої території проведена за методом Aydeniz, за основними метеорологічними показниками. Результатами досліджень ґрунтовно доведено ефективність використання коефіцієнту вологості N_{ks} , як такого що включає основні метеорологічні показники – кількість атмосферних опадів, температуру та вологість повітря, для оцінювання зміни клімату. Встановлено, що залучення до комплексного показника тільки температури та атмосферних опадів не забезпечить повноту інформації, адже вологість атмосферного повітря не можна вважати за їх похідну на підставі проведеного кореляційного аналізу виборки за столітній період. Між показниками кількість атмосферних опадів, температура та вологість повітря не просліджувалось тісних кореляційних зв'язків. Виявлено змінення клімату від напівпосушливого до напіввологого з тенденцією до вологого на техногенно ненавантаженої території Кам'янського (П'ятыхатського) району Дніпропетровської області протягом ХХ-го століття. *Ключові слова:* клімат, коефіцієнт вологості/посушливості, температура, атмосферні опади, вологість повітря, екосистема, екологічна безпека.

Using efficiency of integral indicators for the assessment of climate change. Yakovyshyna T.

Climate change is taking on a global scale, but its manifestations can be very different in the individual regions. Therefore, understanding the trends of modern climatic changes is an important basis for making strategic decisions regarding the successful development for the various branches of the national economy. This study has been devoted to the analysis of integral indicators of climate change assessment for the finding the most effective ones, namely those that include the most important factors and provide complete information about their complex action, which is important for ensuring the environmental safety of the population and the functioning of ecosystems. Using efficiency of integral indicators has been described in this paper for the climate change (climate aridity index (b , De Martonne-Gotman), rainfall efficiency indices (I_m , Erinc) and (PE , Thornthwaite), humidity/dryness coefficient (N_{ks}/K_{ks} , Aydeniz)). The assessment of the climate change for the technogenically unloaded territory has been carried out according to the Aydeniz method, with using to the main meteorological indicators. The results of the research have been thoroughly proved the effectiveness of using the humidity coefficient (N_{ks}), as it includes the main meteorological indicators – the amount of atmospheric precipitation, temperature and air humidity, for assessing climate change. Conducted correlation analysis of the samples for the century period has been established that the inclusion of only temperature and atmospheric precipitation in the complex indicator will not ensure the completeness of the information, because the humidity of the atmospheric air cannot be considered as their derivative. The close correlations have not been observed between the indicators of precipitation, temperature, and air humidity. The climate change has been determined from semi-arid category to semi-humid with a tendency to humid category for the technogenically unloaded territory of the Kamianskyi (Pyatikhatskyi) district of the Dnipropetrovsk region during the 20th century. *Key words:* climate, humidity/dryness coefficient, temperature, precipitation, air humidity, ecosystem, environmental safety.

Постановка проблеми. Починаючи з ХХ-го століття спостерігається безпрецедентно висока швидкість глобального потепління, що вже в наступному має призвести за різними сценаріями до зростання глобальної температури на 1,5–4,5°C, а це в свою чергу відбиватиметься на частоті та інтенсивності кліматичних аномалій та екстремальних погодних явищ. Багаторічні факти свідчать про те, що сучасні зміни клімату спричиняють дестабілізуючий вплив не тільки на природні процеси та екосистеми, а й здатні викликати цілу низку соціально-економічних проблем, як відносно спотворення екологічної небезпеки для людини, так і для функціонування сільського,

водного, рекреаційного та комунального господарств, транспортної та енергетичної систем, будівництва та інших галузей промисловості [1]. Оцінювання клімату потребує пошуку надійних інтегральних показників, які б надали своєчасну повну інформацію стосовно тенденції його зміни. Ефективне використання інтегральних показників оцінювання зміни клімату, забезпечить повноту інформації стосовно сукупного впливу його чинників, що має важливе значення для забезпечення екологічної безпеки населення та функціонування екосистем.

Актуальність дослідження. Зміна клімату набуває глобального масштабу, проте її прояви в окремих

регіонах можуть сильно відрізнятись. Тому важливим підґрунтям для прийняття стратегічних рішень щодо успішного розвитку різних галузей народного господарства виступає розуміння тенденцій сучасних кліматичних змін. Євроінтеграція України та робота над ратифікацією Європейського зеленого курсу передбачає впровадження низки нормативно-правових документів та реалізацію різнопланових заходів з адаптації до зміни клімату, що є неможливим без надійних, уніфікованих з нормативами ЄС показників оцінювання за умов комплексного характеру впливу кліматичних чинників. Дане дослідження присвячено аналізу інтегральних показників оцінювання зміни клімату, з метою пошуку найбільш ефективних, які включають найбільш вагомні чинники, забезпечують повноту інформації стосовно їх комплексної дії та сприяють євроінтеграції органів екологічного управління.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проведено в рамках імплементації Європейського зеленого курсу в Україні; реалізації Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 р., № 2697-VIII; Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року» від 20 жовтня 2021 р., № 1363-р [2] та міжнародної програми ERASMUS+, проєкту 101085133 – EUGREEN «Європейські практики Green Deal: уроки для України».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтегральні показники оцінювання клімату виступають як діагностичні засоби для визначення його зміни, адже кількість атмосферних опадів, температура і вологість повітря спричиняють комплексний вплив на екосистеми. В теперішній час широко використовують наступні показники: індекс посушливості клімату (b), індекси ефективності опадів (I_m) та (PE), коефіцієнт вологості/посушливості (N_{ks}/K_{ks}) (табл. 1).

Вважається, що найбільше значення мають кількість опадів та температура [9-10], які входять до складу всіх проаналізованих показників, на відміну від вологості повітря, яка має бути компенсована через їх сукупну дію та враховується тільки при визначенні коефіцієнту вологості/посушливості Aуденіз [8]. Це яскраво відбивається на індексі ефективності опадів (I_m), де середньорічне максимальне значення температури повинно зумовлювати втрату води, яка надійшла з атмосферними опадами, на випаровування [5]. Слід звернути увагу і на те, що зазвичай розрахунки інтегральних показників (I_m , PE , N_{ks}/K_{ks}) ґрунтуються на середньорічних значеннях метеорологічних показників, в той час як сучасні тенденції зміни клімату свідчать про збільшення частоти аномальних погодних явищ [11–12],

які можуть сильно не відбиватися на середніх значеннях, приміром чередування злив і посухи на кількості атмосферних опадів та температурі, проте спричинити значну екологічну небезпеку. До інтегрального показника оцінювання клімату можуть бути залучені інші складові, як то до коефіцієнту вологості/посушливості – тривалість сонячного сяйва, що буде зумовлювати активність живих організмів. Згідно запропонованого підходу Aуденіз можна розрахувати як коефіцієнт вологості, так і зворотню йому величину – коефіцієнт посушливості.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проблема дослідження полягає в детальному аналізі інтегральних показників оцінювання зміни клімату, які включають найбільш вагомні чинники, а саме, кількість атмосферних опадів, температуру, вологість атмосферного повітря, та відбивають комплексний характер формування екологічних умов з метою залучення найбільш ефективного показника до оцінювання небезпеки техногенно неавантажених екосистем.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для перевірки ефективності показників вологості/посушливості згідно методу Aуденіз використовували базу даних (кількість атмосферних опадів, температура та вологість атмосферного повітря) метеорологічної станції Комісарівка Кам'янського (до 2020р. П'ятихатського) району Дніпропетровської області за обмежений період часу – протягом ХХ-го століття. Метеостанція розташована: довгота – $33,9^{\circ}$ сх.д., широта – $48,4^{\circ}$ пн.ш., висота над рівнем моря – 111 м, синоптичний індекс – 33723. Комісарівка територіально не знаходиться в межі впливу крупних промислових агломерацій, так відстань до м. Дніпро становить близько 100 км, м. Кам'янське, м. Олександрія та м. Кривий Ріг – більше ніж 50 км, що виключає локальні зміни клімату, пов'язаних з формуванням «островів тепла» та «міських бризів».

Оцінку зміни клімату техногенно неавантаженої території проводили за методом Aуденіз (табл. 1). В роботі визначався коефіцієнт вологості з наступним нормуванням згідно в табл. 2.

Викладення основного матеріалу. Екологічна оцінка небезпеки зміни клімату за методом Aуденіз ґрунтується на визначенні інтегрального показника, який включає в себе основні метеорологічні характеристики, а саме кількість атмосферних опадів, сонячне сяйво, температуру та вологість атмосферного повітря. Хоча деякі автори вважають за доцільне використовувати для оцінювання зміни клімату інтегральні показники, які базуються на значеннях тільки температури та атмосферних опадів і дивляться на вологість атмосферного повітря за їх похідну, проведений кореляційний аналіз між виборками основних метеорологічних показників показав відсутність тісних зв'язків між ними. Так коефі-

Таблиця 1

Порівняльна оцінка ефективності використання інтегральних показників для оцінки зміни клімату

Показник	Формула розрахунку	Чинники, що враховуються	Особливості нормування	Період розрахунку	Автор/ Джерело
Індекс посушливості клімату (b)	$b = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{P_Y}{T_Y} + 12 \cdot \frac{P_a}{T_a + 10} \right)$	P_Y – загальна річна кількість опадів, мм; T_Y – середньорічна температура, °C; P_a – кількість опадів в самий посушливий місяць, мм; T_a – середня температура самого посушливого місяця, °C.	6 категорій	Рік	De Martonne-Gotman / 3, 4
Індекс ефективності опадів (I_m)	$I_m = P / T_{om}$	P – річна загальну кількість опадів, мм; T_{om} – середньорічне максимальне значення температури, °C.	6 категорій	Рік	Erinc / 5
Індекс ефективності опадів (PE)	$PE = \sum_{i=1}^{12} \left(115 \cdot \left(\frac{P_i}{T_i - 10} \right)^{10/9} \right)$	P_i – середня багаторічна кількість опадів у кожному місяці, дюйми; T_i – середня багаторічна температура у кожному місяці, °F.	5 категорій	Рік	Thornthwaite / 6, 7
Коефіцієнт вологості/ посушливості (N_{ks}/K_{ks})	$N_{ks} = \frac{Y \cdot N_n \cdot N_p}{(S + 15) \cdot G_s}$ $K_{ks} = \frac{1}{N_{ks}}$	N_{ks} – коефіцієнт вологості; K_{ks} – коефіцієнт посушливості; Y – загальна кількість опадів, см; N_n – середня річна відносна вологість, %; N_p – дорівнює 12; S – середня річна температура, °C; +15 – коефіцієнт для уникнення від’ємних річних температур; G_s – відношення фактичної тривалості сонячного сйва до загальної теоретичної тривалості сонячного сйва.	7 категорій	Рік	Aydeniz / 8

Нормування коефіцієнтів вологості та посушливості за методом класифікації клімату Aydeniz

N_{ks}	Характеристика клімату	K_{ks}
< 0,40	Пустельно	> 2,5
0,40-0,67	Дуже посушливо	1,50-2,50
0,67-1,00	Посушливо	1,00-1,50
1,00-1,33	Напівпосушливо	0,75-1,00
1,33-2,00	Напівволого	0,50-0,75
2,00-4,00	Волого	0,25-0,50
> 4,00	Дуже волого	< 0,25

цієнт кореляції між вологістю та значенням середньорічної температури становив всього -0,354, а між вологістю і річною кількістю атмосферних опадів спостерігався прямопропорційний зв’язок, проте

Таблиця 2

також незначний (0,375). Тому, безумовно, використання інтегрального показника – N_{ks} за методом Aydeniz більш чітко передає екологічну небезпеку спричинену для населення та екосистем внаслідок зміни клімату.

Таблиця 3

Статистична характеристика коефіцієнту вологості за методом Aydeniz

Показник	Значення
Мінімум	0,825
Максимум	3,200
Середнє	1,763
Медіана	1,693
Експес	0,109
Асиметрія	0,557
Дисперсія	0,230
Стандартне відхилення	0,478
Розмах	2,375

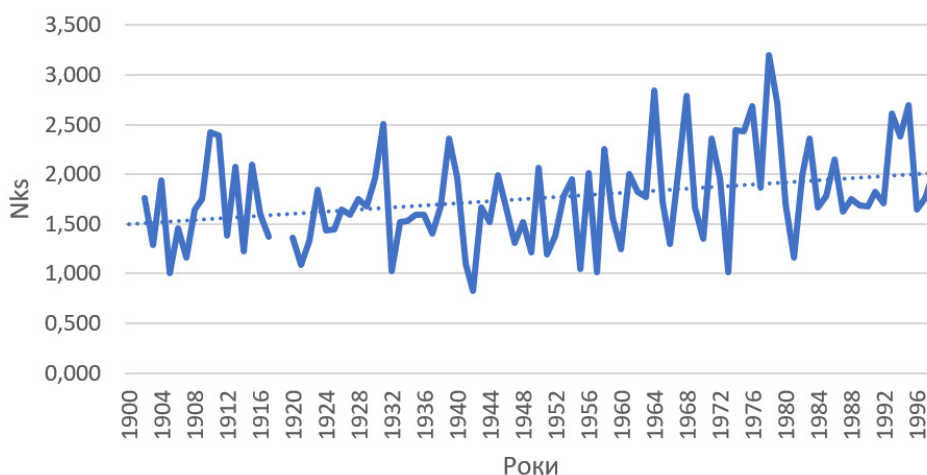


Рис. 1. Тенденція зміни коефіцієнту вологості (N_{ks}) (метеорологічна станція Комісарівка Кам'янського (П'ятихатського) району) Дніпропетровської області

Тенденції зміни клімату техногенно невантаженої території Кам'янського (П'ятихатського) району Дніпропетровської області в ХХ столітті відбивались через підвищення температури повітря, збільшення кількості атмосферних опадів та посилення частоти аномальних погодних явищ, як в зимовий так і в літній період часу. Як свідчать розрахунки, клімат техногенно невантаженої території Кам'янського (П'ятихатського) району Дніпропетровської області слід визнати як напіввологий з тенденцією зміни від напівпосушливого до вологого протягом ХХ-го століття. Розподілення років за ступенем зволоженості згідно методу Auydeniz у ХХ-му столітті відбувалось наступним чином: 1,1 % – посушливі; 17,7 – напівпосушливі; 55,2 – напіввологі; 26,0 – вологі. Аналіз виборки щорічних значень показника N_{ks} , проведений методами математичної статистики, показав переважання середнього над медіаною за умов незначної правосторонньої асиметрії та пласковиршинного характеру розподілу, що свідчить про поступове, напочатку відносно монотонне підвищення вологості клімату (табл. 3, рис. 1).

Таблиця 4

**Коефіцієнт вологості клімату
Кам'янського (П'ятихатського) району
Дніпропетровської області за методом Auydeniz
(виборка з 100-літній період)**

Посушливо	Напів-посушливо	Напівволого	Волого
0,825	<u>1,002-1,328</u> 1,159	<u>1,355-1,999</u> 1,676	<u>2,010-3,200</u> 2,400

Примітка: чисельник – мінімальне та максимальне значення коефіцієнту вологості; знаменник – середнє значення показника коефіцієнту вологості.

Отриманий тренд зміни N_{ks} за методом Auydeniz свідчить про підвищення вологості клімату техногенно невантаженої території Кам'янського

(П'ятихатського) району на 0,5 одиниць або на 21,0 % протягом ХХ-го століття. Перетин лінійного тренду категорій «напівпосушливий рік» → «напіввологий рік» → «вологий рік» приходився на другу половину ХХ-го століття (рис. 1), втім як і майже вдвічі більший розмах значень показника N_{ks} порівняно до початку століття. Строкатість коефіцієнту вологості починає проявлятися з другої половини ХХ-го століття, спочатку не доходячи до вологих років (до 1964 р. включно), а потім амплітуда коливань збільшується і знаходить в межах між напівпосушливими і вологими роками (1965–1982 рр.). Розмах в межах категорій був досить широким для напівпосушливих і напіввологих років (табл. 4). Мінімальне значення N_{ks} зафіксовано в 1944 р. – 0,825, а максимальне у 1980 р. – 3,200 відповідно.

Головні висновки. Грунтовно доведено ефективність використання коефіцієнту вологості N_{ks} за методом Auydeniz, як такого що включає основні метеорологічні показники – кількість атмосферних опадів, температуру та вологість повітря, для оцінювання зміни клімату. Встановлено, що залучення до комплексного показника тільки температури та атмосферних опадів не забезпечить повноти інформації, адже вологість атмосферного повітря не можна вважати за їх похідну на підставі проведеного кореляційного аналізу виборок за столітній період. Виявлено змінення клімату від напівпосушливого до напіввологого з тенденцією до вологого на техногенно невантаженої території Кам'янського (П'ятихатського) району Дніпропетровської області протягом ХХ-го століття.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані як підґрунтя щодо розробки заходів з адаптації техногенно невантажених територій до змін клімату для підвищення екологічної безпеки населення Придніпровського регіону.

Література

1. Hatfield, J.L., Prueger, J.H. Temperature extremes: effect on plant growth and development. In: *Weather and Climate Extremes*. 2015. Vol. 10. P. 4–10.
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року» від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text>
3. Pellicone G., Caloiero T., Guagliardi I. The De Martonne aridity index in Calabria (southern Italy). *Journal of Maps*. 2019. Vol. 15(2). P. 788–796.
4. De Martonne E. Nouvelle carte mondial de l'indice d'aridité. *Annales de Géographie*. 1942. Vol. 51(288). P. 241–250.
5. Erinç, S. *Klimatoloji ve Metotları*. İstanbul: Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Yayınları. 1984. 540 p.
6. Thornthwaite C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate *Geographical Review*. 1948. Vol. 38, № 1. P. 55–94.
7. Pellicone G., Caloiero T., Guagliardi I. The De Martonne aridity index in Calabria (southern Italy). *Journal of Maps*. 2019. Vol. 15(2). P. 788–796.
8. Aydeniz A. *Toprak Amenajmanı*. Ankara: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları. 1985. № 928. (in Turkish).
9. De Freitas C. Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. *International Journal of Biometeorology*. 2003. Vol. 48. P. 45–54.
10. Baettig M.B., Wild M., Imboden D.M. Correction to “A climate change index: Where climate change may be most prominent in the 21st century”. *Geophysical research letters*. 2007. Vol. 34, L.01705. doi:10.1029/2006GL028159.
11. Baykal, T. M., & Colak, H. E. Producing climate boundary maps using GIS interface model designed with Python. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2022. Vol. 46(1). 683.
12. Fawzy S., Osman A.I., Doran J., Rooney D.W. Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2020. Vol 18. P. 2069–2094.