

УДК 556.53

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ТА ПРОСТОРОВА СИНХРОННІСТЬ БАГАТОРІЧНИХ ЦИКЛІЧНИХ КОЛИВАНЬ ВОДНОГО СТОКУ РІЧОК УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

*Лук'янець О.І., Камінська Т.П.*

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Проведена оцінка часових рядів водного стоку для басейнів річок Тиса, Дністер та Прут зі застосуванням двох методів статистичного аналізу – кореляційного та спектрального, методична база яких ґрунтується на статистичних прийомах узагальнення, систематизації вихідних даних, способах оцінки часових випадкових сукупностей стокових характеристик, методах аналізу мінливості часових рядів та вияву її структури.

**Ключові слова:** річка; стік води; випадкова функція; автокорелограма; спектрограма; циклічність; просторова синхронність.

**Вступ.** Знання особливостей циклічності в коливаннях річкового стоку, тривалості і характеру чергування маловодних і багатоводних періодів в тих чи інших річкових басейнах, а тим більше їх передбачення, може надати неоціненну допомогу при плануванні та раціональному використанні водних ресурсів, підвищенні ефективності експлуатації гідроенергетичних, меліоративних та інших водогосподарських споруд. Інтерес до вивчення багаторічних циклічних коливань річкового стоку, як і закономірностей коливань обумовлюючих його факторів, у сучасний період особливо зріс у зв'язку з використанням їх в довгострокових прогнозах [5, 10].

**Вихідні передумови.** Займаючись гідрологічними розрахунками та прогнозами, необхідно уявляти, яка математична модель використовується для опису *ймовірнісної структури* гідрологічного ряду. В якості такої моделі використовується модель випадкової величини. Для опису часових послідовностей використовується апарат теорії випадкових процесів (функцій), яка вивчає закономірності випадкових явищ в динаміці їх розвитку. Поняття випадкової функції представляє собою узагальнене поняття випадкової величини. Дійсно, випадкова величина в процесі дослідження приймає одне, заздалегідь невідоме значення. Такі випадкові величини формуються, якщо комплекс умов, який породжує їх, залишається постійним. В гідрологічних дослідженнях зазвичай цей комплекс умов змінюється, що приводить до зміни випадкової величини в процесі дослідів. Наприклад, річковий стік води протягом одного року. Очевидно, що фактори, які впливають на стік в зимовий, весняний і літній періоди, будуть різними. Ці відмінності призводять до того, що гідрограф стоку, представляючи собою одну реалізацію випадкової функції, має певні закономірності в часі. Уявимо, що комплекс умов стоку змінюється в часі однаковим чином від одного року до іншого. Тоді таких реалізацій випадкової функції може бути

достатньо багато. Сукупність цих реалізацій й утворює випадкову функцію [9, 12].

Більшість гідрологічних процесів є процесами з безперервними станами і безперервним часом. Наприклад, витрата води може змінюватися в будь-який момент часу і приймати будь-які значення з деякого інтервалу, межі якого залежать від розмірів річки і кліматичних особливостей регіону. При цьому треба враховувати, що на практиці витрати води осереднюють за деякий інтервал часу (рік, теплий і холодний періоди, місяць, добу тощо). Вводячи крок дискретності за часом, замінюємо процес з безперервним часом на процес з дискретним часом. При цьому процес залишається безперервним за станами. Таким чином, при дослідженні гідрологічних процесів найчастіше використовується модель випадкового процесу з дискретним часом і безперервними станами [14].

**Аналіз попередніх досліджень.** Вивченням багаторічних коливань річкового стоку, в основному річних його величин, займалися багато вчених. Значна частина досліджень присвячена виявленню фізичної природи циклічності річкового стоку, застосуванню різноманітних методів аналізу його мінливості і математичних моделей для опису структури часових рядів. Добре відомі роботи в цьому напрямку Б. Д. Зайкова, Л. К. Давидова, П. С. Кузіна, В. Г. Андреянова, К. П. Воскресенського, Н. В. Сомова, А. В. Шнітнікова, И. П. Дружиніна, Г. П. Калініна, А. В. Рождественського, Н. П. Смірнова, М. М. Соседка та ін. [1-4, 6, 8, 10-12]. Позитивні результати отримані Ю. А. Алехінін, який вперше застосував апарат теорії випадкових функцій для розробки екстраполяційного (динаміко-статистичного) методу наддовготривалих прогнозів середнього річного стоку ряду річок та інших природних макропроцесів [1-3]. Найявність внутрішньорядного зв'язку в рядах річного стоку вперше було відмічено П. А. Юхимовичем [12], який розрахував для ряду

створів коефіцієнти автокореляції зі здвигом у часі  $t=1, 2, 3$  років. Далі в більш повній формі зі здвигом  $t=30$  років представлялися у вигляді емпіричних автокореляційних функцій, які застосовувались й І.П. Дружиніним [8] для виявлення циклічних коливань річкового стоку.

**Постановка завдання.** Під циклічними коливаннями (циклічністю) розуміється мінливість величин часових рядів, яка має різну ступінь регулярності, при умові існування математичних сподівань параметрів цих коливань [12, 14].

Необхідно підкреслити особливу важливість аналізу часової мінливості стоку води карпатських річок, по-перше, вони найбільш багатководні з річок України, по-друге, часті паводки, як у теплий, так і в холодний періоди року, приймають тут нерідко катастрофічний характер, що вимагає знання частоти та періодичності їх формування [7, 13].

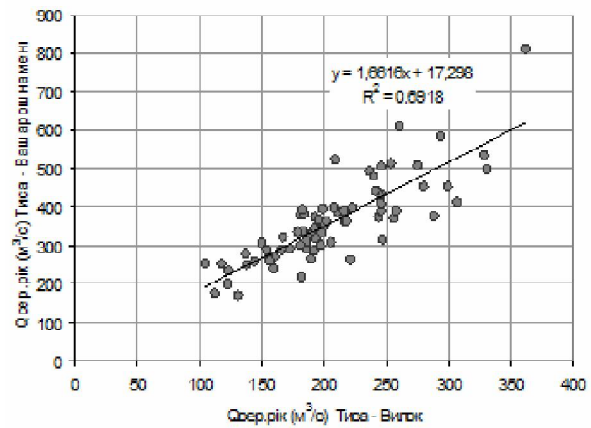
**Основними завданнями дослідження є:** дослідити циклічність коливань стоку води річок Карпатського регіону за результатами аналізу автокореляційних функцій та функцій спектральної щільності; узагальнити отримані результати про тривалість та стабільність циклів в часових послідовностях характеристик стоку води на річках Карпат; проаналізувати просторову синхронність водності в Карпатському регіоні.

Об'єкт та вихідні матеріали дослідження. Об'єктом дослідження є водний стік річок басейнів Українських Карпат. При виконанні роботи було сформовано банк даних середньомісячних та максимальних витрат води річок по гідрологічним постах: р. Тиса – смт Виллок за період спостережень з 1935 по 2010 рр.; р. Тиса – м. Вашарошнамень, 1883-2010 рр.; р. Дністер – м. Заліщики, 1882-2010 рр.; р. Прут – м. Чернівці, 1895-2010 рр. (табл. 1).

Для кожного гідрологічного поста сформовані по 4 вибіркові сукупності, а саме: 1) середні витрати води за теплий період року та 2) за холодний період, 3) середньорічні витрати води, 4) максимальні за рік витрати води.

На р. Тисі взято два гідрологічних створи, тому що довжина часових послідовностей різнилась за кількістю (див. табл. 1), тому для обґрунтування достовірності і стійкості статистичних характеристик циклічних коливань необхідно наявність показових вибірок. Природно, що за довжиною р. Тиса у гідрологічних створах Виллок та Вашарошнамень, спостерігається синхронність стоку, про що свідчить встановлений кореляційний зв'язок середньорічних витрат води двох постів (коефіцієнт кореляції  $r=0,83$ ) (рис.1).

При дослідженні структури багаторічних коливань стоку води річок Карпат було враховано



**Рис. 1. Залежність середньорічних витрат води р. Тиса – Виллок та р. Тиса – Вашарошнамень**

наступні обставини. Як відомо, циркуляційні макрота мікропроцеси в атмосфері загострюються в гірських районах, де більш чітко позначається вплив рельєфу на випадіння й загальну кількість річних опадів, їх сезонний розподіл, за теплий та холодний період року, а також зливових опадів, де орографія сприяє їх посиленню. Ці явища відмічаються в Закарпатті і Прикарпатті. Тому, якщо циклічність великомасштабних процесів існує, вона закономірна і виходить за межі чисто випадкового походження, то її виявити краще через річковий стік чи опади саме на гірській території. На рівнині при тих же синоптичних ситуаціях зливи мають більш локальний характер.

Більшого успіху у вивченні циклічності можна досягти, якщо розглядати часові ряди явищ великого масштабу, тобто осереднені за площею опади або стік води з великих басейнів з однорідним режимом зволоження, на котрі не здійснюють помітного впливу випадкові фактори і місцеві умови. Саме стік води в замикаючому створі є інтегральною характеристикою зволоження басейну, яка згладжує випадковості у її режимі на невеликих площах.

**Методика досліджень.** Для з'ясування в більш загальному вигляді закономірностей, властивих часовим сукупностям гідрологічних спостережень, використовуються методи кореляційного і спектрального аналізів, згладжування гідрологічних даних (математична фільтрація), методи розкладання рядів спостережуваних величин на гармонійні складові, різницевої інтегральних кривих і деякі інші. [4, 5, 12, 14].

У основу даного дослідження часової структури багаторічних коливань послідовностей стоку річок Карпат (Тиси, Дністра, Пруту) застосовано два методи аналізу – кореляційний та спектральний, виходячи з наступних міркувань. Незважаючи на те, що ці методи призначені для дослідження однієї

Відомості про наявність даних за стоком води

Річка - пункт	Показники стоку води	Роки
Тиса – смт Вилोक	Середня витрата за холодний період ( $Q_{\text{СЕР. ХП}}$ )	1935-2010
	Середня витрата за теплий період ( $Q_{\text{СЕР. ТП}}$ )	1935-2010
	Середньорічна витрата ( $Q_{\text{СЕР. РІК}}$ )	1935-2010
	Максимальна витрата за рік ( $Q_{\text{МАКС}}$ )	1954-2010
Тиса – м. Ваша-рошнамень	Середня витрата за холодний період ( $Q_{\text{СЕР. ХП}}$ )	1883-2000
	Середня витрата за теплий період ( $Q_{\text{СЕР. ТП}}$ )	1883-2000
	Середньорічна витрата ( $Q_{\text{СЕР. РІК}}$ )	1883-2009
	Максимальна витрата за рік ( $Q_{\text{МАКС}}$ )	1884-2010
Дністер – м. Заліщики	Середня витрата за холодний період ( $Q_{\text{СЕР. ХП}}$ )	1882-2010
	Середня витрата за теплий період ( $Q_{\text{СЕР. ТП}}$ )	1882-2010
	Середньорічна витрата ( $Q_{\text{СЕР. РІК}}$ )	1882-2010
	Максимальна витрата за рік ( $Q_{\text{МАКС}}$ )	1895-2010
Прут – м. Чернівці	Середня витрата за холодний період ( $Q_{\text{СЕР. ХП}}$ )	1895-2010
	Середня витрата води за теплий період ( $Q_{\text{СЕР. ТП}}$ )	1895-2010
	Середньорічна витрата ( $Q_{\text{СЕР. РІК}}$ )	1895-2010
	Максимальна витрата за рік ( $Q_{\text{МАКС}}$ )	1946-2010

цілі, вони не еквівалентні відносно виявлення різних сторін процесу. Перевага спектральних функцій в тому, що вони дають більш наочне уявлення про структурні складові часового ряду і дозволяють краще їх виявити і оцінити. В той же час за допомогою автокореляційних функцій добре простежуються багаторазова повторюваність циклів, їх редукція та інше. Ці методи дають можливість описати природні процеси і, таким чином, виявити стохастичні закономірності в часових рядах і отримати характеристики мінливості випадкової величини в часі [12, 14].

Автокореляційна функція  $R(t)$  характеризує тісноту зв'язку між членами одного часового ряду  $x(t)$  і представляє собою послідовність коефіцієнтів лінійної кореляції, обрахованих з різними величинами зсуву  $t$  по осі часу. Оскільки розглядаємо окремі вибірки кінцевої довжини, то часовий параметр  $t$  має кінцевий і дискретний інтервал значень,  $t=1, 2, \dots, N$ , де  $N$  - об'єм вибірки. Враховуючи, що ряди однорідні в часі, тобто

$$\bar{x}(t) = \bar{x}(t + \tau) = \bar{x},$$

$$\sigma[x(t)] = \sigma[x(t + \tau)] = \sigma_x$$

і переходячи до порядкових номерів  $i$ -тої послідовності, отримаємо формулу для розрахунку автокореляційної функції:

$$R_x(\tau) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x})}{(N - \tau)\sigma_x^2} \quad (1)$$

де  $t=1, 2, \dots, m$ ;  $i=1, 2, \dots, N-t$ , а

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^2 ; \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

Ступінь тісноти лінійних зв'язків двох сукупностей  $x$  і  $y$  об'ємом  $N$  характеризується коефіцієнтом кореляції

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N\sigma_x\sigma_y} ; \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

При нелінійних залежностях для цієї характеристики використовується кореляційне відношення

$$P_{y/x} = \left(1 - \frac{\sigma_p^2}{\sigma_y^2}\right)^{0,5} \quad (4)$$

де  $s_{2y}$  – повна дисперсія  $N$  елементів ряду  $y$ ;  $s_{2p}$  - дисперсія значень  $y$  відносно лінії регресії.

Для оцінки статистичної достовірності (надійності) отриманих за формулами (1), (3) і (4) результатів розрахунку застосовані загальноприйняті вирази, котрі враховують  $r$  у вигляді середньоквадратичних  $s$  та ймовірних  $E$  значень випадкової похибки:

а) для коефіцієнтів лінійної кореляції  $r$

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{N - 1}} ; \quad E_r = 0,674\sigma_r \quad (5)$$

б) для кореляційних відношень  $\tau$

$$\sigma_\rho = \frac{1-\rho^2}{\sqrt{N-1}} ; \quad E_\rho = 0,674\sigma_\rho \quad (6)$$

Для судження про статистичну значущість ординат автокореляційної функції встановлювалися довірчі межі  $DMR(t)$  95%-вої забезпеченості (згідно з пропозицією Андерсона) за формулою

$$95\% DM_{R(t)} = \frac{-1 \pm 1,64(N-\tau-2)^{0,5}}{N-\tau-1} ;$$

$$\tau = 1, 2, \dots, m. \quad (7)$$

Метод спектрального аналізу стаціонарних випадкових функцій дозволяє розкласти дисперсію функції  $x(t)$  на її компоненти за різними круговими частотами  $w$   $2\pi/T$ . Таким чином описується вклад окремих коливань з різними періодами у спільну мінливість елементів даного процесу у вигляді спектральної функції  $Sx(w)$ , для отримання якої використовується зв'язок між спектром частот випадкової і автокореляційної функції.  $Sx(w)$  виражається через  $Rx(t)$  за допомогою косинус-перетворювача Фур'є:

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty R_x(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad (8)$$

При цьому площа на спектрограмі, відокремлена кривою  $Sx(w)$  і віссю абсцис, буде дорівнювати одиниці

$$\int_0^\infty S_x(\omega) d\omega = 1$$

Статистична значущість результатів спектрального аналізу оцінювалась шляхом порівняння отриманої величини спектра  $Sx(w)$  з рівнями 95 і 99%-ї забезпеченості середнього рівня, прийнятими за довірчі межі  $DMs(w)$ , вважаючи що оцінки середнього рівня спектра повинні розподілятися відповідно с-квадрат-розподілу, яке ділиться на число ступенів вільності, тобто  $s/2$ . Тут

$$v = 2n / \tau_m - 0,5 \quad (9)$$

де  $N$  – об'єм вибірки;  $tm$  – максимальний зсув кореляційної функції.

Співвідношення  $\chi^2_{95\%} / v$   $\chi^2_{99\%} / v$  можна отримати за таблицями Холда. Середній 50%-вий рівень  $\chi^2_{50\%}(\omega)$  - це середня величина всіх спектральних оцінок в інтервалі автокореляційної функції ряду від 1 до  $m$ . І далі,

$$95\% DM_{S(\omega)} = S_{x_{50\%}}(\omega) \frac{\chi^2_{95\%}}{v} \quad i$$

$$99\% DM_{S(\omega)} = S_{x_{50\%}}(\omega) \frac{\chi^2_{99\%}}{v} \quad (10)$$

Розраховане при тій чи іншій частоті значення  $Sx(w)$  вважається достовірним, якщо воно перевищує прийняті  $DMs(w)$ , а це свідчить про існування виявленої в цьому інтервалі частоти циклічності.

Для вибору максимального зсуву автокореляційної функції  $m$  пропонуються різні співвідношення від  $m - 0,1N$  до  $m=0,5$  ч  $0,7 N$ . Завдання оптимального значення  $m$  являється досить суттєвим для аналізу. З формули (1) видно, що зі збільшенням зсуву в часі  $t$  від 0 до  $m$  при обрахунку  $Rx(t)$ , будуть використовуватися все менші об'єми вихідних даних, тобто властивості цього ряду будуть відображатися з великими похибками. Але при малому  $m$  неможливо кількісно оцінити коливання за довгий період, достатньо повно прослідкувати стійкість циклів і отримати чіткий детальний спектр, хоча статистична надійність оцінок функції, буде високою (у випадку достатньо довгої вибірки).

**Результати та їх обговорення.** На основі кореляційного аналізу з'ясувалося, що в структурі часових рядів стоку води в басейнах річок Тиси, Дністра та Пруту чітко проявляється цикли з 7 та 29 років з високою ступеню достовірності. Цикли тривалості 14, 21, 28, в дійсності не є самостійними, а утворилися шляхом об'єднання декількох 7 річних циклів. Вони лише свідчать про стійкість і строгу повторюваність основного циклу. Цикли співпадають у середньому річному стоці, за холодний та теплий період року, а у максимальних витратах води чітко вираженого циклу (циклів) немає.

Спектральний аналіз показав нестійкість періодів в 3-4 роки, не виявляючи подібної нестабільності в діапазоні 6-8 років; тут досить чітко вимальовується 5-ти та 7-ми річні цикли, які проявляються на всіх розглянутих спектрах, причому вони більш стійкіші і краще виражені, ніж інші.

На основі кореляційного і спектрального аналізів у багаторічних коливаннях річкового стоку води Українських Карпат виявлено стійкі циклічні складові, які виходять за межі випадкового походження (табл. 2).

Порівнюючи їх результати, можна відмітити наступне: крім вище зазначеного, в окремих випадках на спектрах щільності частот виявляються і циклічності з іншими періодами (9-10, 12-14, 14-15 років), але в основному вони менш значущі. Скоріше всього, ці ритми виявляються за рахунок випадкового поєднання 7-річних і 3-4 та

Узагальнені дані за автокореляційним і спектральним аналізом про тривалість циклів в часових послідовностях характеристик стоку води на річках Українських Карпат

Річка - створ	Тривалість циклів (кількість років)			
	стоку води за рік	стоку води за теплий період	стоку води за холодний період	максимальні за рік витрати води
Тиса-Вилок	4, 30	3-5	6-8	7, 14-15
Тиса-Вашарошнамень	4, 29	4, 29	4, 29	6-8
Дністер-Заліщики	4-5, 7, 29	5, 7, 9, 29	4-5, 29	5-7, 12
Прут-Чернівці	3-5, 7, 14	4, 7	3-4, 7 29-31	5-7, 26

5-ти річних циклічностей. Поєднання циклічних коливань стоку води за холодний і теплий періоди призводить до посилення в коливаннях річкового стоку складових з періодами 26-30 років, висока достовірність яких свідчить про стабільну повторюваність періодів високої та низької водності.

Для виявлення просторової синхронності водності на річках Карпат в якості показника подібності внутрішньої структури рядів застосовані коефіцієнти кореляції  $r$  – між часовими послідовностями досліджуваних характеристик стоку та між автокореляційними функціями сусідніх басейнів річок Карпат. Щодо кореляції між часовими послідовностями досліджуваних характеристик стоку сусідніх басейнів річок Карпат, можна відслідкувати добру тісноту зв'язку і відмітити досить добрий зв'язок середньорічних та середніх витрат води за теплий період на всіх об'єктах (табл. 3).

Кореляція у стоці за холодний період року низька, що можна пояснити певною різницею у кліматичних умовах в цей період року. Зовсім відсутній зв'язок у максимальних витратах води, тому що в межах басейнів річок Дністра та Пруту особливо інтенсивні дощі спостерігаються влітку під час переміщення холодних фронтів з північно-заходу та півночі. Для басейна р. Тиса характерними є паводки змішаного походження в холодний період року.

Коефіцієнти кореляції автокореляційних функцій для середньорічного стоку сусідніх басейнів Карпат (табл. 4) змінюються в межах 0,29/0,75. Враховуючи випадкові похибки  $\pm ur$  додаткових ймовірних значень, ці межі можуть скласти 0,46/0,83.

На рисунку 2 подано суміщені корелограми середньорічних витрат води для річок Тиса, Дністер і Прут. Можна констатувати, що ряди характеристик стоку досліджуваних басейнів подібні за структурою і їм властива спільна закономірність стохастичних зв'язків і циклічних коливань.

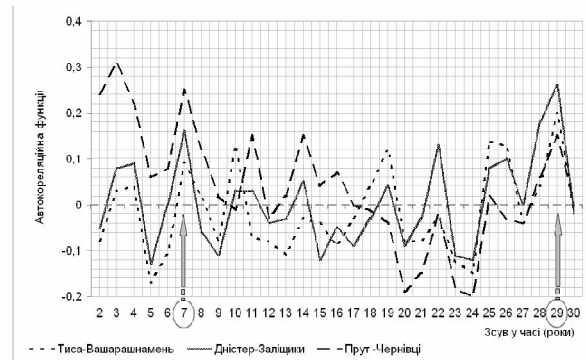


Рис. 2. Суміщені корелограми середньорічних витрат води для річок Тиса, Дністер і Прут

**Висновки та проблемні питання.** Узагальнення результатів кореляційного і спектрального аналізу у багаторічних коливаннях річкового стоку води Українських Карпат показало стійкі циклічні складові з періодами 3-5 і 6-8 років, які виходять за межі випадкового походження. Про стабільну повторюваність періодів високої та низької водності свідчить висока достовірність циклів із періодами 29 років. Доведено, що виявлені особливості в структурі часових послідовностей характеристик стоку води можна кваліфікувати як циклічності.

Кореляції між часовими послідовностями досліджуваних характеристик стоку сусідніх басейнів Карпат та їх автокореляційними функціями показали, що ряди характеристик водного стоку річок подібні за структурою, їм властива просторова синхронність та спільна закономірність стохастичних зв'язків і циклічних коливань.

Не ставилась задача відшукати зовнішні причини впливу на багаторічні коливання річкового стоку. Але відому цікавість можна представити співставленням отриманих результатів аналізу з аналогічними закономірностями, що є характерними для інших геофізичних процесів. Наприклад, відмічають стійкі коливання термічного стану океанічних вод з періодами 3-4 та 7 років. Зокрема, довгоперіодичні ритмічні явища спостерігаються в системі Гольфстріму, непрямим показником яких слугує температура поверхні вод Північної Атлантики [2, 5, 8, 11]. Також, висока достовірність

Таблиця 3

## Тіснота зв'язку часових послідовностей характеристик стоку води сусідніх басейнів річок Карпат

Характеристика стоку води	Виллок-Вашарошнамень	Виллок-Заліщики	Виллок-Чернівці	Вашарошнамень-Заліщики	Вашарошнамень-Чернівці	Заліщики-Чернівці
	Коефіцієнти кореляції $r$					
Середня витрата за холодний період ( $Q_{\text{СЕР. ХП}}$ )	0,05	-0,003	0,46	0,19	0,09	-0,004
Середня витрата за теплий період ( $Q_{\text{СЕР. ТП}}$ )	0,90	0,76	0,72	0,75	0,58	0,73
Середньорічна витрата ( $Q_{\text{СЕР. РІК}}$ )	0,83	0,68	0,57	0,72	0,81	0,71
Максимальна витрата ( $Q_{\text{МАКС}}$ )	-0,15	-0,01	0,05	0,18	-0,12	0,02

Таблиця 4

Оцінка кореляції  $r_{R(\tau)}$  автокореляційних функцій часових послідовностей характеристик стоку води сусідніх басейнів річок Карпат та ймовірні значення випадкових похибок  $\pm \sigma_r$  їх визначення

Коефіцієнти кореляції автокореляційних функцій часових послідовностей	Вашарошнамень-Заліщики		Вашарошнамень-Чернівці		Заліщики-Чернівці	
	$r_{R(\tau)}$	$\pm \sigma_r$	$r_{R(\tau)}$	$\pm \sigma_r$	$r_{R(\tau)}$	$\pm \sigma_r$
Середня витрата води за холодний період ( $Q_{\text{СЕР. ХП}}$ )	0,45	0,15	0,21	0,18	0,71	0,09
Середня витрата води за теплий період ( $Q_{\text{СЕР. ТП}}$ )	0,62	0,11	0,33	0,16	0,41	0,15
Середньорічна витрата води ( $Q_{\text{СЕР. РІК}}$ )	0,75	0,08	0,29	0,17	0,45	0,15
Максимальна витрата води за рік ( $Q_{\text{МАКС}}$ )	0,12	0,18	-0,08	0,18	0,09	0,18

циклів із періодами 209 років, які отримано за спектрограмами, співпадає з циклічними квазидво-віковими варіаціями світності Сонця.

## Література

- Алехин Ю. М. Множественное линейное экстраполирование макропроцессов (динамико-статистический метод прогнозирования) / Ю. М. Алехин // Труды ЛГМИ - вып. 28. - 1968. - с. 46-59.
- Алехин Ю. М. Статистические прогнозы в геофизике / Ю. М. Алехин - Л.: Изд. ЛГУ. - 1963. - 86 с.
- Алехин Ю. М. Усовершенствованный способ моделирования рядов годового стока с учетом их спектрального состава / Ю. М. Алехин, В. Г. Гвоздева // Труды ЛГМИ - вып. 35. - 1969. - с. 105-110.
- Андреянов В. Г. Исследования повторяемости и продолжительности периодов различной водности на реках СССР / В. Г. Андреянов // Труды ГГИ - вып. 127. - 1965. - с. 227-272.
- Виноградов Ю. Б. Современные проблемы гидрологии / Ю. Б. Виноградов, Т. А. Виноградова. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 320 с.
- Дроздов О. А. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР / О. А. Дроздов, А. С. Григорьева. - Л.: Гидрометеоиздат - 1971.
- Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В. В. Гребінь. - К.: Ніка-центр, 2010. - 316 с.
- Дружинин И. П. Речной сток и геофизические процессы / И. П. Дружинин. - М.: "Наука". - 1966. - 295 с.
- Кайсл Ч. Анализ временных рядов гидрологических данных / Ч. Кайсл - Л.: Гидрометеоиздат - 1972.
- Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии / Г. П. Калинин - Л.: Гидрометеоиздат - 1968. - 377 с.
- Калинин Г. П. Исследование циклических колебаний стока рек северного полушария / Г. П. Калинин, А. И. Давыдова. - В кн.: Многолетние колебания стока и вероятностные методы его расчета. Изд. МГУ. - 1967. - с. 35-44.
- Рождественский А. В. Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А. И. Чеботаев - Л.: Гидрометеоиздат. 1974. - с. 356-415.
- Ромашенко М. І. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання / М. І. Ромашенко,

Д. П. Савчук - К.: Аграрна наука, 2002. - 150-200 с.

14. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность "Гидрология" направление подготовки "Гидрометеорология". - СПб.: изд. РГГМУ. - 2007. - с.160-180.

### References

1. Alehin Ju. M. Mnozhestvennoe linejnoe jekstrapolirovanie makroprocesov (dinamiko-statisticheskij metod prognozirovaniya) [Multiple linear extrapolation makroprotsesov (dynamical and statistical prediction method)] *Trudy LGMI [Proceedings of the Leningrad Hydrometeorological Institute]*, 1968, Issue 28, pp. 46-59 [in Russian].
2. Alehin Ju. M. *Statisticheskie prognozy v geofizike [Statistical forecasts in geophysics]*. Leningrad: Izd. LGU, 1963, 86 p. [in Russian].
3. Alehin Ju. M., Gvozdeva V.G. Uovershenstvovannyj sposob modelirovaniya rjadov godovogo stoka s uchetom ih spektral'nogo sostava [An improved method for modeling the annual runoff series with regard to their spectral composition] *Trudy LGMI [Proceedings of the Leningrad Hydrometeorological Institute]*, 1969, Issue 35, pp. 105-110 [in Russian].
4. Andrejanov V.G. Issledovaniya povtorjaemosti i prodolzhitel'nosti periodov razlichnoj vodnosti na rekah SSSR [Studies of the frequency and duration of periods of varying water content in the rivers of the USSR] *Trudy GGI [Proceedings of the State Hydrological Institute]*, 1965, Issue 127, pp. 227-272 [in Russian].
5. Vinogradov Ju.B., Vinogradova T.A. *Sovremennye problemy gidrologii [Modern problems of hydrology]*. Moscow: Izdatel'skij centr «Akademija», 2008, 320 p. [in Russian].
6. Drozdov O.A., Grigor'eva A.S. *Mноголетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР [Long-term cyclical fluctuations in precipitation in the USSR]*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971, 158 p. [in Russian].
7. Hrebin' V. V. *Suchasnyj vodnyj rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohichnyj analiz) [The modern water regime of rivers Ukraine (landscape and hydrologic analysis)]* Kyiv: Nika-Tsentr, 2010, 316 p. [in Ukrainian].
8. Druzhinin I. P. *Rechnoj stok i geofizicheskie processy [River runoff and geophysical processes]*. Moscow: «Nauka», 1966, 295 p. [in Russian].
9. Kajsl Ch. *Analiz vremennyh rjadov gidrologicheskikh dannyh [Time series analysis of hydrological data]*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972, 138 p. [in Russian].
10. Kalinin G. P. *Problemy global'noj gidrologii [Problems of global hydrology]*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968, 377 p. [in Russian].
11. Kalinin G.P., Davydova A.I. *Issledovanie ciklicheskih kolebanij stoka rek severnogo polusharija [The study of cyclical fluctuations of river flow of the northern hemisphere]*. Moscow: Izd. MGU, 1967, pp. 35-44 [in Russian].
12. Rozhdestvenskij A.V., Chebotaev A.I. *Statisticheskie metody v gidrologii [Statistical methods in hydrology]*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, pp. 356-415 [in Russian].
13. Romaschenko M.I., Savchuk D.P. *Vodni stykhi. Karpats'ki poveni. Statystyka, prychny, rehuliuвання [Water element. Carpathian floods. Statistics, reasons, regulation]* Kyiv: Ahrarna nauka, 2002, pp.150-200 [in Ukrainian].
14. Sikan A.V. *Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informacii [Statistical treatment of hydrometeorological information]*. St.Petersburg: izd. RGGMU, 2007, pp.160-180 [in Russian].

**Лукьянец О.И., Каминская Т.П. Закономерности и пространственная синхронность многолетних циклических колебаний водного стока рек Украинских Карпат.** Проведена оценка временных рядов водного стока для бассейнов рек Тиса, Днестр и Прут с применением двух методов статистического анализа - корреляционного и спектрального, методическая база которых основывается на статистических приемах обобщения, систематизации исходных данных, способах оценки временных случайных совокупностей стоковых характеристик, методах анализа изменчивости временных рядов и проявления ее структуры.

**Ключевые слова:** река, сток воды, случайная функция, автокоррелограмма, спектрограмма, цикличность, пространственная синхронность.

**Lukyanets O.I., Kaminska T.P. Regularities and spatial synchrony of perennial cyclical fluctuations in the water runoff of the Ukrainian Carpathians rivers.** The estimation of the time series of water flow for Tisza, Dniester and Prut river basins using two methods of statistical analysis - correlation and spectral. Methodological framework of this methods based on statistical methods of generalization, systematization of initial data, assessment methods of the temporal random sets of runoff characteristics, methods of analysis of the time series variability and the manifestation of its structure.

**Key words:** river, water runoff, a random function, autocorrelation functions, spectrogram, cyclicity, spatial synchrony.