

Пічура В. І., д.с.-г.н., професор, Потрака Л. О., д.е.н., професор, Білошкуренко О. С., здобувач вищої освіти (Херсонський державний аграрно-економічний університет, pichuravitalii@gmail.com),
Вознюк Н. М., к.с.-г.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, n.m.voznyuk@nuwm.edu.ua)

ЗАКОНОМІРНОСТІ БАГАТОРІЧНИХ ЗМІН КЛІМАТУ У ЗОНІ СТЕПУ УКРАЇНИ

Кліматичні зміни вирізняються різноманітністю, характеризуються різними рівнями інтенсивності проявів, частотою кліматичних аномалій, періодичністю екстремальних погодних явищ у просторі та часі. У статті проведено ретроспективний аналіз зміни кліматичних умов у південній підзоні Степу України. У дослідженні використано річні значення приземної температури повітря та суми опадів по станції Херсон, архівні дані спостереження за 120 років (1900–2019 рр.). Період спостережень із сильними проявами аномальних температур складає 45 років (37,5%) та 10 років (8,3%) із дуже сильними аномаліями температурного режиму. За цей період відбулося збільшення середньорічної температури повітря на 2,5° С. Абсолютна величина аномалій річних опадів становила 26,7%. Визначено три основні періоди середньорічної температури повітря та суми опадів за сто років: зниження (початок ХХ ст.), стабілізації або рівновага (середина ХХ ст.) та зростання (кінець ХХ та початок ХХІ ст.). Дослідженнями внутрішньорічних кліматичних змін встановлено, що в багаторічній динаміці спостерігається прояв потепління впродовж 10 перших місяців на 2,4° С і збільшення середньорічних сум опадів на 110 мм. З використанням ланцюгів Маркова визначено внутрішньоциклічні властивості кліматичних показників. Інерційна ймовірність повторення спекотних років оцінена в 0,48, а спекотних років після холодних – у 0,60. Інерційна ймовірність повторення вологих років становила 0,50, вологих років після сухих – 0,47. Встановлено, що спекотні періоди тривалістю 3–5 років більш ймовірні, ніж такі ж холодні періоди, а періоди без дощу тривалістю 3–5 років більш ймовірні, ніж періоди з опадами. Це вказує на циклічне підвищення середньорічної температури по-

вітря та можливе зниження річних сум опадів у південній підзоні Степу України. В результаті розрахунків чергування кліматичних періодів встановлено максимальну ймовірність для спекотно-холодних періодів 0.275 ($t = 2$) та для волого-сухих періодів 0,242 ($t = 3$).

Ключові слова: зміна клімату; температура повітря; атмосферні опади; аналіз часових рядів; багатомірна статистика; ланцюги Маркова.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зміна клімату це один з найважливіших глобальних викликів XXI століття, який виходить за рамки наукових досліджень і являє собою комплексну міждисциплінарну проблему, що охоплює екологічні, економічні і соціальні аспекти сталого розвитку країн світу. Кліматичні зміни проявляються в інтенсивності, частоті кліматичних аномалій і екстремальних погодних явищ на різних рівнях ієрархії в просторі і часі. За останні 30 років значно збільшилася частота та інтенсивність небезпечних погодних явищ, які призводять до значного економічного збитку, загрожують стабільному існуванню ландшафтних і аквальних екосистем, а також здоров'ю та життю людей. За висновками багатьох вчених прогнозується збереження стійких тренд-циклічних кліматичних змін [1–3], які призведуть до значних змін функціонування природних і штучних екосистем, збільшення частоти проявів небезпечних процесів і наслідків, деградації навколишнього середовища. До основних причин глобальної зміни клімату вчені світу відносять: антропогенний фактор [4; 5]; підвищення в кругообігу вуглекислого газу [6]; радіаційний прогрів атмосфери за рахунок поглинання інфрачервоного випромінювання при домінуючому впливі конвективного теплообміну [7]; зміна течій в Північному Льодовитому океані (холодна Лабрадорська течія в районі Гренландії і теплий Гольфстрім), що призводить до періодичних катастрофічних епох стабільного зниження і збільшення температурного режиму в Північній півкулі [8; 9]. Клімат на регіональному рівні формується під впливом трьох найважливіших чинників: циркуляції атмосфери, сонячної інсоляції і рельєфу [10]. Тому людству необхідно вживати відповідні попереджувальні заходи, зокрема: широкі впровадження басейнових принципів управління навколишнім середовищем, застосування сучасних технологій для зниження кількості викидів в атмосферне повітря вуглекислого газу та полютантів, зменшення площі ріллі і збільшення природних угідь, застосування альтернативних джерел енергії та технологій енергозабезпечення, впровадження адаптивних технологій і заходів до неконтрольованих

кліматичних змін у різні сфери економічної діяльності країн світу тощо.

Збільшення антропогенного навантаження зменшує стійкість навколишнього природного середовища до неконтрольованих проявів кліматичних змін. Особливо негативні прояви антропогенно-кліматичних змін фіксуються в зоні Степу [11; 12]. Значно знизився рівень забезпеченості водними ресурсами та їх якість [13; 14], на 60% знищена природна гідромережа малих та середніх річок [15; 16], збільшилася частота посух [17; 18] та проявів ерозійних процесів [19; 20], погіршився стан земельних ресурсів [21–23], зниження врожаю сільськогосподарських культур [24] тощо. Тому для ефективного ведення народного господарства, обґрунтування природоохоронних заходів, відновлення та раціонального використання природних ресурсів, адаптації до нових умов господарювання, забезпечення сталого природокористування необхідно враховувати просторово-часові закономірності зміни клімату та біокліматичного потенціалу території. Аналіз наявних джерел показав, що питання вивчення, ретроспективного аналізу та моделювання багаторічних змін клімату з метою розробки та ведення нових адаптаційних заходів на різних рівнях господарювання залишаються актуальними і недостатньо дослідженими.

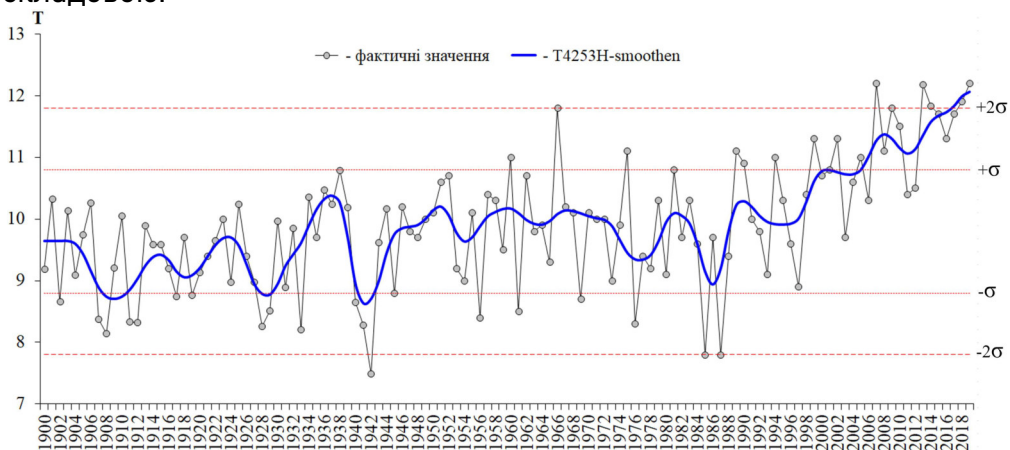
Матеріали та методи досліджень. Об'єкт дослідження – багаторічні зміни кліматичних умов у південній підзоні Степу України. Предмет досліджень – часові закономірності формування кліматичних показників (температура повітря, сума опадів). На півдні України ізогією 400 мм обмежена причорноморська зона від пониззя Дунаю до Приазов'я, в центрі якої знаходиться гідрометеорологічна станція Херсон з довгим рядом спостережень. У дослідженні використані фактичні дані про річні значення приземної температури повітря (T , °C) та суми опадів (P , мм) по станції Херсон та архівні дані для відновлення безперервного періоду спостережень за 120 років (1900–2019 рр.). Кліматичні норми за зазначений період склали: $\bar{T} = 9.8$ °C; $\bar{P} = 400$ мм. Ці параметри загалом характеризують умови південної підзони Степу України.

Для комплексного аналізу, оцінки різномірності рядів та визначення часових закономірностей формування кліматичних умов, у роботі використано такі методи дослідження: описової статистики, регресійного аналізу та перетворення змінних ($T4253H$ -smoother, метод різницевого інтегрального кривих модульних коефіцієнтів). З метою визначення циклічних складових та виявлення найбільших значень періодограми формування часових рядів використано метод однорічного аналізу Фур'є. Для оцінки ймовірності інерції клімату вико-

ристано метод ланцюгів Маркова. Імовірність періодичних змін кліматичних умов визначили методами Габріеля та Ноймана. Для аналізу та динаміки кліматичних показників використано робочі модулі Time series and forecasting (TSF) ліцензованого програмного продукту STATISTICA 10.0.

Результати досліджень. У межах окремих фізико-географічних зон та внутрішньозональних відмінностей зміна ландшафтів на земній поверхні обумовлена дією різних факторів диференціації: у північних частинах, де опади перевищують величину випаровуваності, це термічний фактор; у південних – фактор зволоження. Фонові характеристики умов тепло- та вологозабезпеченості відображають специфіку та внутрішньовікову ритмічність аерогідротермічних умов інструментального періоду.

Для визначення загальних закономірностей часового формування кліматичних умов фактичні значення метеоданих було перетворено з використанням «T4253H-smoothen» (рис. 1). Цей метод фільтрації дозволяє отримати згладжений ряд, зберігаючи основні характеристики вихідного емпіричного ряду. Впродовж усього періоду спостережень за динамікою температури повітря спостерігається позитивний тренд, екстремум якого охоплює початок XXI ст. (мала циклічна складова дорівнює 2 рокам, середня – 9 років і велика – 37 років). За допомогою методу Фур'є встановлено багаторічні 2, 11 та 22-річні цикли формування умов зволоження з позитивною трендовою складовою.



а

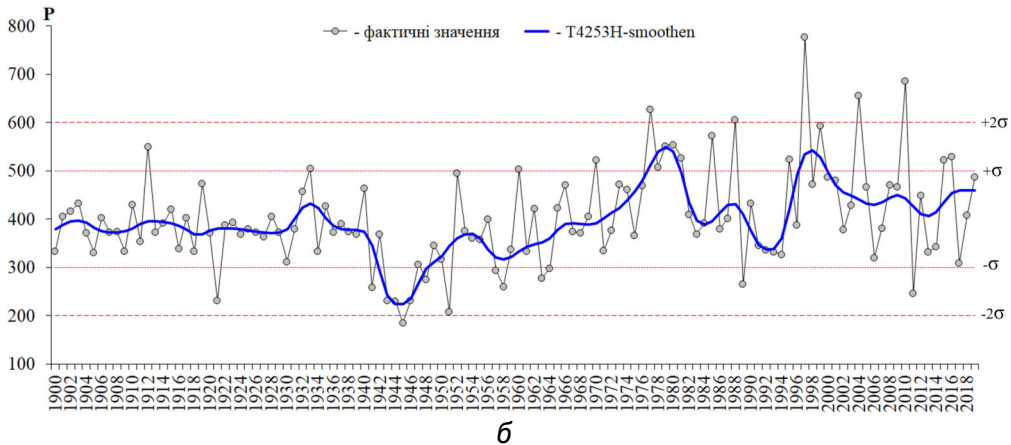


Рис. 1. Багаторічна динаміка кліматичних показників метеостанції Херсон:
 а – середньорічна температура повітря (T , °C);
 б – сума опадів за рік (P , мм)

Аномальні кліматичні умови визначено за такими критеріями: $T, P \geq \pm\sigma$ – сильні аномалії і $T, P \geq \pm 2\sigma$ дуже сильні аномалії, де σ – значення середньоквадратичного відхилення. При нормальному розподілі випадкової величини (середньорічної температури T , суми річних опадів P) виконуються співвідношення:

$$\begin{cases} p(-\sigma \leq T \leq +\sigma) = 0,625, \\ p(-2\sigma \leq T \leq +2\sigma) = 0,917, \\ p(-\sigma \leq P \leq +\sigma) = 0,733, \\ p(-2\sigma \leq P \leq +2\sigma) = 0,950, \end{cases}$$

де p – ймовірність події, у разі ймовірності неперевищення граничних значень аномаліями середньорічної температури (T) і річної суми опадів (P).

Отже, за багаторічний період спостережень фіксується 45 років (37,5%) із сильними та 10 років (8,3%) дуже сильними аномаліями температурного режиму у південній підзоні Степу України. За останні 35 років середньорічне значення температури зросло на $2,5^\circ\text{C}$ (з $9,7^\circ\text{C}$ до $12,2^\circ\text{C}$). Абсолютна величина аномалій суми річних опадів оцінюється у 73,3%: спостерігається 32 роки (26,7%) із сильними та 6 років (5%) дуже сильними аномаліями. В останні 35 років суми опадів збільшилися на 100 мм в рік (з 380 до 480 мм). Внаслідок перетворення ретроспективних даних за допомогою різницевого інтегрального кривих модульних коефіцієнтів визначено три основні періоди кліматичних змін (рис. 2).

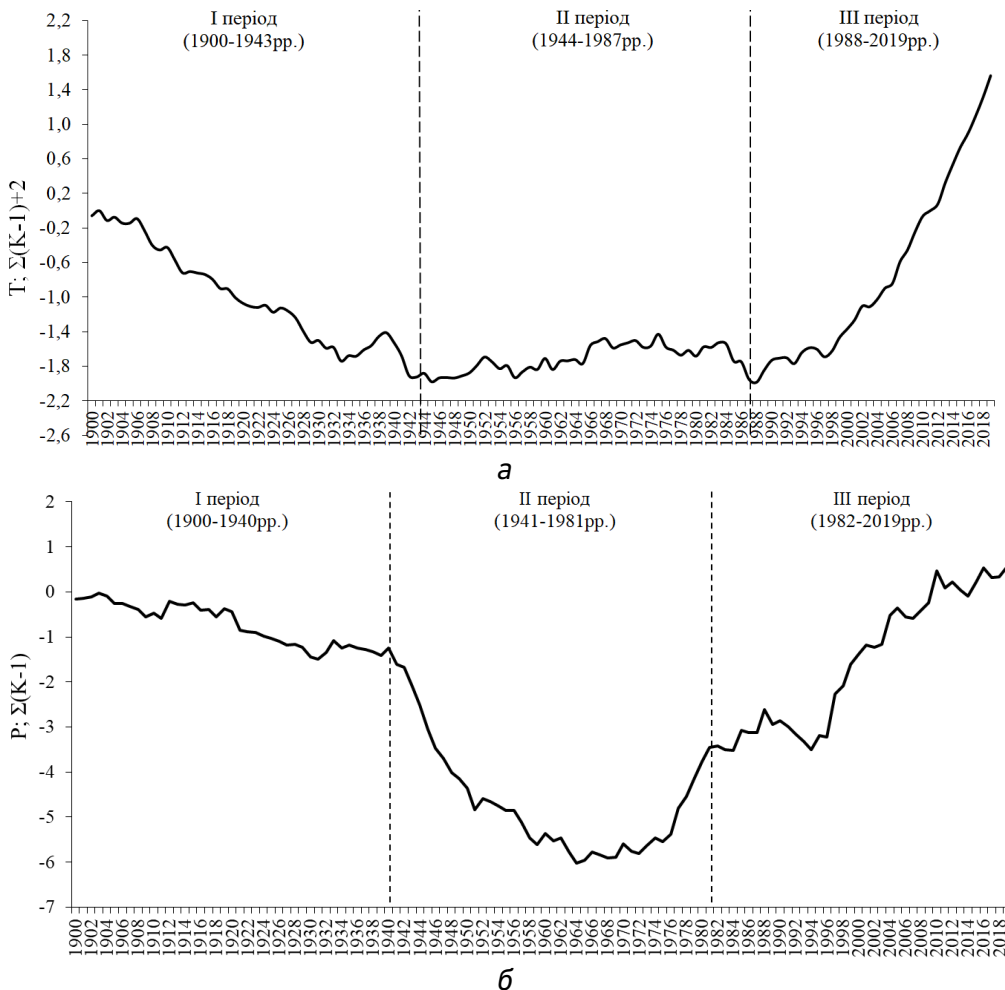
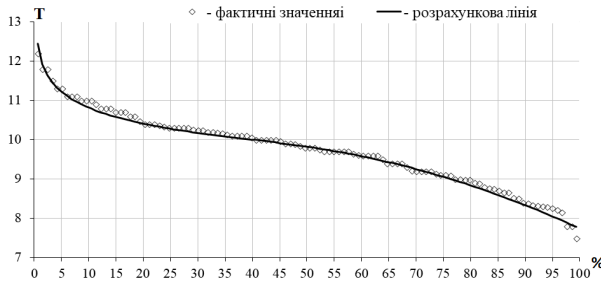


Рис. 2. Графічне обґрунтування основних періодів внутрішньовікового формування кліматичних показників метеостанції Херсон:
а – середньорічна температура повітря;
б – сума опадів за рік

Для визначення ймовірності повторення певних значень кліматичних показників на основі ретроспективних даних проведено розрахунок та побудовано криві забезпеченості (рис. 3).

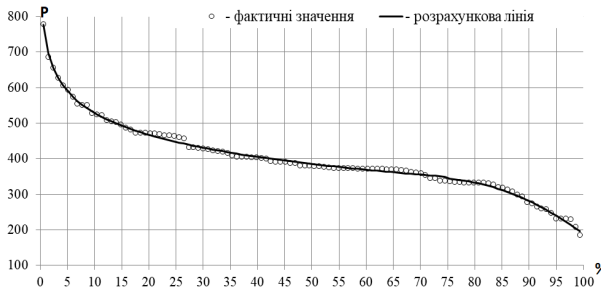


1-а

$$f(T) = \begin{cases} 45 \\ \int -1.294 \log_{10}(S) + 12.16 di \\ 0,1 \\ 100 \\ \int -0.0004 S^2 + 0.0244 S - 9.70 di \\ 45 \end{cases}$$

$$r = 0.996; r^2 = 0.993$$

1-б



2-а

$$f(P) = \begin{cases} 75 \\ \int -205.63 \log_{10}(S) + 734.95 di \\ 0,1 \\ 100 \\ \int -0.199 S^2 + 28.618 S - 682.67 di \\ 75 \end{cases}$$

$$r = 0.998; r^2 = 0.996$$

2-б

Рис. 3. Емпірична крива (а) та функція (б) забезпеченості для кліматичних параметрів: 1 – середньорічна температура, °С; 2 – річна сума опадів, мм

В результаті дослідження встановлено середньобогаторічні зміни кліматичних умов за останні два періоди всередині року (рис. 4). Останні 80 років спостерігаються прояви потепління впродовж 10 перших місяців року у середньому на 2,4° С (з 9,8° С до 12,2° С), збільшення суми опадів на 110 мм (з 315 мм до 425 мм). На фоні збільшення суми опадів, переважно у зимово-весняний період, проявляються негативні аномальні явища одноразового випадання місячної, а в деяких випадках і піврічної норми опадів, що призводить до збільшення частоти прояву ерозії ґрунтів, катастрофічних підтоплень і затоплень територій на локальному та регіональному рівнях.

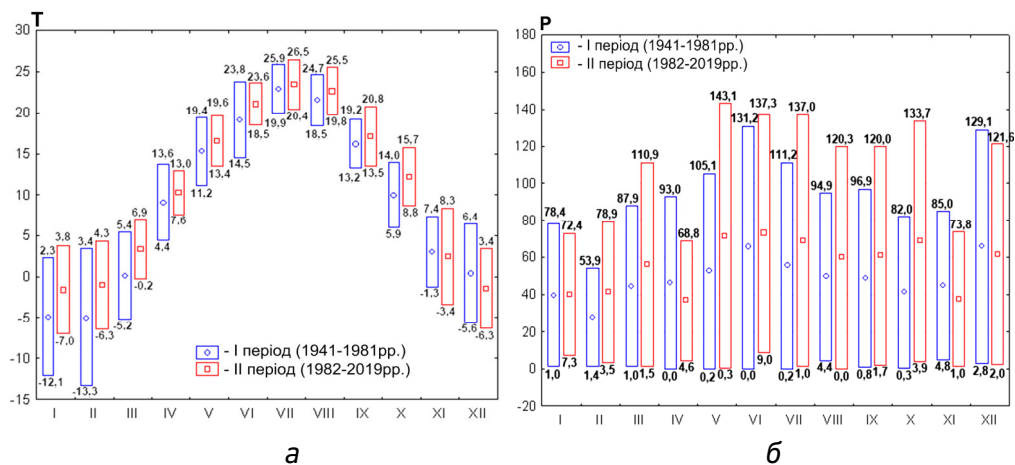


Рис. 4. Багаторічні зміни кліматичних умов, місяці:
а – температура повітря (Т), °С; б – річна сума опадів (Р), мм

Використання ланцюгів Маркова дозволило визначити ймовірність річної інерції клімату. Так, ймовірність повторення температури повітря більша за циклічну норму склала $P_T = 0,54$, суми річних опадів $P_P = 0,48$. Інерційна ймовірність повторення спекотних (Н) років дорівнює $P_{H1} = 0,48$, спекотних років після холодних $P_{H2} = 0,60$. Отже, ймовірність того, що за спекотним роком настане холодний (С) $P_{C1} = 0,52$ і, аналогічно, ймовірність того, що за одним холодним роком буде холодний рік $P_{C2} = 0,40$. Інерційна можливість повторення вологих (W) років склала $P_{W1} = 0,50$, вологих років після сухих $P_{W2} = 0,47$. Отже, ймовірність того, що за вологим роком настане сухий (D) $P_{D1} = 0,50$ і, аналогічно, ймовірність того, що за одним сухим роком буде сухий рік $P_{D2} = 0,53$. Ланцюг ймовірностей змін кліматичних умов представлено на рис. 5.

Ймовірність спекотних і дощових періодів у t років дорівнює ймовірності холодних і сухих років відповідно, що повторюються кожні $(t+1)$ років, тобто [19]:

$$P_{S(H;W)} = (1 - p_1)p_1^{t-1}$$

$$P_{S(C;D)} = p_2(1 - p_2)p_2^{t-1}$$

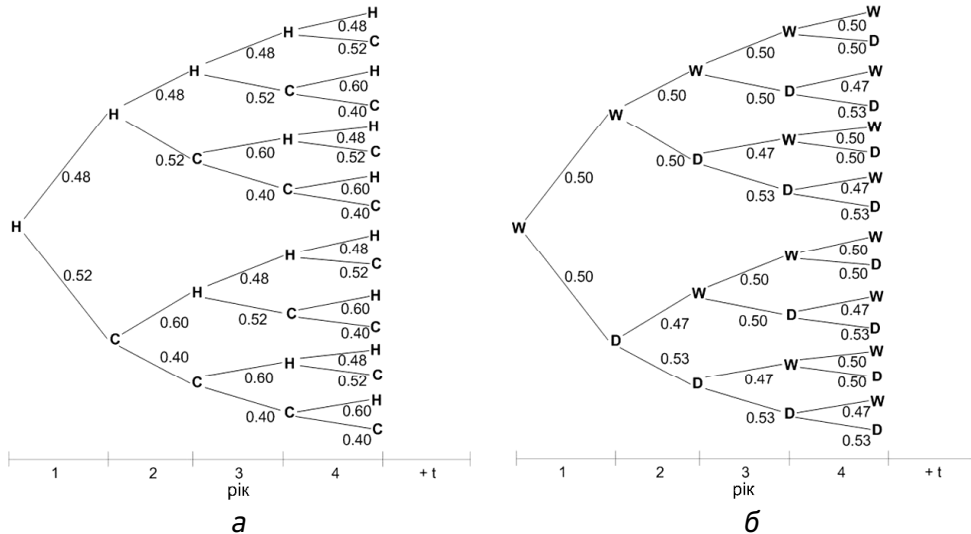


Рис. 5. Імовірності змін кліматичних умов (спекотних (H), холодних (C), сухих (D), вологих (W) років) у вигляді схематичного організації ланцюгів Маркова: а – температура повітря, б – річна сума опадів

Отже, ймовірність однорічного ізольованого спекотного року дорівнює $0,52p_1^{1-1}$, ймовірності трирічного спекотного періоду дорівнює 0,12, а п'ятирічного – 0,03 тощо. Імовірність холодних періодів такої самої тривалості дорівнює 0,60, 0,10, 0,02 відповідно. Імовірність однорічного ізольованого вологого року дорівнює $0,50p_1^{1-1}$, ймовірність трирічного вологого періоду дорівнює 0,12, п'ятирічного – 0,03 тощо. Імовірність сухих періодів такої самої тривалості дорівнює 0,60, 0,13, 0,04 відповідно. Ланцюги Маркова, побудовано на основі метеорологічних даних спостережень, доводить, що спекотні періоди тривалістю в 3–5 років вірогідніші, ніж такі ж холодні періоди, а періоди без дощу тривалістю 3–5 років вірогідніші, ніж періоди з дощем. Це вказує на циклічне підвищення середньорічної температури повітря та зниження суми річних опадів у південній підзоні Степу України.

Імовірність чергування спекотно-холодних та вологих-сухих періодів з різною тривалістю визначена за формулою:

$$P_{pt} = \frac{(1-p_2)^{t-1} - p_1^{t-1}}{(1-p_2 - p_1)} p_2(1-p_1).$$

В результаті розрахунків було отримано значення ймовірності періодів різної тривалості. Чергування спекотно-холодних періодів: $t = 2$, $P_{pt} = 0,312$; $t = 3$, $P_{pt} = 0,275$; $t = 4$, $P_{pt} = 0,182$; $t = 5$, $P_{pt} = 0,107$;

$t = 6$, $P_{pt} = 0,059$. Чергування вологих-сухих періодів: $t = 2$, $P_{pt} = 0,235$; $t = 3$, $P_{pt} = 0,242$; $t = 4$, $P_{pt} = 0,187$; $t = 5$, $P_{pt} = 0,129$; $t = 6$, $P_{pt} = 0,083$.

Циклічні коливання клімату тривалістю кілька десятиліть (11-річні, 29–45, 75–80-річні цикли), мають приналежність до коливань нееволюційного характеру для геосистем. Це відноситься до менш тривалих циклів: річного, що відображає зміну сезонних географічних явищ, 2-річного (зазвичай 26-місячного) у тропосферних та стратосферних параметрах, 5–6-річного, що спостерігається у географічних та гідрометеорологічних явищах. Всі ці варіації (з характерним часом менше 10 років) логічно відносити до тривалих погодних аномалій.

Часто в ході синхронної біокліматичної оцінки зміни температури повітря та суми опадів перебувають у протифазі, тобто, наприклад, коли більш вологозабезпечений період не відповідає більшій кількості тепла та навпаки. Наявність таких періодів встановлено щодо 100-річних рядів інструментальних спостережень за кліматом [25; 26]. Важливо відзначити, що прості характеристики тепло- та вологозабезпеченості ландшафтних зон, та й багато комплексних показників, мають невисокий зв'язок з біокліматичними відгуками в геосистемах через невідповідне відображення синергетичного ефекту гідротермічних факторів, особливо для крайових зон амплітуди їх змін. Цей недолік долається при використанні біоенергетичного підходу [10], в якому були нетривіально використані нелінійні уявлення про біокліматичні взаємодії.

Висновки. Дослідженнями багаторічних кліматичних змін у південній підзоні Степу України визначено, що у сучасних умовах формування клімату відбувається стабільне динамічне збільшення середньорічної температури повітря та суми річних опадів. За період спостережень визначено 45 років (37,5%) із сильними та 10 років (8,3%) із дуже сильними аномаліями температурного режиму, що призвело до збільшення середньорічної температури повітря на $2,5^{\circ}\text{C}$. Абсолютна величина аномалій річних опадів за 120 років спостережень становила 26,7%. Середньорічна температура повітря та сума опадів за більш ніж вікову тривалість характеризуються трьома основними періодами: зниження (початок ХХ ст.), стабілізації або рівноваги (середина ХХ ст.) та підвищення кліматичного режиму (кінець ХХ та початок ХХІ ст.). Вивчення особливостей внутрішньорічних кліматичних змін показало, що в багаторічній динаміці спостерігається прояв потепління впродовж 10 перших місяців на $2,4^{\circ}\text{C}$ і збільшення середньорічних сум опадів на 110 мм. З використанням ланцюгів Маркова визначено внутрішньоциклічні властивості кліматичних показників.

Інерційна ймовірність повторення спекотних років оцінена в 0,48, а спекотних років після холодних – у 0,60. Інерційна ймовірність повторення вологих років становила 0,50, вологих років після сухих – 0,47. Встановлено, що спекотні періоди тривалістю 3–5 років більш ймовірні, ніж такі ж холодні періоди, а періоди без дощу тривалістю 3–5 років більш ймовірні, ніж періоди з опадами. Це вказує на циклічне підвищення середньорічної температури повітря та можливе зниження річних сум опадів у південній підзоні Степу України. В результаті розрахунків чергування кліматичних періодів встановлено максимальну ймовірність для спекотно-холодних періодів 0,275 ($t = 2$) та для вологих-сухих періодів 0,242 ($t = 3$). Ретроспективний аналіз зміни клімату підтвердив високу ймовірність подальшого прояву аномальних змін клімату. Запропоновані у роботі підходи до багатовимірної обробки метеорологічних даних можна використовувати для детального вивчення основних кліматичних показників клімату в інших регіонах, визначення багаторічних циклічних закономірностей зміни стану навколишнього середовища в умовах глобальної зміни клімату, а також для формування програм адаптивного просторово-часового природокористування.

1. Wang Q. J., Shao Y., Song Y., Schepen A., Robertson D. E., Ryu D., Pappenberger F. An evaluation of ECMWF SEAS5 seasonal climate forecasts for Australia using a new forecast calibration algorithm. *Environmental Modelling & Software*. 2019. Vol. 122. P. 104550. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104550>. (дата звернення: 30.07.2022).
2. Felice M. D., Soares M. B., Alessandri A., Troccoli A. 2019. Scoping the potential usefulness of seasonal climate forecasts for solar power management. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 142. P. 215–223. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.134>. (дата звернення: 30.07.2022).
3. Dikshit A., Pradhan B., Alamri A. M. Long lead time drought forecasting using lagged climate variables and a stacked long short-term memory model. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 755 (2). P. 142638. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142638>. (дата звернення: 30.07.2022).
4. Zhang H., Huo S., Yeager K. M., Li C., Xi B., Zhang J., He Z., Ma C. Apparent relationships between anthropogenic factors and climate change indicators and POPs deposition in a lacustrine system. *Journal of Environmental Sciences*. 2019. Vol. 83. P. 174–182. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.03.024>. (дата звернення: 30.07.2022).
5. Christidis. N., Stott P.A. The influence of anthropogenic climate change on wet and dry summers in Europe. *Science Bulletin*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.01.020>. (дата звернення: 30.07.2022).
6. Paraschiv S., Paraschiv L. S. Trends of carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels combustion (coal, gas and oil) in the EU member states from 1960 to 2018. *Energy Reports*. 2020. Vol. 6. P. 237–242. URL:

<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.116>. (дата звернення: 30.07.2022).

7. Sorokhtin O. G., Chilingar G. V., Sorokhtin N. O. Adiabatic Theory of the Greenhouse Effect. *Developments in Earth and Environmental Sciences*. 2011. Vol. 10. P. 469–498. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53757-7.00013-1>. (дата звернення: 30.07.2022).

8. Chaudhuri A. H., Gangopadhyay A., Bisagni J. J. Interannual variability of Gulf Stream warm-core rings in response to the North Atlantic Oscillation. *Continental Shelf Research*. 2009. Vol. 29 (7). P. 856–869. URL: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.01.008>. (дата звернення: 30.07.2022).

9. Weiser J., Titschack J., Kienast M., McCave I. N., Lochte A. A., Saini J., Stein R., Hebbeln D. Atlantic water inflow to Labrador Sea and its interaction with ice sheet dynamics during the Holocene. *Quaternary Science Reviews*. 2021. Vol. 256. P. 106833. URL: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.106833>. (дата звернення: 30.07.2022).

10. Lisetskii F., Chepelev O. Quantitative substantiation of pedogenesis model key components. *Advances in Environmental Biology*. 2014. Vol. 8(4). P. 996–1000.

11. Lisetskii F., Pichura V. Steppe Ecosystem Functioning of East European Plain under Age-Long Climatic Change Influence. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9(18). P. 1–9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i18/93780.

12. Dudiak N. V., Potravka L. A., Stroganov A. A. Soil and climatic bonitation of agricultural lands of the steppe zone of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 46(3). P. 534–540.

13. Pichura V. I., Malchykova D. S., Ukrainskij P. A., Shakhman I. A., Bystriantseva A. N. Anthropogenic transformation of hydrological regime of the Dnieper river. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45(3). P. 445–453.

14. Pichura V. I., Potravka L. A., Skrypchuk P. M., Stratichuk N. V. Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper river. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21 (4). P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/119521>.

15. Oti J. O., Kabo-Bah A. T., Ofosu E. Hydrologic response to climate change in the Densu River Basin in Ghana. *Heliyon*. 2020. Vol. 6 (8). URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04722>. (дата звернення: 30.07.2022).

16. Lisetskii F. Rivers in the focus of natural-anthropogenic situations at catchments. *Geosciences (Switzerland)*. 2021. Vol. 11(2). P. 1–6.

17. Assan E., Suvedi M., Olabisi L. S., Bansah K. J. Climate change perceptions and challenges to adaptation among smallholder farmers in semi-arid Ghana: A gender analysis. *Journal of Arid Environments*. 2020. Vol. 182. P. 104247. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104247>. (дата звернення: 30.07.2022).

18. Ukrainskiy P., Terekhin E., Gusarov A., Lisetskii F., Zelenskaya E. 2020. The influence of relief on the density of light-forest trees within the small-dry-valley network of uplands in the forest-steppe zone of eastern Europe. *Geosciences (Switzerland)*. 2020. Vol. 10(11). P. 1–18.

19. Dudiak N. V., Pichura V. I., Potravka L. A., Stratichuk N. V. Geomodelling of destruction of soils of Ukrainian steppe due to water erosion. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20(8). P. 192–198. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/110789>. (дата звернення: 30.07.2022).

20. Dudiak N. V., Pichura V. I., Potravka L. A., Stroganov A. A. Spatial modeling of the effects of deflation destruction of the steppe

soils of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21(2). P. 166–177. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/116321>. (дата звернення: 30.07.2022). **21.** Breus D., Yevtushenko O., Skok S., Rutta O. Retrospective studies of soil fertility change on the example of the Kherson region (Ukraine). *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2019. Vol. 19(5.1). P. 645–652. **22.** Breus D., Yevtushenko O., Skok S., Rutta O. 2020. Method of forecasting the agroecological state of soils on the example of the South of Ukraine. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2020. Vol. 20 (5.1). P. 523–528. **23.** Lisetskii F. N., Pichura V. I. Catena linking of landscape-geochemical processes and reconstruction of pedosedimentogenesis: A case study of defensive constructions of the mid-17th century, South Russia. *Catena*. 2020. Vol. 187. P. 104300. **24.** Domaratskiy E. O., Bazaliy V. V., Domaratskiy O. O., Dobrovolskiy A. V., Kyrychenko N. V., Kozlova O. P. Influence of mineral nutrition and combined growth regulating chemical on nutrient status of sunflower. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45(1). P. 126–129. **25.** Maheras P. Changes in precipitation conditions in the western Mediterranean over the last century. *J. Climatol.* 1988. Vol. 8. P. 179–189. **26.** Maheras P. Principal component analysis of western Mediterranean air temperature variations 1866–1985. *Theor. Appl. Climatol.* 1989. Vol. 39. P. 137–145.

REFERENCES:

1. Wang Q. J., Shao Y., Song Y., Schepen A., Robertson D. E., Ryu D., Pappenberg F. An evaluation of ECMWF SEAS5 seasonal climate forecasts for Australia using a new forecast calibration algorithm. *Environmental Modelling & Software*. 2019. Vol. 122. P. 104550. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104550>. (data zvernennia: 30.07.2022).
2. Felice M. D., Soares M. B., Alessandri A., Troccoli A. 2019. Scoping the potential usefulness of seasonal climate forecasts for solar power management. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 142. P. 215–223. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.134>. (data zvernennia: 30.07.2022).
3. Dikshit A., Pradhan B., Alamri A. M. Long lead time drought forecasting using lagged climate variables and a stacked long short-term memory model. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 755 (2). P. 142638. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142638>. (data zvernennia: 30.07.2022).
4. Zhang H., Huo S., Yeager K. M., Li C., Xi B., Zhang J., He Z., Ma C. Apparent relationships between anthropogenic factors and climate change indicators and POPs deposition in a lacustrine system. *Journal of Environmental Sciences*. 2019. Vol. 83. P. 174–182. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.03.024>. (data zvernennia: 30.07.2022).
5. Christidis. N., Stott P.A. The influence of anthropogenic climate change on wet and dry summers in Europe. *Science Bulletin*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.01.020>. (data zvernennia: 30.07.2022).
6. Paraschiv S., Paraschiv L. S. Trends of carbon dioxide (CO₂) emissions from

fossil fuels combustion (coal, gas and oil) in the EU member states from 1960 to 2018. *Energy Reports*. 2020. Vol. 6. P. 237–242. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.116>. (data zvernennia: 30.07.2022).

7. Sorokhtin O. G., Chilingar G. V., Sorokhtin N. O. Adiabatic Theory of the Greenhouse Effect. *Developments in Earth and Environmental Sciences*. 2011. Vol. 10. P. 469–498. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53757-7.00013-1>. (data zvernennia: 30.07.2022).

8. Chaudhuri A. H., Gangopadhyay A., Bisagni J. J. Interannual variability of Gulf Stream warm-core rings in response to the North Atlantic Oscillation. *Continental Shelf Research*. 2009. Vol. 29 (7). P. 856–869. URL: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.01.008>. (data zvernennia: 30.07.2022).

9. Weiser J., Titschack J., Kienast M., McCave I. N., Lochte A. A., Saini J., Stein R., Hebbeln D. Atlantic water inflow to Labrador Sea and its interaction with ice sheet dynamics during the Holocene. *Quaternary Science Reviews*. 2021. Vol. 256. P. 106833. URL: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.106833>. (data zvernennia: 30.07.2022).

10. Lisetskii F., Chepelev O. Quantitative substantiation of pedogenesis model key components. *Advances in Environmental Biology*. 2014. Vol. 8(4). P. 996–1000.

11. Lisetskii F., Pichura V. Steppe Ecosystem Functioning of East European Plain under Age-Long Climatic Change Influence. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9(18). P. 1–9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i18/93780.

12. Dudiak N. V., Potravka L. A., Stroganov A. A. Soil and climatic bonitation of agricultural lands of the steppe zone of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 46(3). P. 534–540.

13. Pichura V. I., Malchukova D. S., Ukrainskij P. A., Shakhman I. A., Bystriantseva A. N. Anthropogenic transformation of hydrological regime of the Dnieper river. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45(3). P. 445–453.

14. Pichura V. I., Potravka L. A., Skrypchuk P. M., Straticchuk N. V. Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper river. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21 (4). P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/119521>.

15. Oti J. O., Kabo-Bah A. T., Ofosu E. Hydrologic response to climate change in the Densu River Basin in Ghana. *Heliyon*. 2020. Vol. 6 (8). URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04722>. (data zvernennia: 30.07.2022).

16. Lisetskii F. Rivers in the focus of natural-anthropogenic situations at catchments. *Geosciences (Switzerland)*. 2021. Vol. 11(2). P. 1–6.

17. Assan E., Suvedi M., Olabisi L. S., Bansah K. J. Climate change perceptions and challenges to adaptation among smallholder farmers in semi-arid Ghana: A gender analysis. *Journal of Arid Environments*. 2020. Vol. 182. P. 104247. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104247>. (data zvernennia: 30.07.2022).

18. Ukrainskiy P., Terekhin E., Gusarov A., Lisetskii F., Zelenskaya E. 2020. The influence of relief on the density of light-forest trees within the small-dry-valley network of uplands in the forest-steppe zone of eastern Europe. *Geosciences (Switzerland)*. 2020. Vol. 10(11). P. 1–18.

19. Dudiak N. V., Pichura V. I., Potravka L. A., Straticchuk N. V. Geomodelling of destruction of soils of Ukrainian steppe due to water erosion. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20(8). P. 192–198. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/110789>. (data zvernennia: 30.07.2022).

20. Dudiak N. V., Pichura V. I., Potravka L. A., Stroganov A. A. Spa-

tial modeling of the effects of deflation destruction of the steppe soils of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21(2). P. 166–177. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/116321>. (data zvernennia: 30.07.2022).

21. Breus D., Yevtushenko O., Skok S., Rutta O. Retrospective studies of soil fertility change on the example of the Kherson region (Ukraine). *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2019. Vol. 19(5.1). P. 645–652. **22.** Breus D., Yevtushenko O., Skok S., Rutta O. 2020. Method of forecasting the agro-ecological state of soils on the example of the South of Ukraine. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2020. Vol. 20 (5.1). P. 523–528. **23.** Lisetskii F. N., Pichura V. I. Catena linking of landscape-geochemical processes and reconstruction of pedosedimentogenesis: A case study of defensive constructions of the mid-17th century, South Russia. *Catena*. 2020. Vol. 187. P. 104300. **24.** Domaratskiy E. O., Bazaliy V. V., Domaratskiy O. O., Dobrovolskiy A. V., Kyrychenko N. V., Kozlova O. P. Influence of mineral nutrition and combined growth regulating chemical on nutrient status of sunflower. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45(1). P. 126–129. **25.** Maheras P. Changes in precipitation conditions in the western Mediterranean over the last century. *J. Climatol.* 1988. Vol. 8. P. 179–189. **26.** Maheras P. Principal component analysis of western Mediterranean air temperature variations 1866–1985. *Theor. Appl. Climatol.* 1989. Vol. 39. P. 137–145.

Pichura V. I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Potraka L. O., Doctor of Economics, Professor, Biloshkurenko O. S., Senior Student (Kherson State Agrarian and Economic University), Vozniuk N. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

REGULARITIES OF PERENNIAL CLIMATE CHANGES IN THE STEPPE ZONE OF UKRAINE

Climate changes is differ by diversity, characterized by different levels of intensity of manifestations, the frequency of climatic anomalies, the periodicity of extreme weather events in space and time. The article presents a retrospective analysis of climate change in the southern subzone of the Steppe of Ukraine. The study used the annual values of surface air temperature and sum of precipitation at Kherson station, archival observation data for 120 years (1900–2019). The observation period with strong manifestations of anomalous temperatures is 45 years (37.5%) and 10 years (8.3%) with very strong anomalies of the temperature regime. During this period, there was an increase in average annual air temperature by 2.5° C. The absolute val-

ue of anomalies of annual precipitation was 26.7%. Three main periods of average annual air temperature and the amount of precipitation over a hundred years have been identified: decrease (early twentieth century), stabilization or balance (mid-twentieth century) and growth (late twentieth and early twenty-first century). Studies of intra-annual climate change have shown that in the long-term dynamics there is a manifestation of warming during the first 10 months at 2.4° C and an increase in average annual precipitation by 110 mm. The intra-cyclic properties of climatic indicators were determined using Markov chains. The inertial probability of recurrence of hot years is estimated at 0.48, and hot years after cold at 0.60. The inertial probability of recurrence of wet years was 0.50, wet years after dry – 0.47. It has been found that hot periods lasting 3–5 years are more likely than the same cold periods, and periods without rain lasting 3–5 years are more likely than periods with precipitation. This indicates a cyclical increase in average annual air temperature and a possible decrease in annual precipitation in the southern subzone of the Steppe of Ukraine. As a result of calculations of alternation of climatic periods, was determined the maximum probability for hot-cold periods 0.275 ($t = 2$) and for wet-dry periods 0.242 ($t = 3$).

***Keywords:* climate change; air temperature; precipitation; time series analysis; multidimensional statistics; Markov chains.**