

Л.О. Горбачова, Т.О. Баужа

## **ДИНАМІКА СЕРЕДНЬОРІЧНОГО СТОКУ ВОДИ ГІРСЬКИХ РІЧОК (НА ПРИКЛАДІ ВОДОТОКІВ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ВОДНОБАЛАНСОВОЇ СТАНЦІЇ)**

Виконано оцінку однорідності рядів спостережень середньорічного стоку річок та струмків Закарпатської воднобалансової станції за сумарною інтегральною кривою, за статистичними критеріями Фішера та Стюдента та за статистичною значимістю лінійних трендів його багаторічної динаміки. Визначено періоди високої та низької водності річок та струмків.

**Ключові слова:** середньорічний стік, лінійний тренд, стаціонарність, однорідність, статистичні критерії.

### **Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій**

В умовах глобальних та регіональних змін клімату особливо важливо мати уявлення про їхній безпосередній вплив на водний режим річок, оскільки ці водні об'єкти є продуктом клімату та ландшафту. Останнім часом у такому паводконебезпечному регіоні як Українські Карпати фіксується збільшення кількості небезпечних гідрологічних явищ [1]. Саме тому дослідження змін водного режиму річок цього регіону є актуальним завданням. Враховуючи те, що дослідження малих річок дозволяє отримати відомості про умови формування річкового стоку в окремій фізико-географічній зоні, а також те, що вони є найчутливішими як до антропогенних, так і до кліматичних змін, об'єктом досліджень було вибрано малі річки Закарпатської воднобалансової станції (ЗВБС). **Метою роботи** є дослідження багаторічних коливань середньорічного стоку води на малих річках та струмках ЗВБС, що надасть можливість оцінити динаміку та тенденції водного стоку на цих водних об'єктах.

Дослідженням багаторічних коливань річкового стоку в останні роки присвячена велика кількість наукових робіт [2]. Аналіз цих досліджень показав, що в Україні такі дослідження виконано в основному для середніх та великих річок. Тоді як за кордоном вплив кліматичних змін на малі річки досліджується із застосуванням різноманітних методів,

способів та виконується прогнозування на майбутнє [3]. Отже, дослідження водного режиму малих річок на сьогодні є актуальним і необхідним завданням.

### Виклад основного матеріалу досліджень

Закарпатська воднобалансова станція розміщена у верхній частині р. Ріки ( $F_{\text{басейну}} = 550 \text{ км}^2$ ), яка є правою притокою р. Тиси, із замикальним створом у смт Міжгір'я (рис. 1).



Рис. 1. Схема розміщення пунктів гідрологічних спостережень у межах Закарпатської воднобалансової станції

ЗВБС охоплює більшу частину Міжгірського району Закарпатської області й займає південно-західні схили Східних або Лісистих Карпат в межах висот від 434 до 1598,9 м над рівнем моря, які є ланцюгом гір з крутими, донизу прямовисними схилами, що порізані долинами річок та струмків. Річкова мережа представлена десятьма річками (Ріка, Рипинка, Лопушна, Голятинка, Студений, Пилипець та ін.) довжиною від 7,1 до 31,3 км і великою кількістю (більш як 500) струмків протяжністю від 2 до

3 км. Сумарна довжина річкової сітки перевищує 300 км. Густота річкової мережі коливається в межах від 0,2 до 2,7 км/км<sup>2</sup>. Площі басейнів змінюються в значних межах – від 10-15 до 550 км<sup>2</sup> [4].

У межах ЗВБС знаходиться 16 пунктів спостереження, які розміщені на 4 малих та 2 середніх річках і 5 струмках (табл. 1).

Таблиця 1

Гідрологічні пости, які діють в межах ЗВБС

№	Назва водотоку	Назва пункту спостереження	Площа водозбору, км <sup>2</sup>
1	р. Ріка	сmt. Міжгір'я	550
2	р. Рипинка	с. Рипинне	203
3	р. Ріка	с. Верхній Бистрий	165
4	р. Голятинка	с. Майдан	86
5	р. Голятинка	с. Голятин	59
6	р. Пилипець	с. Пилипець	44,2
7	р. Лопушна	с. Лопушне (нижн.)	37,3
8	р. Студений	с. Нижній Студений	25,4
9	стр. Плошанка	с. Пилипець (нижн.)	19,9
10	р. Лопушна	с. Лопушне (верхн.)	13,2
11	стр. Бранище	с. Лопушне	10,3
12	р. Студений	с. Верхній Студений	8
13	р. Пилипець	с. Подобовець	7,44
14	стр. Пилипецький	с. Пилипець	5,7
15	стр. Зюбровець	с. Лопушне	3,2
16	стр. Середній Звір	с. Лопушне	2,24

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішувалися наступні завдання:

- відновлювалися дані спостережень за окремі роки (пропуски в спостереженнях) на основі застосування методу парної регресії;

- оцінювалась однорідність рядів середньорічного стоку води за сумарною інтегральною кривою та статистичними критеріями Фішера та Стьюдента;

- виконувалась оцінка стаціонарності багаторічних коливань середньорічного стоку води;

- аналізувалися циклічні коливання середньорічних витрат води.

Оскільки спостереження за водним стоком на окремих річках та струмках у деякі роки не проводилися, було здійснено відновлення даних на основі застосування методу парної регресії за даними річок та струмків-аналогів згідно з СНіП 2.01.14-83 [5] (табл. 2).

Таблиця 2

Відомості про відновлення даних спостережень на річках та струмках ЗВБС

№	Річка(струмок)	Річка-аналог	Умови			Роки, які було відновлено
			$n \geq 10$	$R \geq 0,7$	$k/\delta_k \geq 2$	
1.	р. Студений – с. Н. Студений	р. Студений – с. В. Студений	41	0,91	371,6	1995-1998
2.	стр. Середній Звір – с. Лопушне	стр. Бранище – с. Лопушне	46	0,82	237,1	1975-1981
3.	стр. Зюбровець – с. Лопушне	стр. Бранище – с. Лопушне	45	0,88	319,3	1975-1978
4.	р. Голятинка – с. Майдан	р. Пилипець – с. Пилипець	46	0,88	325,4	1995-1998
5.	р. Рипинка – с. Рипинне	р. Ріка – смт. Міжгір'я	38	0,95	529,7	1995-2006
6.	р. Ріка – с. В. Бистрий	р. Ріка – смт. Міжгір'я	46	0,93	452,2	1995-1998
7.	р. Голятинка – с. Голятин	р. Ріка – смт. Міжгір'я	23	0,94	364,6	1980-2006

На графіках сумарних інтегральних кривих середньорічного стоку води, які було побудовано для всіх досліджуваних річок та струмків, будь-яких суттєвих точок перелому напрямків кривих не виявлено, що свідчить про однорідність рядів спостережень, тобто відсутність впливу антропогенних чинників та прояву глобальних кліматичних змін. Приклад таких кривих наведено на рис. 2 для деяких річок та струмків ЗВБС.

Кількісну оцінку однорідності рядів спостережень виконано за критеріями Фішера  $F$  (для дисперсій) та Стьюдента  $t$  (для середніх величин) за 5-% рівня значимості, з урахуванням внутрішньорядних та міжрядних кореляційних зв'язків.

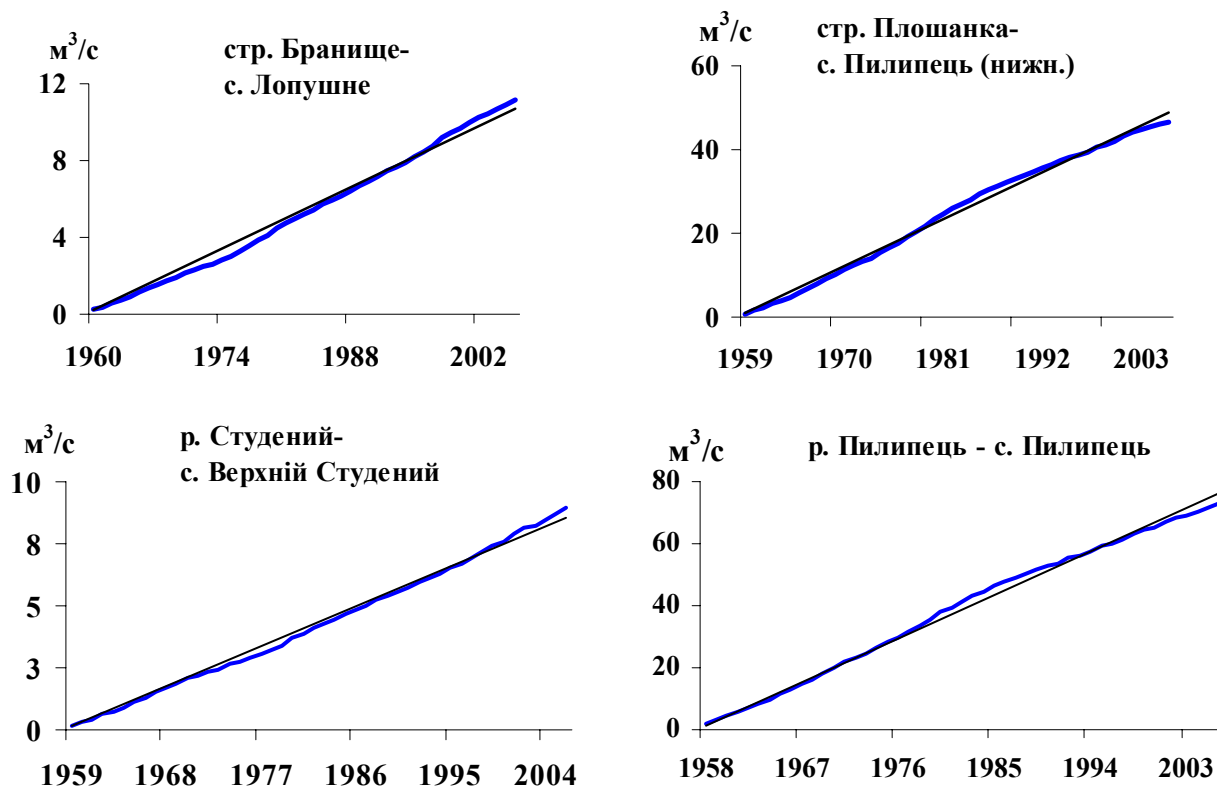


Рис. 2. Сумарні інтегральні криві середньорічних витрат води на річках та струмках ЗВБС

Виявилося, що на 11 (з 16) пунктах спостережень ряди спостережень мають автокореляційні та внутрішньокореляційні зв'язки одночасно, що унеможливує застосування узагальнених критеріїв Фішера та Стюдента, які розраховано окремо для рядів, що мають або внутрішньорядний або міжрядний зв'язок (табл. 3) [6, 7].

Для гідрологічних постів р. Лопушна – с. Лопушне (н), р. Рипинка – с. Рипинне, р. Ріка – смт. Міжгір'я, р. Пилипець – с. Подобовець, стр. Зюбровець – с. Лопушне (ряди спостережень мають тільки міжрядний зв'язок) виконаний аналіз однорідності дисперсій та середніх значень засвідчив, що вони є однорідними. Ряд спостережень для пункту р. Студений – с. Верхній Студений, який має автокореляційний зв'язок, виявився однорідним за критерієм Фішера та неоднорідним за критерієм Стюдента. Також за вищезазначеними критеріями однорідним є ряд спостережень у пункті р. Голятинка – с. Голятин, для якого не виявлено внутрішньорядних та міжрядних кореляційних зв'язків (табл. 4).

Оцінку стаціонарності багаторічних коливань середньорічного стоку води виконано шляхом розгляду статистичної значимості лінійних трендів.

Таблиця 3

Внутрішньорядні та міжрядні кореляційні зв'язки середньорічного стоку води річок та струмків ЗВБС

№	Річка - пост	Коефіцієнт	
		автокореляції	кореляції
1	стр. С. Звір – с. Лопушне	0,1	0,2
2	стр. Бранице – с. Лопушне	0,2	0,2
3	р. Лопушна –с. Лопушне (верхн.)	0,1	0,4
4	стр. Пилипецький–с. Пилипець	0,4	0,1
5	р. Голятинка – с. Майдан	0,1	0,1
6	р. Пилипець – с. Пилипець	0,3	0,2
7	р. Студений – с. Н. Студений	0,1	0,3
8	стр. Плошанка – с. Пилипець (нижн.)	0,3	0,1
9	р. Ріка – с. Верхній Бистрий	0,1	0,1
10	р. Студений – с. В. Студений	0,2	0,0
11	р. Голятинка – с. Голятин	0,0	0,0
12	р. Лопушна – с. Лопушне (нижн.)	0,0	0,2
13	р. Рипинка – с. Рипинне	0,0	0,2
14	р. Ріка – смт. Міжгір'я	0,0	0,1
15	р. Пилипець – с. Подобовець	0,0	0,1
16	стр. Зюбровець – с. Лопушне	0,0	0,1

Таблиця 4

Результати перевірки середньорічного стоку води річок та струмків ЗВБС на однорідність за критеріями Стьюдента ( $t$ ) та Фішера ( $F$ )

Річка-пост	$t$	$t_{кр}$	$F$	$F_{кр}$	Результат перевірки	
					Стьюдент	Фішер
р. Лопушна – с. Лопушне (нижн.)	0,01	1,80	1,71	2,22	однорідні	однорідні
р. Рипинка – с. Рипинне	0,38	1,80	1,85	2,22	однорідні	однорідні
р. Ріка – смт. Міжгір'я	0,51	1,94	1,70	2,27	однорідні	однорідні
р. Пилипець – с. Подобовець	1,68	2,01	1,39	2,27	однорідні	однорідні
стр. Зюбровець – с. Лопушне	1,14	2,01	1,33	2,27	однорідні	однорідні
р. Голятинка – с. Голятин	0,47	2,01	1,75	2,27	однорідні	однорідні
р. Студений – с. В. Студений	2,67	2,01	1,22	2,27	неоднорідні	однорідні

Передусім значимість тренду визначалась на основі значимості коефіцієнта кореляції ( $R$ ). При цьому оцінювався коефіцієнт кореляції такої залежності відносно випадкової середньої квадратичної похибки ( $\sigma_R$ ):

$$R/\sigma_R \geq \beta \quad . \quad (1)$$

За 5 % рівня значимості або за 95 % рівня довірчої межі  $\beta = 2$  [8]. Середня квадратична похибка визначається за формулою:

$$\sigma_R = (1 - R^2)/\sqrt{n-1} \quad . \quad (2)$$

Багаторічна динаміка середньорічних витрат води річок та струмків ЗВБС характеризується відсутністю статистично значимих трендів за 5 % рівня значимості за винятком чотирьох пунктів спостережень: стр. Бранище – с. Лопушне, р. Студений – с. Верхній Студений, стр. Плошанка – с. Пилипець, р. Пилипець – с. Пилипець (рис. 3). Результати розрахунку лінійних трендів представлено в табл. 5.

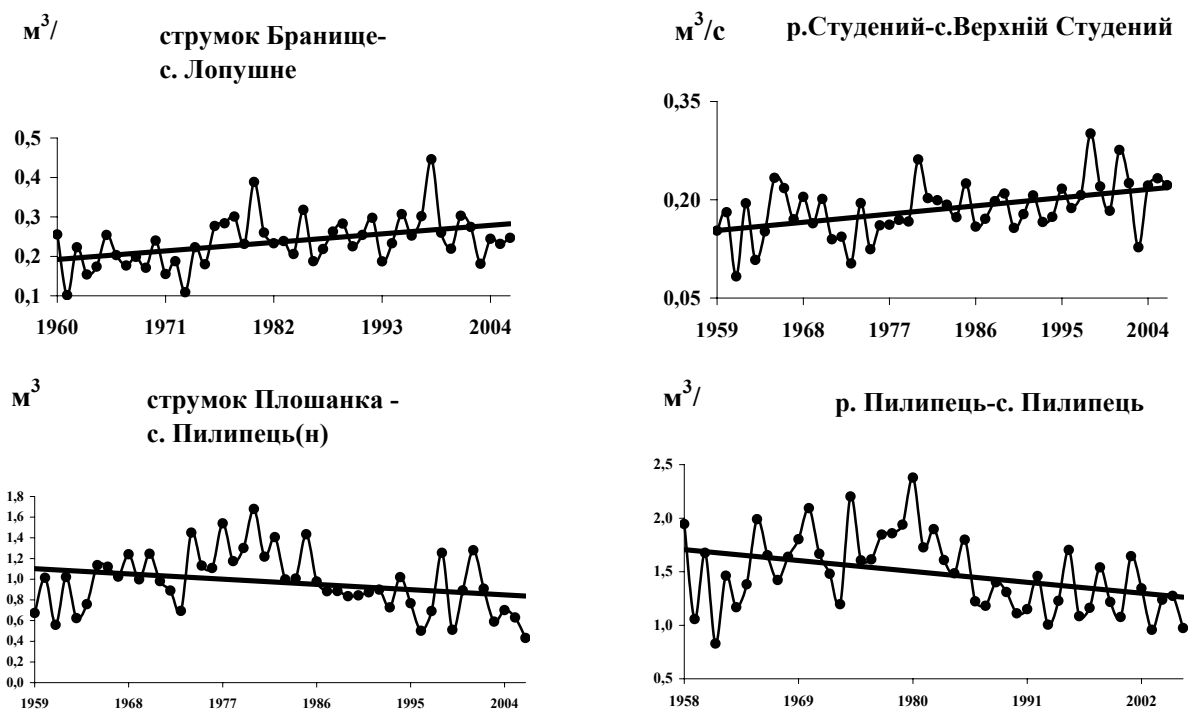


Рис. 3. Багаторічна динаміка та лінійні тренди середньорічного стоку води річок та струмків ЗВБС

Таблиця 5

Оцінка значимості лінійних трендів середньорічних витрат води річок та струмків ЗВБС

Водотік-пункт	Період	Рівняння тренду	$R^2$	$R$	$\sigma_R$	$2\sigma_R$	$3\sigma_R$	Результат
стр. Бранище - с. Лопушне	1960-2006	$y = 0,002x - 3,66$	0,182	0,426	0,121	0,241	0,362	“А”
р. Пилицець - с. Пилицець	1958-2006	$y = -0,009x + 19,8$	0,139	0,373	0,124	0,249	0,373	“А”
р. Студений - с. В. Студений	1958-2006	$y = 0,001x - 2,57$	0,209	0,457	0,115	0,231	0,346	“А”
стр. Плошанка - с. Пилицець(нижн.)	1959-2006	$y = -0,006x + 12,1$	0,074	0,272	0,135	0,270	0,405	“А”
р. Голятинка - с. Голятин	1957-2006	$y = 0,006x + 9,97$	0,049	0,221	0,136	0,272	0,407	“0”
стр. С. Звір - с. Лопушне	1960-2006	$y = -0,0003x + 0,58$	0,042	0,205	0,141	0,282	0,424	“0”
р. Лопушна - с. Лопушне (верхн.)	1960-2006	$y = -0,001x + 2,54$	0,024	0,155	0,144	0,288	0,432	“0”
стр. Пилицецький - с. Пилицець	1959-2006	$y = -0,001x + 2,31$	0,042	0,205	0,140	0,280	0,419	“0”
р. Голятинка - с. Майдан	1957-2006	$y = -0,005x + 12,5$	0,018	0,133	0,140	0,281	0,421	“0”
стр. Зюбровець - с. Лопушне	1960-2006	$y = -0,0002x + 0,52$	0,022	0,149	0,144	0,288	0,433	“0”
р. Лопушна - с. Лопушне (нижн.)	1960-2006	$y = 0,002x + 3,37$	0,020	0,144	0,144	0,289	0,433	“0”
р. Пилицець - с. Подобовець	1959-2006	$y = -0,0006x + 1,42$	0,039	0,198	0,140	0,280	0,420	“0”
р. Студений - с. Н. Студений	1957-2006	$y = -0,0008x + 2,12$	0,005	0,074	0,142	0,284	0,426	“0”
р. Рипинка - с. Рипинне	1957-2006	$y = 0,007x + 8,21$	0,007	0,081	0,142	0,284	0,426	“0”
р. Ріка - смт. Межигір'я	1957-2006	$y = 0,047x - 79,5$	0,047	0,217	0,136	0,272	0,408	“0”
р. Ріка - с. Верхній Бистрий	1957-2006	$y = -0,004x + 12,8$	0,004	0,060	0,142	0,285	0,427	“0”

“А” – тренд значущий, тобто неоднорідний

“0” – тренд незначущий, тобто однорідний



Наявність статистично значимих трендів свідчить про неоднорідність рядів спостережень. Проте вигляд сумарних інтегральних кривих для вищезазначених пунктів (рис. 2) дозволяє стверджувати те, що ці ряди спостережень є однорідними, а статистична значимість трендів обумовлена відсутністю повного циклу водності. Так, перші два пункти спостережень характеризуються зростаючими трендами, а останні два – спадаючими, що пояснюється переходом у першому випадку від мало- до багатоводної фази гідрологічного циклу, а в другому випадку – навпаки, від багато- до маловодної фази (рис. 4).

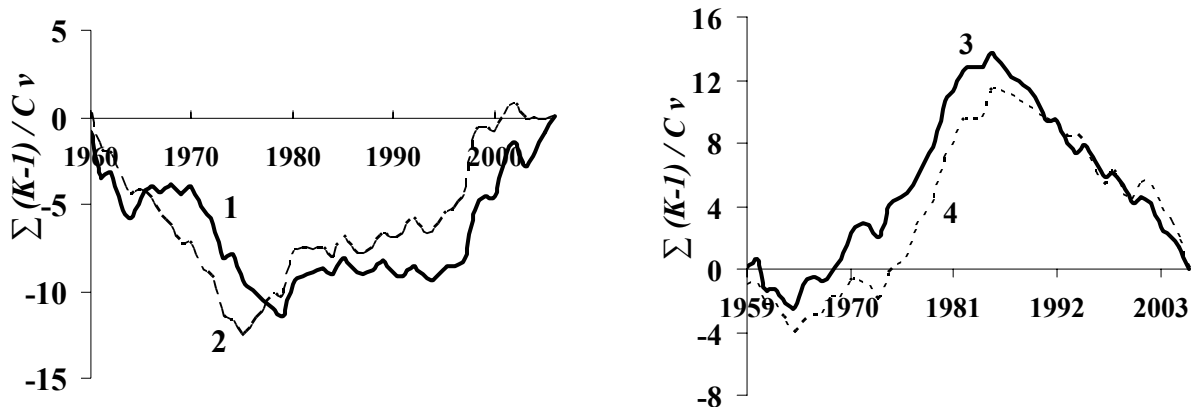


Рис. 4. Різницеві інтегральні криві коливань середньорічних витрат води: 1 – р. Студений – с. Верхній Студений; 2 – стр. Бранище – с. Лопушне; 3 – р. Пилипець – с. Пилипець; 4 – стр. Плошанка – с. Пилипець (нижн.)

Таким чином, статистично значимі тренди з'являються в тих рядах спостережень, які зазвичай не мають щонайменш одного повного циклу водності. Такі самі результати отримано в роботі [9] і для рівнинних річок. Отже, виявлені статистично значимі тренди мають тимчасовий характер та обумовлюються динамікою циклічності водного стоку.

Аналіз різницевих інтегральних кривих засвідчив те, що спостереження на всіх річках та струмках ЗВБС розпочалися в період низької водності (кінець 50-х років 20 століття). Період високої водності для більшості річок та струмків розпочався з 1964 р., а для решти – в період з 1973 по 1979 рр. Період низької водності на 10 пунктах спостережень розпочався з 1985 р., на інших – з 1980, 1982 та 1998 рр. У пунктах р. Студений – с. Верхній Студений та стр. Бранище – с. Лопушне і досі триває багатоводна фаза гідрологічного циклу.

## **Висновки та перспективи подальших досліджень**

1. Ряди спостережень за середньорічним стоком води річок та струмків ЗВБС є однорідними, оскільки виконаний аналіз сумарних інтегральних кривих не виявив будь-яких суттєвих точок перелому напрямків кривих, що свідчить про відсутність впливу як антропогенних чинників, так і прояву глобальних кліматичних змін.

2. Застосування кількісних узагальнених критеріїв Фішера та Стьюдента для оцінки однорідності гідрологічних рядів спостережень є досить обмеженим та сумнівним. По-перше, гідрологічним рядам притаманні одночасно й міжрядні, і внутрішньорядні кореляційні зв'язки, що унеможлиблює застосування таких критеріїв. По-друге, узагальнені критерії працюють в обмеженому діапазоні. Так, узагальнений критерій Стьюдента розроблявся для рядів з коефіцієнтом асиметрії від 0 до 4 [7]. До того ж, такі узагальнені критерії розроблялися за короткими рядами спостережень (до 1975 р. включно). З тих пір для переважної більшості гідрологічних постів ряди спостережень суттєво збільшилися, що призвело до зміни їхніх характеристик (середніх значень, коефіцієнтів варіації та асиметрії) [9]. По-третє, за наявності тільки одного повного або майже завершеного циклу водності (наприклад, для пункту р. Студений – с. Верхній Студений) застосування критеріїв Фішера та Стьюдента призводить фактично до порівняння дисперсій та середніх значень багатоводної та маловодної фаз, що є зовсім не коректно. Це також відноситься і до застосування непараметричного критерію Вількоксона, який виявляє відмінності у вибіркових середніх значеннях [10].

3. Статистично значимі тренди з'являються в тих рядах спостережень, які зазвичай не мають щонайменш одного повного циклу водності, тобто вони мають тимчасовий характер та обумовлюються динамікою циклічності водного стоку. Таким чином, на таких річках процес формування стоку є квазістаціонарним.

4. На річках та струмках ЗВБС для середньорічного стоку води триває період низької водності, окрім пунктів р. Студений – с. Верхній Студений та стр. Бранище – с. Лопушне, на яких і дотепер триває багатоводна фаза гідрологічного циклу.

5. Надалі було б доцільно дослідити динаміку внутрішньорічного стоку води річок та струмків ЗВБС, що надасть змогу виявити можливі зміни в сезонному стоці та проаналізувати причини таких змін.

\* \*

1. *Бойко В.М., Петренко Л.В.* Стихійні гідрологічні явища на річках України в останні 10-15 років та проблеми їхнього оперативного попередження // *Наук. пр. УкрНДГМІ.* – 2006. – Вип. 255. – С. 271-277.
2. *Горбачова Л.О., Баужа Т.О.* Багаторічні коливання середньорічних витрат води на річках і струмках Закарпатської воднобалансової станції // *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Матеріали п'ятої Всеукр. наук. конф.* – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, – 2011. – С. 52-54.
3. *Gorbachova L.O.* Principles of the creation of the databases of the historical hydrological information from small basins in Ukraine // *Book of Abstracts of the 13<sup>th</sup> Biennial Conference ERB 2010 Hydrological Responses of Small Basins to a Changing Environment, 5-8 September 2010, Seggau Castle, Austria* // *In. Holzmann, H. Godina, R. & Muller, G. (eds).* – 2010.– P. 143-146.
4. *Матеріали спостережень Закарпатської воднобалансової станції.* – К.: УГМС. – 1957-1959. – Вип. 1. – С. 4-5.
5. *Определение расчетных гидрологических характеристик СНИП 2.01.14-83.* – М.: Гос. комитет СССР по делам строительства. – 1983. – 97 с.
6. *Рождественский А.В., Чеботарёв А.И.* Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – С. 424.
7. *Рождественский А.В., Ежов А.В, Сахарюк А.В.* Оценка точности гидрологических расчётов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – С. 276.
8. *Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчётных значений по неоднородным данным.* – ГУ «ГГИ». – 2010. – С. 39-40.
9. *Горбачова Л.О.* Сучасні параметри кривих забезпеченостей максимальних витрат води весняної повені рівнинних річок України // *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Матеріали п'ятої Всеукр. наук. конф.* – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, – 2011. – С. 49-52.
10. *Самойленко В.М.* Ймовірнісні математичні методи в геоекології: Навч. посібник. – К.: Ніка-Центр, 2002. – 404 с.

*Український науково-дослідний  
гідрометеорологічний інститут, Київ*

**Л.А. Горбачёва, Т.А. Баужа**

**Динамика среднегодового стока воды горных рек (на примере водотоков Закарпатской воднобалансовой станции)**

*Выполнена оценка однородности рядов наблюдений среднегодового стока рек и ручьёв Закарпатской воднобалансовой станции на основе суммарной интегральной кривой, статистических критериев Фишера и Стьюдента, а также статистической значимости линейных трендов его многолетней динамики. Определены периоды высокой и низкой водности рек и ручьёв.*

**Ключевые слова:** среднегодовой сток, линейный тренд, стационарность, однородность, статистические критерии.

**L.O. Gorbachova, T.O. Bauzha**

**Dynamics of average annual flow of mountain rivers (by the example of the water courses of the Zacarpatska water-balance station)**

*The estimation of homogeneity of the observations data the average annual flow for the rivers and streams of the Zacarpatska water-balance station for the total integral curve, the statistical criteria by the Fisher's and Stjudent's and for the statistical significance of linear trends of its long-term dynamics was executed. The periods of high and low water content of the rivers and streams was defined.*

**Keywords:** average annual flow, linear trend, stationarity, homogeneity, statistical criterions.