

УДК 556.5(282.247.32)

DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2022.2.14>

АНТРОПОГЕННО-КЛІМАТИЧНА ОБУМОВЛЕНІСТЬ ЗМІНИ СТОКУ РІЧКИ ДНІПРО

¹Потравка Л.О. – д.е.н., професор,

¹Пічура В.І. – д.с.-г.н., професор,

²Iljasevicius K. – *vedėjas, projektu ir gamybos organizavimo skyrius,*

¹Херсонський державний аграрно-економічний університет, Україна

²Viešojo įstaiga «Grunto valymo technologijos», Lietuva

pichuravitalii@gmail.com, potravkalarisa@gmail.com

Процес формування річкового стоку необхідно вивчати з позиції сприйняття його результатом системної дії антропогенно-кліматичних факторів, які мають просторово-часову варіативність впливу на зміну водного режиму річок. Зміни водності впливають на технічні та економічні умови функціонування господарських об'єктів і комплексів, визначають потенційні витрати на захист від небезпечних гідрологічних процесів, рівень якості життя та добробуту і здоров'я населення. Антропогенна трансформація водного режиму та істотне скорочення стоку є причиною деградації водної екосистем р. Дніпро. Виявлення тенденції зміни стоку річки являє собою складну задачу на підставі недосконалості методів вимірювання та просторового варіювання параметрів, стохастичною природою зміни. У дослідженнях використані фактичні значення динаміки клімату по даним станції Херсон за період 1945–2021 рр. та дані щорічних змін параметрів стоку Дніпра за 1936–2008 рр. Визначено два періоди формування гідрологічного ряду: І період – антропогенна трансформація стоку та становлення нових гідрологічних умов (створення каскаду дніпровських водосховищ – 1936–1977 рр.); ІІ період – антропогенно-кліматично обумовлене формування стоку та стабілізація нових гідрологічних умов (з 1978 р. по теперішній час). Встановлено, що у І період був відсутній крос-кореляційний зв'язок впливу енергії клімату на формування водного режиму ($r=0,11$), що обумовлено значним антропогенним впливом на природний стан русла річки та різким зниженням водності. ІІ-й період характеризується вираженою крос-кореляційною залежністю впливу енергії клімату ($r=0,91$) на тренд-циклічну складову формування водного режиму річки Дніпро. За результатами прогнозування визначено, що при збереженні тенденції формування кліматичних умов, відбуватиметься стабільне тренд-циклічне зменшення енергії клімату на $10,3 \text{ МДж/м}^2$ в рік, що обумовить щорічне зниження стоку річки на $18,1 \text{ м}^3/\text{с}$ на рік. Встановлена залежність впливу енергії клімату на формування стоку річки Дніпро надає можливості підвищити рівень ефективності управління каскадом дніпровських водосховищ за допомогою обґрунтованого регулювання норм та кількості попусків гідротехнічних споруди для забезпечення належного стоку з метою покращення саморегуляції, самоочищення та самовідновлення Дніпра.

Ключові слова: клімат, антропогенне навантаження, стік річки, водний режим, моделювання, прогнозування, управління, річка Дніпро.

Постановка проблеми. Інтенсивне використання водних ресурсів і перетворення природних ландшафтів під впливом господарської діяльності людини призвели до змін природного водного балансу річкових водозборів, що суттєво порушили їх гідрологічний режим, який визначається змінами водності і динаміки річкового стоку. Природа багаторічних змін водного режиму річок обумовлена змінами клімату і посиленням впливів антропогенних чинників. Зокрема, водний режим багатьох річок значно порушений господарською діяльністю людини [1, 2]. Тому, процес формування річкового стоку необхідно вивчати з позиції сприйняття його результатом системної дії антропогенно-кліматичних факторів, які мають просторово-часову варіативність впливу на зміну водного режиму річок. Застосування методів багатомірної статистики та аналізу часових рядів дають можливість отримати детальне уявлення про ретроспективу формування стоку, визначення основних часових періодів його змін та антропогенної трансформації, впливу клімату та його енергії, інтерполяції, екстраполяції та прогнозування часових гідрологічних рядів.

Із збільшенням сили антропогенного навантаження та порушенням природного стану компонентів навколишнього середовища, підвищується вплив змін клімату на стан та напрямок функціонування природних екосистем [3]. Посилення негативних проявів, що приводять до антропогенно-кліматичних змін, фіксуються на водозбірних площах, акваторіях водойм та водотоків [4, 5], що, в першу чергу, характеризується зниженням рівня забезпеченості водними ресурсами та їх якістю [6, 7]. Зокрема, на 60% знищена природна гідромережа малих та середніх річок [8, 9], зросла частота аномалій клімату [10, 11] та проявів водно-ерозійних процесів [12, 13], дифузного забруднення річок [14].

Виявлення відмінностей в гідрологічному режимі у часі дозволяє виділити і детально вивчити періоди формування стоку, визначити початок його трансформації, що надає можливість встановлення впливу ретроспективних причин на формування сучасних тенденцій динаміки гідрологічних характеристик. Особливості водозбірних басейнів проявляються, в першу чергу, в розбіжностях тривалості і амплітуді короткострокових коливань стоку, пов'язаних з розмірами водотоку, особливостями коливань клімату та співвідношенні джерел живлення і антропогенного регулювання стоку.

Ретроспективний аналіз динаміки стоку є необхідним елементом моделювання та детального вивчення зміни стану природних і природно-технічних систем, пов'язаних з використанням водних ресурсів. Зміни водності впливають на технічні та економічні умови функціонування господарських об'єктів і комплексів, визначають потенційні витрати на захист від небезпечних гідрологічних процесів, рівень якості життя та добробуту і здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз і прогноз стоку розглядається в багатьох публікаціях як міждисциплінарне завдання, задовільне рішення якої передбачає врахування великої кількості чинників, складність і неоднозначність їх взаємодії. У зв'язку з цим, аналіз фактичних даних [15] різними вченими засвідчує неоднозначні та суперечливі результати: в одному випадку вважають, що стік збільшується [16, 17], в іншому – тенденцій не виявлено [18], також існують ствердження наявності хаотичної динаміки [19], або фіксують наявність від'ємного тренду [20]. Неоднозначність результатів в більшій мірі залежала від нерівномірності періодів спостережень і різноманітності застосовуваних методів статистичної обробки даних. Причини змін стоку багато вчених вбачають у циклах сонячної активності та зміні клімату. Більш очевидною причиною формування динаміки стоку є будівництво каскаду водосховищ, яке призвело до порушення природного живлення річки Дніпро.

Антропогенна трансформація водного режиму та істотне скорочення стоку є причиною деградації водної екосистем р. Дніпро. Виявлення тенденції зміни стоку річки являє собою складну задачу на підставі недосконалості методів вимірювання та просторового варіювання параметрів, стохастичною природою зміни.

Постановка завдання. Встановити антропогенно-кліматичну обумовленість зміни стоку річки Дніпро, визначити основні етапи його формування та здійснити прогноз до 2030 року.

Матеріали та методи досліджень. У дослідженні використані фактичні значення приземної температури повітря (T , °C) та суми атмосферних опадів (P , мм) по даним станції Херсон за 77 років (1945–2021 рр.), данні щорічних змін параметрів стоку Дніпра (W , м³/с) за 73 роки, фіксованих на різних створах: 1936–1975 рр. (с. Лоцманська Кам'янка в межах м. Дніпро) – першоджерело даних Г.І. Швеця [21], 1976–2008 рр. (м. Херсон) – фактичні спостереження Херсонської гідробіологічної станції НААН України.

З метою проведення ретроспективного аналізу, визначення часових закономірностей формування кліматичних умов (енергія клімату) та стоку річки, оцінки різномірності часових періодів використано наступні методи дослідження: метод описової статистики, регресійного аналізу та метод різницевих інтегральних кривих модульних коефіцієнтів. З процесі визначення циклічних складових та виявлення найбільших значень періодограми формування часових рядів використано метод одномірного аналізу Фур'є [22].

Середньорічне значення надходження енергії клімату (Q , МДж/м²) [23–25] на поверхню землі розраховано за формулою:

$$Q = 41,868R \cdot e^{(-18,8 \frac{R^{0,73}}{P})} \quad (1)$$

де R – баланс сонячної радіації, ккал/см²; P – растр річної суми атмосферних опадів, мм.

Надходження балансу сонячної радіації (R , ккал/см²) розраховано за формулою:

$$R = \frac{122,72T + 923,54}{41,868} \quad (2)$$

де T – середньорічне значення температури приземної температури повітря, °C

Ретроспективне дослідження та прогнозування змін енергії клімату здійснено із урахуванням основних складових часових процесів за формулою:

$$Q_t = Tr_t + S_t + C_t + \varepsilon_t, \quad (3)$$

де Q_t – значення енергії клімату; Tr_t – відгук трендової складової; S_t – відгук сезонної складової; C_t – відгук середньорічної циклічної складової; ε_{t-n} – відгук імовірнісної стохастичної або нерегульованої компоненти зміни кліматичних умов.

Для прогнозування змін енергії клімату використано адаптивний метод аналізу часових рядів Хольта-Уінтерса (трьохпараметричне експоненціальне згладжування) [26], який враховує закономірності ретроспективних кліматичних змін, в тому числі циклічну та трендову складову:

$$\begin{cases} L_t = \frac{\alpha Q_t}{C_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \\ T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \\ C_t = \gamma \frac{Q_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-c} \\ \hat{Q}_{t+p} = (L_t + pT_t)C_{t-c+p} \end{cases} \quad (4)$$

де Q_t – ретроспективні значення енергії клімату; L_t – вплив ретроспективних значень на прогноз $t+n$; T_t – трендова складова; C_t – циклічна складова $t+n$; $\hat{Q}_{t+p}$ – значення прогнозу енергії клімату.

Метод Хольта-Уінтерса є одним із найбільш надійних і широко використовуваних у практиці прогнозування, оскільки забезпечує високий ступінь достовірності отриманих результатів.

Крос-кореляційний аналіз використано для встановлення закономірностей впливу антропогенно-кліматичних факторів на динаміку формування стоку річки Дніпро та часової інтерполяції прогнозного періоду гідрологічного ряду.

Для ретроспективного аналізу та прогнозування використано робочі модулі Time series and forecasting (TSF) ліцензованого програмного продукту STATISTICA 10.0.

Результати досліджень. В результаті масштабного гідробудівництва (період 1934–1976 рр.), водний режим на великих долинно-річкових ділянках Дніпра штучно був трансформований з річкового в озерний, що призвело до різкого уповільнення циркуляції водних мас і появи великих зон застою [27]. Створення водосховищ дніпровського каскаду істотно збільшило водоресурсний потенціал України, але при цьому привело до порушення водного стоку, евтрофікації вод, значного підтоплення прибережних територій, абразії берегів, підняття рівня ґрунтових вод, збільшення обсягу підземного стоку, підвищення рівня забруднення підземних вод, порушення ґрунтового живлення річки та інших процесів. Накопичення мулу спричинило порушення водообміну між поверхневими і підземними водами.

Аналіз часових рядів зміни стоку р. Дніпро [28] за період функціонування каскаду водосховищ та зміни клімату показав зменшення середньорічних обсягів стоку (W , м³/с) р. Дніпро 4,3 м³/с в рік (рис. 1а), тобто за 73 роки спостережень середньорічне значення стоку знизилось на 314 м³/с (з 1572 м³/с до 1258 м³/с. У багатоводні роки максимальне значення W варіювало в межах 1970–2860 м³/с, у маловодні в межах 760–1050 м³/с. Багаторічна норма W склала 1450 м³/с з рівнем варіації гідрологічного ряду 26,5%.

За останні 77 років відбулося значне тренд-циклічне підвищення середньорічної температури повітря, асинхронне зменшення суми річних опадів та їх значний, нерівномірний сезонний розподіл. Циклічні складові багаторічного формування кліматичних показників склали: температури повітря – 8 років, сума опадів – 11 років. Останні 25 років (рис. 1б) визначено найбільш екстремальним періодом за частотою аномальних кліматичних проявів, які збільшилися у 3,1 рази (з 23% до 72%), що спричинило зростання температурного режиму за циклічно-поліноміальною закономірністю ($R=0,93$, $R^2=0,86$) і призвело до зростання середньорічної температури повітря в період 1945–2021 рр. на 3,7 °С із середньою швидкістю зростання 0,048 °С на рік.

В період 1998–2021 рр. фіксується систематичне перевищення багаторічної норми (9,8 °С) на 0,7–2,7 °С і більше. Циклічність змін атмосферних опадів знаходиться у асинхронній закономірності змін відносно температурного режиму. В період спостережень сума річних атмосферних опадів змінювалася в межах 186–778 мм (рис. 1:2-а) із рівнем варіації 27,2%, багаторічна норма склала 415 мм (рис. 1в).

Циклічність змін атмосферних опадів і асинхронний хід надходження сонячної радіації обумовлює зниження енергії клімату (Q , МДж/м²), визначає процес формування гідрологічних процесів. Так, річна енергія клімату за 1945–2021 рр. варіювали від 430 до 1350 МДж/м² (рис. 1з), мінімальне його значення зафіксовано у 1945 р., а максимальне – у 1997 р. Встановлено,

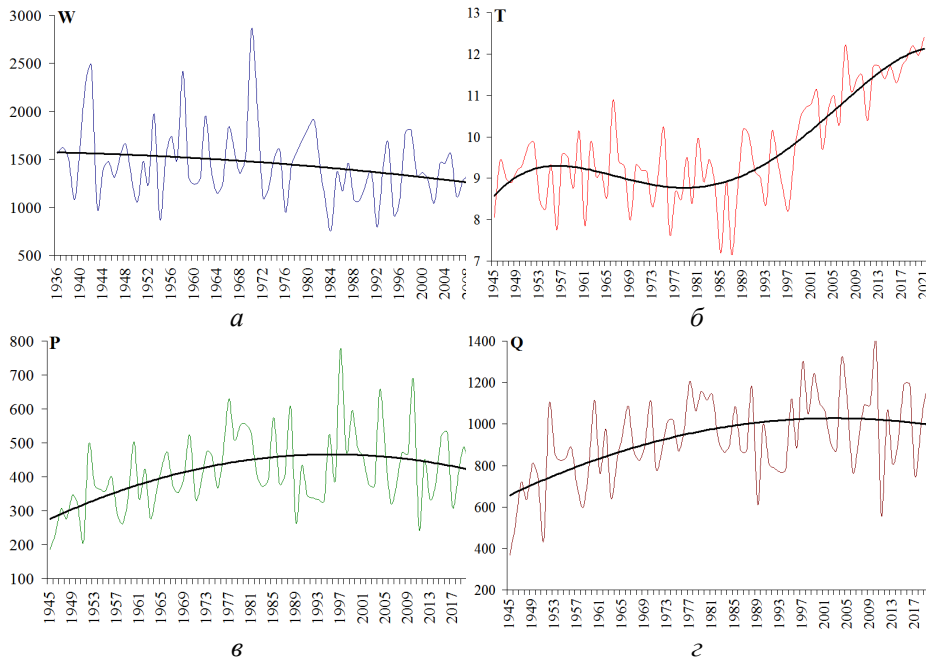


Рис. 1. Динаміка змін клімату та стоку річки Дніпро: а – стоку річки (W , $\text{м}^3/\text{с}$); б – сума атмосферних опадів за рік (P , мм); в – середньорічна температура повітря (T , $^{\circ}\text{C}$); г – надходження енергії клімату за рік (Q , $\text{МДж}/\text{м}^2$)

що з 1997 до 2021 рр. енергія клімату зменшилися на 21,0% (від 1350 до 1070 $\text{МДж}/\text{м}^2$) із середньорічною швидкістю зниження 9,0 $\text{МДж}/\text{м}^2$ на рік.

Антропогенне порушення природного стану водозбору та перетворення руслової системи річки Дніпро обумовило поділ гідрологічного ряду на два періоди (рис. 2а), що добре виокремлюється у результаті перетворення даних із застосуванням методу різницевого інтегральних кривих модульних коефіцієнтів W_i (рис 2б): І період – антропогенна трансформація стоку та становлення нових гідрологічних умов (створення каскаду дніпровських водосховищ – 1936–1977 рр.); ІІ період – антропогенно-кліматично обумовлене формування стоку та стабілізація нових гідрологічних умов (з 1978 р. по теперішній час).

У період трансформації та становлення нового водного режиму річки, середнє багаторічне значення стоку у порівнянні із природними умовами формування стоку зменшилася на 157 $\text{м}^3/\text{с}$ (з 1704,2 $\text{м}^3/\text{с}$ до 1547,2 $\text{м}^3/\text{с}$). В свою чергу середньорічне значення стоку у ІІ-му періоді зменшилося до 1274,7 $\text{м}^3/\text{с}$. В результаті досліджень встановлено, що у період трансформації стоку річки Дніпро (1936–1977 рр.) був відсутній крос-кореляційний зв'язок впливу енергії клімату (рис. 2 в, д) на формування водного режиму ($r=0,11$),

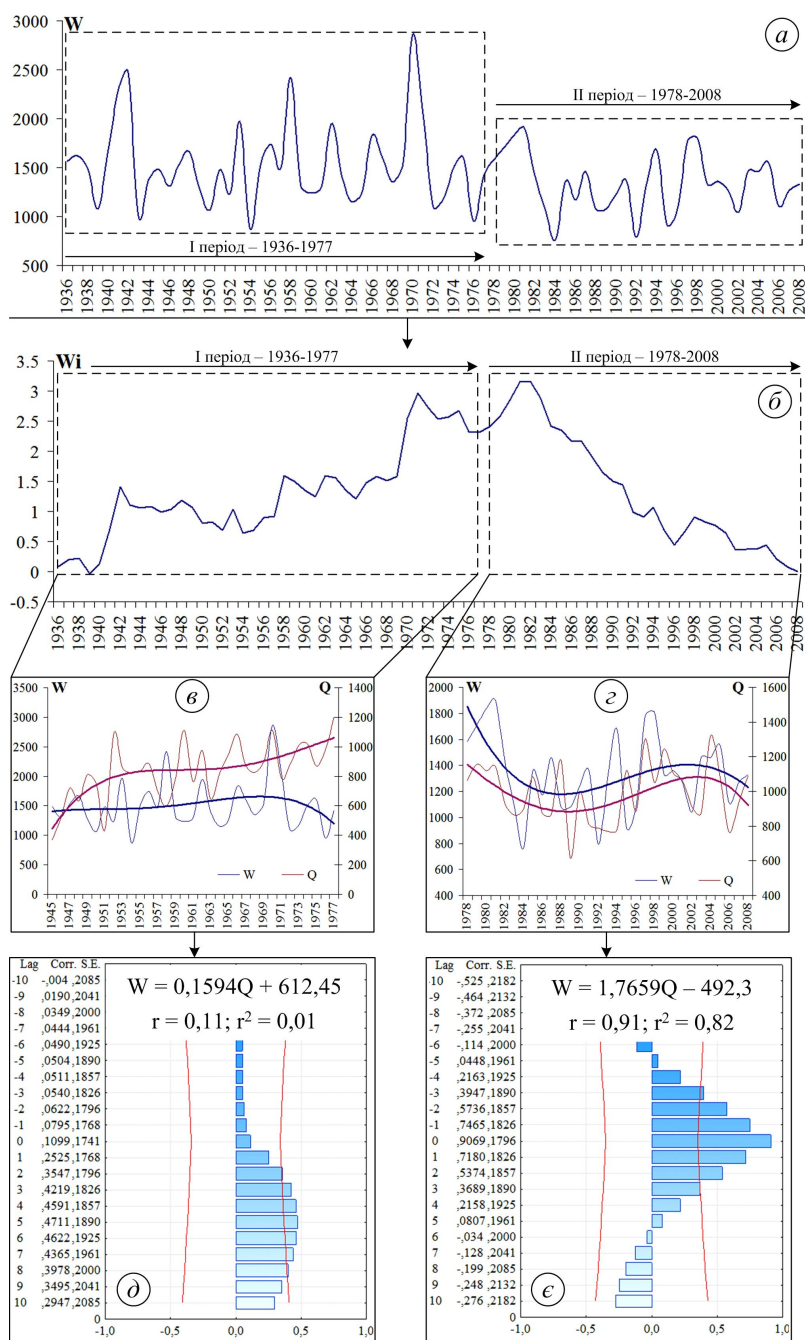


Рис. 2. Періоди формування стоку (W, м³/с) річки Дніпра: а – динаміка W; б – інтегральна крива Wi; в – динаміка W і Q в період 1945–1977 рр.; г – динаміка W і Q в період 1978–2008 рр.; д і е – крос-кореляція значень динаміки W і Q

що обумовлено значним антропогенним впливом на природний стан русла річки та різким зниженням водності, яке спричинено витратами великих об'ємів води на заповнення головних водосховищ каскаду і посиленням водоспоживання.

Другий період антропогенно-кліматично обумовленого формування стоку та стабілізації нових гідрологічних умов характеризується вираженою крос-кореляційною залежністю впливу енергії клімату ($r=0,91$) на тренд-циклічну складову формування водного режиму (рис. 2 з, є) річки Дніпро. Будівництво і функціонування каскаду дніпровських водосховищ докорінно змінило водний режим річки, незначна тенденція зниження стоку р. Дніпра зберігається і в нинішній час. Середньорічне скорочення стоку на теперішній час склало $429,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальне значення стоку за даний період не перевищувало $1780 \text{ м}^3/\text{с}$. Внутрішньорічний розподіл стоку характеризується слабкою весняною повинню (в середньому $1680 \text{ м}^3/\text{с}$) і літно-осінньої меженню (в середньому $1090 \text{ м}^3/\text{с}$). Середнє значення стоку за весняний період у порівнянні з періодом до зарегулювання Дніпра зменшилося в 1,93 рази.

Визначена залежність впливу енергії клімату на формування стоку річки Дніпро надає можливості підвищення рівня управління водонакопиченням у каскаді дніпровських водосховищ, що обґрунтовано регулюванням норми та кількості необхідних попусків гідротехнічних споруд для забезпечення належного стоку з метою покращення саморегуляції, самоочищення та самовідновлення Дніпра.

В результаті моделювання динаміки енергії клімату (рис. 3) створено прогнозну модель такого виду:

$$\hat{Q}_{t+n} = \left(\left(\frac{0,3Q_t}{S_{t-11}} + 0,7(L_{(t-1)} + Tr_{t-1}) \right) + n(0,1(L_t - L_{t-1}) + 0,9Tr_{t-1}) \right) \cdot \left(0,1 \frac{Q_t}{L_t} + 0,9S_{t-11} \right)_{t-11+n}$$

де L_t – вплив ретроспективних даних формування енергії клімату на прогнозний період $t+n$; Tr_t – відгук трендової складової; S_t – відгук сезонної складової на прогнозний період $t+n$; $n=10$ років.

Похибка моделей для прогнозування енергії клімату склала 18%.

Висновки. Із застосуванням багатомірної статистики та методів аналізу часових рядів визначено основні етапи ретроспективних змін водного режиму та встановлено високий рівень впливу енергії клімату на формування стоку річки Дніпро. Визначено, що при збереженні тенденції формування кліматичних умов, із ймовірністю в 82%, відбуватиметься стабільне тренд-циклічне зменшення енергії клімату на $10,3 \text{ МДж}/\text{м}^2$ в рік, до 2030 року може становити $1047 \pm 83 \text{ МДж}/\text{м}^2$, що обумовить щорічне зниження стоку річки на $18,1 \text{ м}^3/\text{с}$ в рік і до 2030 року може становити $1357 \pm 147 \text{ м}^3/\text{с}$. Результати детального ретроспективного аналізу і про-

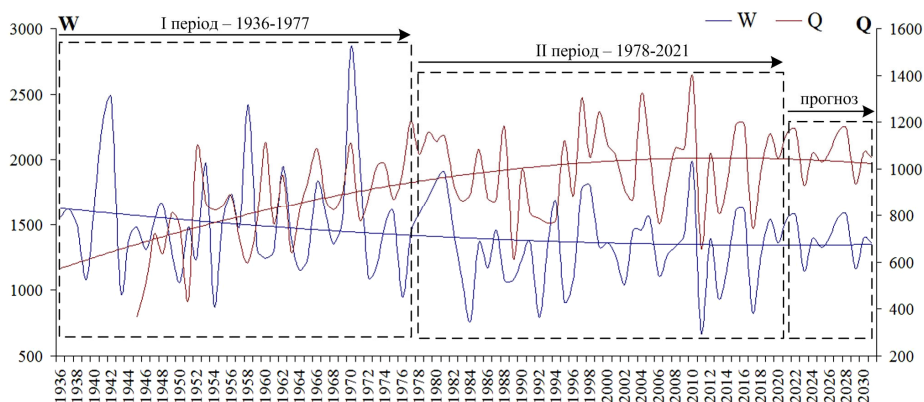


Рис. 3. Динаміка та проноз зміни енергії клімату (Q , МДж/м²) та стоку (W , м³/с) річки Дніпро

гнозування ймовірності змін енергії клімату та його вплив на сток Дніпра, підтверджують перебіг трансформації екосистеми річки, визначають умови і результати антропогенно-кліматичного формування водного режиму та можливих його змін. Встановлена залежність впливу енергії клімату на формування стоку річки Дніпро надає можливості підвищити рівень ефективності управління каскадом дніпровських водосховищ за допомогою обґрунтованого регулювання норм та кількості попусків гідротехнічних споруди для забезпечення належного стоку з метою покращення саморегуляції, самоочищення та самовідновлення Дніпра.

ANTHROPOGENIC AND CLIMATIC CONDITIONALITY OF CHANGES IN THE FLOW OF THE DNIEPER RIVER

¹Potravka L.O. – Doctor of Economic Sciences, Professor;

¹Pichura V.I. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

²Iljasevicius Konstantinas – vedėjas, projektų ir gamybos organizavimo skyrius,

¹Kherson State Agrarian and Economic University, Ukraine

²Viešoji įstaiga «Grunto valymo technologijos», Lietuva

pichuravitalii@gmail.com, potravkalarisa@gmail.com

The process of formation of river runoff should be studied from the point of view of its perception as a result of the systemic action of anthropogenic-climatic factors, which have a space-time variability of influence on the change in the water regime of rivers. Changes in water content affect the technical and economic conditions of functioning of economic facilities and complexes, determine the potential costs of protection against dangerous hydrological processes, the quality of life and well-being and health of the population. Anthropogenic transformation of the water regime and significant reduction of runoff has been the cause of degradation of the water ecosystems of the Dnieper

River. Detection of the trend of changes in the flow of the river was a complex task has based on the imperfection of measurement methods and spatial variation of parameters, the stochastic nature of the change. The studies have used the actual values of climate dynamics in this station Kherson for the period of 1945-2021 years and data on annual changes in the flow parameters of the Dnieper for 1936-2008 years. Two periods of formation of hydrological series are defined: I period – anthropogenic transformation of runoff and formation of new hydrological conditions (creation of cascade of Dnieper reservoirs – 1936-1977 years); II period – anthropogenically and climatically determined formation of runoff and stabilization of new hydrological conditions (since 1978 to the present). It was found that in the first period there was no cross-correlation relationship of the influence of climate energy on the formation of the water regime ($r = 0.11$), which was due to a significant anthropogenic effect on the natural state of the river bed and a sharp decrease in water content. The second period is characterized by a pronounced cross-correlation dependence of the influence of climate energy ($r = 0.91$) on the trend-cyclic component of the formation of the water regime of the Dnieper River. According to the results of forecasting, it has been determined that with continued trends in the formation of climatic conditions, there would be a stable trend-cyclic decrease in climate energy by 10.3 MJ/m^2 per year, which would lead to an annual decrease in river flow by $18.1 \text{ m}^3/\text{s}$ per year. The established dependence of climate energy on the formation of the Dnieper River drain has provided opportunities to increase the level of efficiency of managing the cascade of Dnieper reservoirs by means of reasonable regulation of norms and the number of releases of hydraulic structures to ensure proper runoff in order to improve self-regulation, self-cleaning and self-renewal of the Dnieper.

Keywords: climate, anthropogenic load, river flow, water regime, modeling, forecasting, management, Dnieper River.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jayawardena A. W., Li W. K., Xu P. Neighbourhood selection for local modelling and prediction of hydrological time series. *Journal of Hydrology*. 2002. Vol. 258(1–4). P. 40–57.
2. Прытков М. Я., Виноградова О. М. Районирование бассейна Ладожского озера по условиям формирования годового стока рек. *География и природные ресурсы*. 2007. № 1. С. 76–83.
3. Lisetskii F., Polshina M., Pichura V., Marinina O. Climatic factor in long-term development of forest ecosystems. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2017. Vol. 17 (32). P. 765–774.
4. Пічура В. І. Басейнова організація природокористування на водозбірній території транскордонної річки Дніпро. Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. 380 с.
5. Пічура В. І. Атлас екологічного стану басейну ріки Дніпро. Херсон : «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. 36 с.
6. 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.

7. Pichura V. I., Potravka L. A., Skrypchuk P. M., Stratchuk 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.
8. Oti J. O., Kabo-Bah A. T., Ofori 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>
9. Lisetskii F. Rivers in the focus of natural-anthropogenic situations at catchments. *Geosciences (Switzerland)*. 2021. Vol. 11(2). P. 1–6.
10. 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. 104247. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104247>
11. Ukrainskiy P., Terekhin E., Gusarov A., Lisetskii F., Zelenskaya E. 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.
12. Пічура В. І. Геомодельовання водно-ерозійних процесів у басейні річки Дніпро. *Agroecological journal*. 2016. № 4. С. 66–75.
13. Dudniak N. V., Pichura V. I., Potravka L. A., Stratchuk 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.
14. Пічура В. І. Геомодельовання зональної небезпеки забруднення біогенними речовинами поверхневих вод у транскордонному басейні Дніпра. *Біоресурси і природокористування*. 2017. Том 9, № 1–2. С. 24–36.
15. Осадчий В. І., Набиванець Б. Й., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. Київ: Ніка-Центр, 2008. 656 с.
16. Вишневський В. І., Сташук В. А., Сакевич А. М. Водогосподарський комплекс у басейні Дніпра. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2011. 188 с.
17. Хільчевський В. К., Ромась І. М., Ромась М. І. та ін. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра. Київ: Ніка-Центр, 2007. 184 с.
18. Гребінь В. В. Географо-гідрологічний аналіз як метод досліджень сучасних змін водного режиму річок. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2006. № 9. С. 17–30.
19. Юшкина О. А. Анализ и прогноз временной изменчивости речного стока методами нелинейной динамики: автореферат диссертации кандидата географических наук. Иркутск, 2009. 20 с.
20. Андрианова О. Р., Белевич Р. Р., Скипа М. И. О некоторых особенностях климатической изменчивости расходов рек Дуная, Днепра и уровня моря в Одессе в XX столетии. URL: <http://www.ecologylife.ru/ekologiya->

chernogomorya-2003/o-nekotoryih-osobennostyah-klimaticheskoy-izmenchivosti-rashodovrek-dunaya-dnepra-i-urovnya-morya-v-odesse-v-xx-stoletii.html#more-1392

21. Швец Г. И. Многовековая изменчивость стока Днепра. Москва: Гидрометеиздат, 1979. 84 с.
22. Lisetskii F. N., Matsibora A. V., Pichura V. I. Geodatabase of Buried Soils for Reconstruction of Palaeoecologic Conditions in The Steppe Zone of East European Plain. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. Vol. 7(5). P. 1637–1643.
23. Lisetskii F., Chepelev O. Quantitative substantiation of pedogenesis model key components. *Advances in Environmental Biology*. 2014. No 8(4). P. 996–1000.
24. Пічура В. І. Кліматична обумовленість ґрунтоутворення на території транскордонного басейну Дніпра. *Біоресурси і природокористування*. 2016. Том 8, № 5-6. С. 26–38.
25. Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Vdovenko N. Space-Time Modeling of Climate Change and Bioclimatic Potential of Steppe Soil. *Indian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 48(3). P. 671–680.
26. Anderson T. Statistical analysis of time series. Moscow: Nauka. 1976. 343.
27. Pichura V. I., Potravka L. A., Skrypchuk P. M., Stratchuk 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.
28. Pichura V. I., Potravka L. A., Dudiak N. V., Skrypchuk P. M., Stratchuk N. V. Retrospective and Forecast of Heterochronal Climatic Fluctuations Within Territory of Dnieper Basin. *Indian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 46(2). P. 402–407.

REFERENCES

1. Jayawardena A. W., Li W. K., Xu P. (2002). Neighbourhood selection for local modelling and prediction of hydrological time series. *Journal of Hydrology*, vol. 258(1–4), 40–57.
2. Prytkov M. Ya., Vinogradova O. M. (2007). *Raynonirovanie basseyna Ladozhskogo ozera po usloviyam formirovaniya godovogo stoka rek* [Regionalization of the use of Lake Ladoga according to the conditions for the formation of the annual river flow]. *Geography and natural resources*, no. 1, 76–83. [in Russian].
3. Lisetskii F., Polshina M., Pichura V., Marinina O. (2017) Climatic factor in long-term development of forest ecosystems. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, vol. 17 (32), 765–774.

4. Pichura V. I. (2020). *Basejnova organizacija pryrodokorystuvannja na vodozbirnij terytorii 'transkordonnoi' richky Dnipro* [Basin organization of nature conservation on the water-collecting territory of the transborder river Dnipro]. Kherson: "OLDI-PLUS". [in Ukrainian].
5. Pichura V. I. (2020). *Atlas ekologichnogo stanu basejnu riky Dnipro* [Atlas of the ecological state of the Dnipro river basin]. Kherson: "OLDI-PLUS". [in Ukrainian].
6. Pichura V. I., Malchykova D. S., Ukrainskij P. A., Shakhman I. A., Bystriantseva A. N. (2018). Anthropogenic transformation of hydrological regime of the Dnieper river. *Indian Journal of Ecology*, vol. 45(3), 445–453.
7. Pichura V. I., Potravka L. A., Skrypchuk P. M., Strachuk N. V. (2020). Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper river. *Journal of Ecological Engineering*, vol. 21(4), 1–10.
8. Oti J. O., Kabo-Bah A. T., Ofosu E. (2020). Hydrologic response to climate change in the Densu River Basin in Ghana. *Heliyon*, vol. 6(8). URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04722>
9. Lisetskii F. (2021). Rivers in the focus of natural-anthropogenic situations at catchments. *Geosciences (Switzerland)*, vol. 11(2), 1–6.
10. Assan E., Suvedi M., Olabisi L.S., Bansah K.J. (2020) Climate change perceptions and challenges to adaptation among smallholder farmers in semi-arid Ghana: A gender analysis. *Journal of Arid Environments*, vol. 182, 104247. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104247>
11. 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)*, vol. 10(11), 1–18.
12. Pichura V. I. (2016). *Geomodeljuvannja vodno-erozijnyh procesiv u basejni richky Dnipro* [Geomodeling of water erosion processes in the Dnipro River Basin]. *Agroecological journal*, no 4, 66–75. [in Ukrainian].
13. Dudiak N. V., Pichura V. I., Potravka L. A., Strachuk N. V. (2019). Geomodeling of Destruction of Soils of Ukrainian Steppe Due to Water Erosion. *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20(8), 192–198.
14. Pichura V. I. (2017). *Geomodeljuvannja zonal'noi' nebezpeky zabrudnennja biogennymi rehovynamy poverhnevnyh vod u transkordonnomu basejni Dnipro* [Geomodeling of the zonal danger of surface water contamination by biogenic substances in the transboundary Dnipro basin]. *Bioresources and nature management*, vol. 9, no. 1-2, 24–36. [in Ukrainian].
15. Osadchij V. I., Nabyvanets B. Y., Osadcha N. M., Nabyvanets Y. B. (2008). *Gidrohimichnyj dovidnyk. Poverhnevi vody Ukraïny. Hidrohimični rozrahunky. Metody analizu*. [Hydrochemical handbook. Surface waters of

- Ukraine. Hydrochemical calculations. Methods of analysis]. Kyiv : Nika-Center. [in Ukrainian].
16. Vishnevskiy V. I., Stashuk V. A., Sakevich A. M. (2011). *Vodogospodars'kyj kompleks u basejni Dnipra* [Water management complex in the Dnipro basin]. Kyiv: Interpress LTD. [in Ukrainian].
 17. Khilchevskiy V. K., Romas I. M., Romas M. I. etc. (2007). *Gidrolo-go-gidrohimična harakterystyka minimal'nogo stoku richok basejnu Dnipra* [Hydrological and hydrochemical characteristics of the minimum flow of the rivers of the Dnipro basin]. Kyiv: Nika-Center. [in Ukrainian].
 18. Hrebin V. V. (2006). *Geografo-gidrologichnyj analiz jak metod doslidzhen' suchasnyh zmin vodnogo rezhymu richok* [Geographical and hydrological analysis as a method of researching modern changes in the water regime of rivers]. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, no. 9, 17–30. [in Ukrainian].
 19. Yushkina O. A. (2009). *Analiz i prognoz vremennoy izmenchivosti rechnogo stoka metodami nelineynoy dinamiki: avtoreferat dissertatsii kandidata geograficheskikh nauk* [Analysis and forecast of temporal variability of river flow by methods of nonlinear dynamics: abstract of the thesis of the Candidate of Geographical Sciences]. Irkutsk. [in Russian].
 20. Andrianova O. R., Belevich R. R., Skipa M. I. *O nekotorykh osobennostyakh klimaticheskoy izmenchivosti raskhodov rek Dunaya, Dnepra i urovnya morya v Odesse v XX stoletii* [About some features of the climatic variability of the flows of the Danube, Dnieper and sea levels in Odessa in the 20th century]. URL: <http://www.ecologylife.ru/ekologiya-chernogomorya-2003/o-nekotoryih-osobennostyah-klimaticheskoy-izmenchivosti-rashodovrek-dunaya-dnepra-i-urovnya-morya-v-odesse-v-xx-stoletii.html#more-1392>. [in Russian].
 21. Shvets G. I. (1979). *Mnogovekovaya izmenchivost' stoka Dnepra* [Centuries-old variability of the Dnieper runoff]. Moscow: Gidrometeoizdat. [in Russian].
 22. Lisetskii F. N., Matsibora A. V., Pichura V. I. (2016). Geodatabase of Buried Soils for Reconstruction of Palaeoecologic Conditions in The Steppe Zone of East European Plain. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, vol. 7(5), 1637–1643.
 23. Lisetskii F., Chepelev O. (2014). Quantitative substantiation of pedogenesis model key components. *Advances in Environmental Biology*, no. 8(4), 996–1000.
 24. Pichura V. I. (2016). *Klimatychna obumovlenist' g'runtoutvorennja na terytorii' transkordonnogo basejnu Dnipra* [Climatic conditioning of soil formation in the territory of the transboundary basin of the Dnipro]. *Bioresources and nature management*, vol. 8(5–6), 26–38. [in Ukrainian].

25. Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Vdovenko N. (2021). Space-Time Modeling of Climate Change and Bioclimatic Potential of Steppe Soil. *Indian Journal of Ecology*, vol. 48(3), 671–680.
26. Anderson T. (1976). Statistical analysis of time series. Moscow: Nauka.
27. Pichura V. I., Potravka L. A., Skrypchuk P. M., Strachuk N. V. (2020). Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper river. *Journal of Ecological Engineering*, vol. 21(4), 1–10.
28. Pichura V. I., Potravka L. A., Dudiak N. V., Skrypchuk P. M., Strachuk N. V. (2019). Retrospective and Forecast of Heterochronal Climatic Fluctuations Within Territory of Dnieper Basin. *Indian Journal of Ecology*, vol. 46(2), 402–407.