

**Structure of water balance and long-term changes in its components within the limits Transcarpathian station water-balance**

**Korniienko V., Danko E., Lukianets O.**

*Determined the water balance for the period 1969-2011 years and long-term changes in its components (precipitation, temperature, humidity of air, water runoff) Transcarpathian water-balance stations (Rika basin - urban village Mizhhiria). For estimating changes in the structure of the water balance of its components compared two periods - 1969-1990 and 1991-2011 years.*

**Keywords:** water balance, mountain catchments, long-term changes, precipitation, runoff, evapotranspiration

**Надійшла до редколегії 09.03.2015**

УДК 556.047

**Жовнір В.В., Гребінь В.В., Рахматулліна Е.Р.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

**ОЦІНКА ОДНОРІДНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ ВОДИ І ПОВІТРЯ В МЕЖАХ БАСЕЙНУ ПІВДЕННОГО БУГУ**

**Ключові слова:** термічний режим, однорідність, статистичні критерії, гідролого-генетичний аналіз

**Постановка проблеми:** У зв'язку зі змінами клімату в останні десятиріччя та їх безпосереднім впливом на гідрологічний режим річок, актуальним є аналіз однорідності рядів гідрометеорологічних даних. Нами проведено аналіз однорідності гідрологічних і метеорологічних рядів спостережень в басейні Південного Бугу за рік в цілому та окремо за його сезонами. Для оцінки однорідності використано як статистичні критерії (Фішера, Стюдента, Вілкоксона), так і гідролого-генетичний аналіз (різницеві інтегральні та сумарні інтегральні криві).

**Аналіз попередніх досліджень.** Дослідженням однорідності гідрологічних рядів спостережень здавна приділялося багато уваги. Особливо це стало актуальним в останні десятиріччя у зв'язку зі зміною стану навколишнього середовища під впливом кліматичних і антропогенних факторів, що в свою чергу не могло не вплинути на однорідність генеральних сукупностей досліджуваних гідрометеорологічних рядів даних.

У міжнародній практиці дослідженням тимчасових гідрометеорологічних рядів приділяється увага вчених багатьох країн світу, особливо США, Великобританії, а також країн Азії.

На даний момент вчені більшості країн користуються методами оцінки однорідності, які викладені в керівництві з гідрологічної практики ВМО. Країни колишнього Радянського Союзу, зокрема Україна, широко використовують розробки Державного гідрологічного інституту (м. Санкт-Петербург, Росія) [4].

В Україні дослідженнями однорідності гідрологічних рядів активно займаються вчені Українського гідрометеорологічного інституту (УкрГМІ). Зокрема, останні статті Л.А. Горбачової та її співавторів присвячені розробкам нових методичних підходів до оцінки однорідності і стаціонарності гідрологічних рядів спостережень [2]. Але в цілому, вивченню підходів до визначення однорідності гідрологічних рядів спостережень в Україні приділяється недостатньо уваги [6].

**Методика досліджень.** Оцінка однорідності гідрологічних характеристик передбачає використання як гідролого-генетичних, так і статистичних методів аналізу гідрометеорологічної інформації, які взаємно доповнюють один одного. Тому для отримання більш обґрунтованих оцінок нами було використано методику

**Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т.2(37)**

дослідження, яка поєднує одночасне використання декількох статистичних та гідролого-генетичних методів оцінки однорідності часових рядів. Такий підхід дозволяє виконати не тільки комплексний аналіз однорідності на основі різних методів, але і порівняльний аналіз отриманих результатів, що, зрозуміло, суттєво підвищує ґрунтовність і достовірність дослідження [1].

У світі найуживанішого використання набули статистичні методи дослідження однорідності. Серед них широко застосовуються як параметричні, так і непараметричні методи. Для наших досліджень використано:

1) параметричний критерій однорідності середніх значень Стюдента:

$$t = \frac{y_{cpl} - y_{cplI}}{\sqrt{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_{II}^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 2)}{n_1 + n_2}}; \quad (1)$$

де  $y_{cpl}$ ,  $y_{cplI}$ ,  $\sigma_1^2$ ,  $\sigma_{II}^2$  – середні значення і дисперсії двох послідовних вибірок,  $n_1$  і  $n_2$  – об'єми вибірок.

2) параметричний критерій однорідності дисперсій Фішера:

$$F = \frac{\sigma_j^2}{\sigma_{j+1}^2}; \quad (2)$$

при  $\sigma_j^2 > \sigma_{j+1}^2$ , де  $\sigma_j^2$ ,  $\sigma_{j+1}^2$  – відповідно дисперсії двох наступних один за одним частин вибірок ( $j$  і  $j+1$ ) об'ємом  $n_1$  і  $n_2$ .

3) непараметричний критерій Вілкоксона, критерій приналежності двох вибірок до однієї і тієї ж генеральної сукупності:

$$U = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_x \cdot (n_x + 1)}{2} - T_x; \quad (3)$$

де  $n_1$  – кількість елементів у першій вибірці, а  $n_2$  – кількість елементів у другій вибірці,  $T_x$  – рангова сума.

Для оцінки однорідності дисперсій (критерій Фішера) та середніх значень (критерій Стюдента) часовий ряд поділяється на дві або декілька вибірок. Причому межі поділу бажано прив'язати до дат приблизного порушення стаціонарності та поділ ряду виконується за рівною кількістю всіх частин.

Для гідролого-генетичного аналізу однорідності рядів побудовано різницеві інтегральні криві і сумарні інтегральні криві гідрологічних і метеорологічних характеристик.

В основі побудови сумарної кривої лежить вісь ординат зі шкалою для зростаючих значень температур та вісь абсцис - з періодами, які послідовно йдуть в календарному порядку. В результаті послідовного накопичення температур отримуємо сумарну криву температур.

Для оцінки циклічних коливань гідрометеорологічних величин застосовують метод різницевої інтегральних кривих.

Різницева інтегральна крива – це сумарна крива відхилень від середнього, яка зазвичай, виражається у модульному коефіцієнті:

$$K_i = T_i / T_{сер}, \quad (4)$$

тобто як

$$\Sigma(K_i - 1) = f(i), \quad (5)$$

де  $K_i$  – модульний коефіцієнт,  $T_i$ , - значення  $i$ -го члену ряду,  $T_{сер}$  – середнє арифметичне значення.

Тобто інтегральні криві дають на кінець кожного  $i$ -го року зростаючу суму відхилень від середнього багаторічного значення, або норми ( $K_{сер} = 1$ ). Величина

відхилення за певний інтервал часу характеризується тангенсом кута нахилу до горизонтальної прямої, що сполучає точки початку та кінця інтервалу, і чисельно визначається шляхом ділення різниці кінцевої ( $I_k$ ) і початкової ( $I_n$ ) ординат кривої на кількість років в інтервалі  $n > 1$ , тобто  $K_{\text{сер}} - 1 = (I_k - I_n)/n$ . Тому ділянка інтегральної кривої з нахилом угору та з додатнім значенням ( $K_{\text{сер}} - 1$ ) відповідає додатній фазі циклічних коливань стоку (або загалом фазі підвищених значень), а ділянка з нахилом униз та з від'ємним значенням ( $K_{\text{сер}} - 1$ ) відповідає від'ємній фазі (або фазі понижених значень). Таким чином, тангенс кута нахилу будь-якої ділянки інтегральної кривої, а відповідно, і величини ( $K_{\text{сер}} - 1$ ) та  $K_{\text{сер}}$  не залежать від початкового моменту її побудови, а лише від прийнятого співвідношення вертикального і горизонтального масштабів. Тому положення вісі абсцис немає жодного значення, і при знаходженні ( $K_{\text{сер}} - 1$ ) ми можемо вимірювати величини ординат  $I_k$  та  $I_n$  від будь-якої горизонтальної лінії. Таким чином, вертикальна шкала навіть не потрібна, а потрібен лише вертикальний масштаб, який відкладається від будь-якого положення нуля. Однак для зручності співставлення циклічних коливань температури на різних пунктах, з різними періодами спостережень, положення вісі абсцис краще встановлювати із загальної для всіх умови рівності додатних і від'ємних відхилень від вісі, для чого усі ординати кривої зрізуються на величину

$$a = \Sigma/n, \quad (6)$$

де  $\Sigma$  - являє собою алгебраїчну суму усіх ординат початкової інтегральної кривої;  $n$  – кількість років ряду.

Крім того, для виключення впливу мінливості, інтегральні криві, при їхньому співставленні між собою, наводяться у нормованих відхиленнях (тобто приводити до  $C_v = 1$ ) [1].

**Матеріали досліджень.** Аналіз однорідності рядів спостережень в басейні р. Південний Буг виконано за даними 24 гідрологічних постів і 14 метеорологічних станцій, які розташовані в межах басейну (рис.1), за багаторічний період 1951-2013 роки.

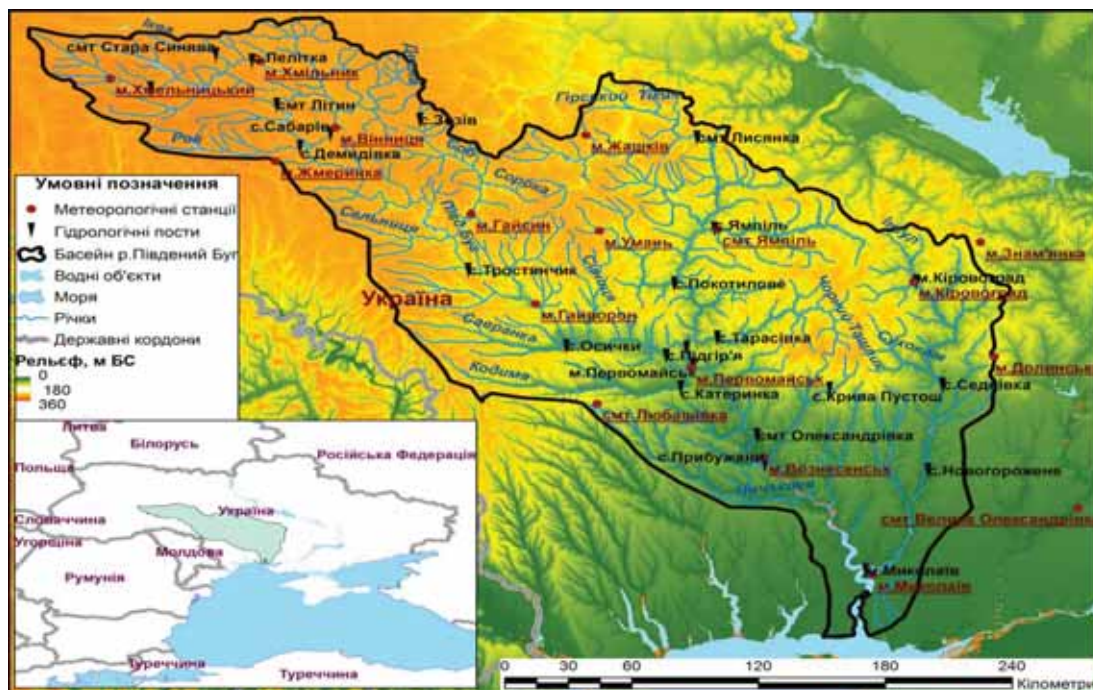


Рис. 1. Розташування метеостанцій та гідрологічних постів, обраних для дослідження, в межах басейну річки Південний Буг

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т.2(37)

Згідно схеми гідрологічного районування України [5] басейн Південного Бугу поділено на дві частини: верхня та середня частини басейну (включно з басейном р. Синюхи) – Правобережна Дніпровська область достатньої водності; нижня частина – Нижньобузько-Дніпровська область недостатньої водності. Межею між ними є створ м. Первомайська.

**Виклад основного матеріалу.** Результати наших попередніх досліджень [3] дали змогу прослідкувати чітку синхронність коливань температури води та повітря в межах басейну річки Південний Буг. Для підтвердження залежності температури води від температури повітря визначено кореляційний зв'язок між цими характеристиками в межах басейну як для окремих сезонів, так і за рік в цілому. Пораховано коефіцієнти парної кореляції як окремо для виділених частин (гідрологічних областей), так і для всього басейну Південного Бугу (табл.1). В цілому, зв'язок між середньорічними значеннями температури повітря та води для басейну та окремо по його частинах є тісним. Для літнього сезону зв'язок є помітним. Для зимового сезону прослідковується помітний зв'язок для верхньої та середньої частин басейну і помірний зв'язок – для нижньої. Поясненням цього є те, що температура повітря взимку може набувати значень менше 0<sup>0</sup>С, а температура води не опускається нижче цієї позначки.

*Таблиця 1. Значення коефіцієнта парної кореляції між температурою повітря та води річок басейну Південного Бугу за період 1951-2013 рр.*

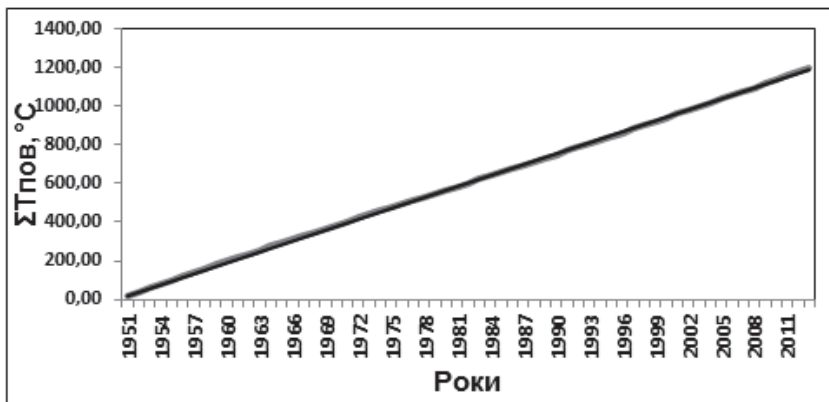
Сезон	Значення (r)		
	Верхня та середня частини басейну	Нижня частина басейну	Басейн в цілому
Весна	0,94	0,85	0,93
Літо	0,69	0,72	0,69
Осінь	0,86	0,82	0,87
Зима	0,55	0,38	0,49
<b>Рік</b>	<b>0,85</b>	<b>0,79</b>	<b>0,82</b>

На першому етапі для оцінки однорідності рядів було застосовано гідролого-генетичний метод аналізу гідрометеорологічної інформації. Побудувавши сумарні криві температури повітря та води для кожного сезону та року в цілому для виділених районів та басейну загалом отримали візуально однорідні ряди спостережень для літнього та осіннього сезонів та для року в цілому (рис. 2, 3). Відхилення від прямої лінії сумарних кривих температури повітря та води більш помітним є навесні та, особливо, взимку (рис. 4, 5). По графіках можна визначити переломну точку цього відхилення, що припадає на 1988 рік. Отже, починаючи від 1989 року маємо зростання зимових та весняних сезонних температур повітря та (як наслідок) води річок на території басейну Південного Бугу.

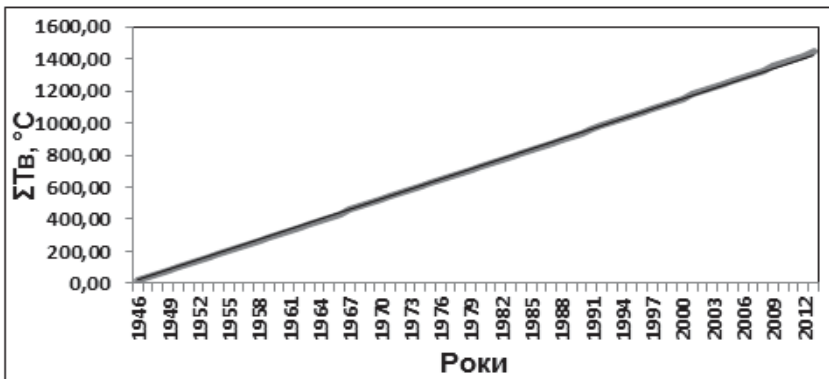
Але більш надійним інструментом для аналізу багаторічних коливань гідрометеорологічних елементів, на нашу думку, є різницеві інтегральні криві відхилень від середнього багаторічного значення. Зазначений метод дослідження дозволяє чітко визначити періоди зростання або зменшення певної характеристики, та встановити чіткі часові межі окремих періодів [6]. Нами побудовано різницеві інтегральні криві коливань температури повітря та води за окремі часові інтервали (сезони та рік в цілому) для всього басейну Південного Бугу та для окремих частин басейну. На рис.6 наведено відповідні криві коливань середньорічної температури повітря по окремих метеостанціях в межах верхньої



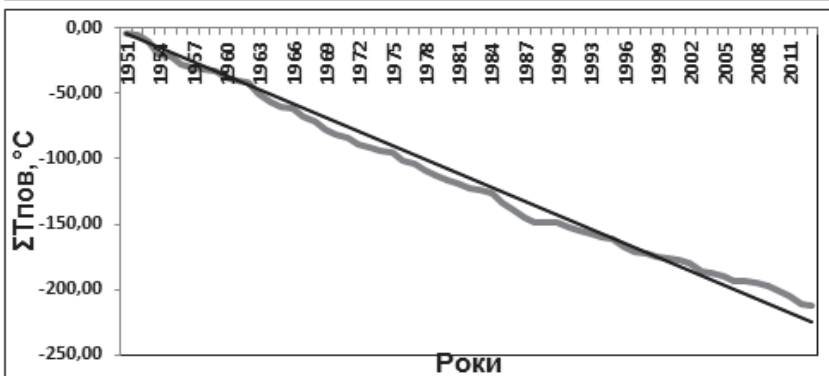
ї та середньої частин басейну, що дають змогу чітко виділити 1988 рік в якості переломного щодо коливань температури повітря в межах басейну за період, що аналізується. Починаючи від 1989 року маємо практично безперервне перевищення кліматичної норми значеннями середньої річної та сезонних температур повітря.



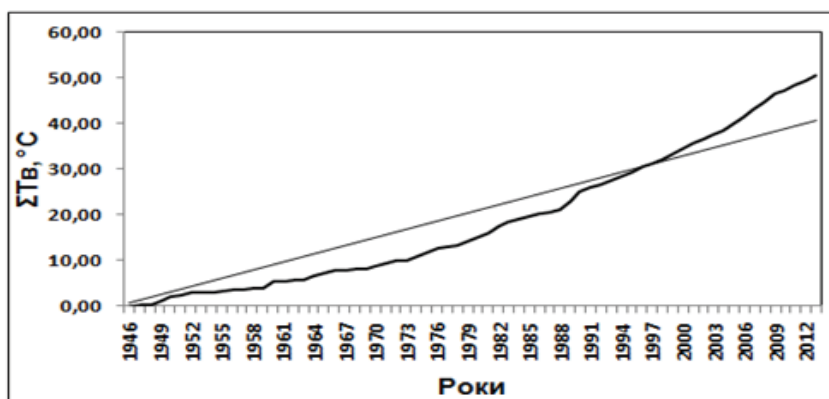
*Рис. 2. Осереднена для басейну Південного Бугу сумарна крива температури повітря літнього сезону за багаторічний період*



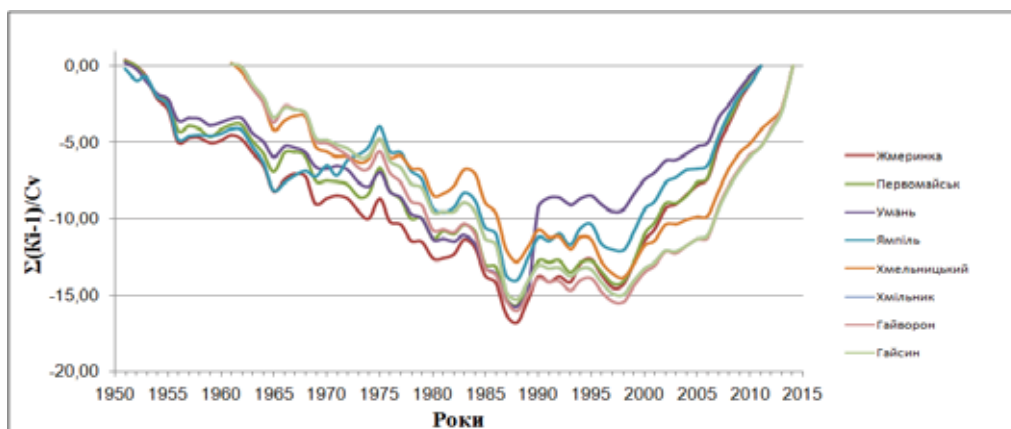
*Рис. 3. Осереднена для басейну Південного Бугу сумарна крива температури води річок під час літнього сезону за багаторічний період*



*Рис. 4. Осереднена для басейну Південного Бугу сумарна крива температури повітря зимового сезону за багаторічний період*

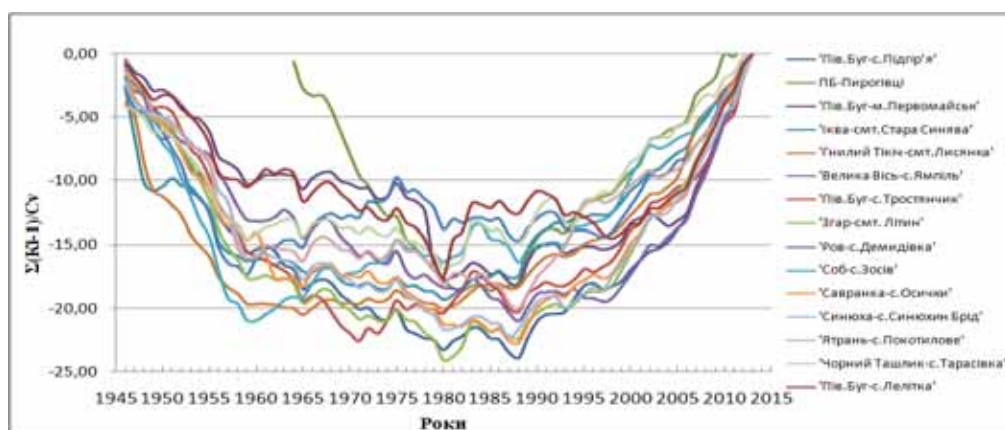


*Рис. 5. Осереднена для басейну Південного Бугу сумарна крива температури води річок під час зимового сезону за багаторічний період*



**Рис. 6. Різницеві інтегральні криві коливань середньорічної температури повітря в межах верхньої та середньої частин басейну Південного Бугу за багаторічний період**

Аналогічними є тенденції у коливаннях середньої річної температури води за даними гідрологічних постів басейну Південного Бугу (рис. 7). Можна відзначити, що починаючи від 1989 року маємо стійку тенденцію щодо зростання цього показника, аналогічно зростанню температури повітря.



**Рис. 7. Різницеві інтегральні криві коливань середньої річної температури води річок в межах верхньої та середньої частин басейну Південного Бугу за багаторічний період**

Результати гідролого-генетичного аналізу було перевірено нами за допомогою статистичних критеріїв оцінки однорідності: параметричного критерію однорідності середніх значень Стюдента, параметричного критерію однорідності дисперсій Фішера, непараметричного критерію оцінки однорідності ряду Вілкоксона (табл.2). В більшості випадків оцінка однорідності (стаціонарності) рядів за допомогою вказаних критеріїв проводиться досить просто – розбиваючи ряд на дві рівні частини і порівнюючи середні значення або дисперсії їх. Між тим, «Методичні вказівки по оцінці однорідності гідрологічних характеристик та визначенню їх розрахункових значень по неоднорідних даних» [4] передбачають попереднє визначення точок ймовірного порушення однорідності (стаціонарності) ряду. В нашому випадку це зроблено візуальним шляхом за допомогою гідролого-генетичних методів аналізу (сумарних та різницевих інтегральних кривих). Такі точки розбивають ряд на дві вибірки. Після цього за допомогою статистичних критеріїв (Фішера, Стюдента, Вілкоксона) визначаємо однорідність рядів, але вже

з врахуванням знайденої точки перелому. Тому нами було проведено оцінювання однорідності рядів відносно переломної точки (1988 р.), визначеної, попередньо, за допомогою гідролого-генетичних методів. Результати оцінки наведено у табл. 2.

**Таблиця 2. Результати оцінки однорідності рядів температури води та повітря в межах басейну Південного Бугу статистичними методами**

Сезони	Результати оцінки однорідності за критеріями:								
	Фішера			Стьюдента			Вілкоксона		
	Температура води								
	I район	II район	Басейн вцілому	I район	II район	Басейн вцілому	I район	II район	Басейн вцілому
Весна	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Літо	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Осінь	+	+	+	-	+	-	-	-	-
Зима	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Рік	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	Температура повітря								
Весна	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Літо	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Осінь	+	-	+	+	-	+	-	-	-
Зима	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Рік	+	+	+	-	-	-	-	-	-

Аналіз таблиці свідчить, що за критерієм однорідності Фішера (однорідність дисперсій) ряди спостережень як за температурою води, так і за температурою повітря в межах басейну Південного Бугу можна вважати однорідними. Це стосується як окремих частин, так і для басейну вцілому. За критерієм Стюдента (однорідність середніх значень) ряди є неоднорідними для більшості сезонів року, за виключенням осіннього. За критерієм Вількоксона ряди спостережень для всіх сезонів і року вцілому є неоднорідними.

**Висновки.** Аналіз однорідності рядів гідрометеорологічних даних є актуальним у зв'язку зі змінами клімату в останні десятиріччя та їх безпосереднім впливом на гідрологічний режим річок. Для отримання більш обґрунтованих оцінок нами було використано методику дослідження, яка поєднує одночасне використання декількох статистичних критеріїв (Фішера, Стюдента, Вількоксона) та гідролого-генетичних (різницеви інтегральні та сумарні інтегральні криві) методів оцінки однорідності часових рядів.

Результати наших досліджень дали змогу прослідкувати чітку синхронність коливань температури води та повітря в межах басейну річки Південний Буг. Визначено кореляційний зв'язок між цими характеристиками в межах басейну як для окремих сезонів, так і за рік в цілому. В цілому, зв'язок між середньорічними значеннями температури повітря та води для басейну та окремо по його частинах є тісним. Для літнього сезону зв'язок є помітним. Для зимового сезону прослідковується помітний зв'язок для верхньої та середньої частин басейну і помірний зв'язок – для нижньої.

Сумарні криві температури повітря та води для кожного сезону та року в цілому для виділених районів та басейну загалом дали змогу візуально визначити однорідність рядів спостережень для літнього та осіннього сезонів та для року вцілому. Відхилення від прямої лінії сумарних кривих температури повітря та води більш помітним є навесні та, особливо, взимку.

Побудовані нами різницеви інтегральні криві коливань температури повітря та води за окремі часові інтервали (сезони та рік вцілому) для всього басейну

Південного Бугу та для окремих його частин дають змогу чітко виділити 1988 рік в якості переломного щодо коливань температури повітря в межах басейну. Аналогічними є тенденції у коливаннях середньої річної температури води.

Перевірка результатів гідролого-генетичного аналізу за допомогою статистичних критеріїв оцінки однорідності показала, що за критерієм однорідності Фішера (однорідність дисперсій) ряди спостережень як за температурою води, так і за температурою повітря в межах басейну Південного Бугу можна вважати однорідними. За критерієм Стюдента (однорідність середніх значень) ряди є неоднорідними для більшості сезонів року, за виключенням осіннього. За критерієм Вілкоксона ряди спостережень для всіх сезонів і року в цілому є неоднорідними.

#### Список літератури

1. Баужа Т.О. Просторово-часові закономірності водного стоку водотоків у басейні річки Ріка: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.07 «Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія» / Т.О.Баужа. – К., 2015. – 20 с. 2. Горбачова Л.О. Методичні підходи щодо оцінки стаціонарності і однорідності гідрологічних рядів спостережень / Л.О.Горбачова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. - Т.1(32). – С. 22-31. 3. Жовнір В.В. Оцінка багаторічних коливань температури повітря та води річок басейну Південного Бугу / В.В. Жовнір //Шевченківська весна – 2015. Географія:Збірник наукових праць XIII міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених – К.:Прінт Сервіс, 2015. Випуск XIII. – С. 76-78. 4. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным – С-Пб: ГУ«ГГИ», 2010. – 162 с. 5. Національний атлас України / [наук. редкол.: Л.Г.Руденко та ін.]. – К.: ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с. 6. Рахматуллина Э. Анализ однородности характеристик зимнего режима рек бассейна Южного Буга / Э. Рахматуллина, В. Гребень // Energetika. – Т. 60. – Nr. 3. – 2014. – Р. 182–194.

#### Оцінка однорідності характеристик термічного режиму води і повітря в межах басейну Південного Бугу

**Жовнір В.В., Гребінь В.В., Рахматулліна Е.Р.**

Здійснено аналіз однорідності термічного режиму повітря та води річок басейну Південного Бугу для окремих сезонів та року в цілому. Відзначено тенденцію до порушення однорідності рядів зазначених характеристик. В якості початку періоду порушення однорідності рядів визначено 1989 рік.

**Ключеві слова:** термічний режим, однорідність, статистичні критерії, гідролого-генетичний аналіз

#### Оценка однородности характеристик термического режима воды и воздуха в пределах бассейна Южного Буга

**Жовнір В.В., Гребень В.В., Рахматулліна Э.Р.**

Сделан анализ однородности термического режима воздуха и воды рек бассейна Южного Буга для отдельных сезонов и года в целом. Отмечена тенденция нарушения однородности рядов указанных характеристик. В качестве начала периода нарушения однородности рядов определен 1989 год.

**Ключевые слова:** термический режим, однородность, статистические критерии, гидролого-генетический анализ

#### The evaluation of homogeneity characteristics of water and air thermal regime within the Southern Bug Basin

**Zhovnir V., Grebin' V., Rachmatullina E.**

Analysis of homogeneity of air and water thermal regime of Southern Bug Basin Rivers has been done for separate seasons and the year as a whole. The tendency to violation of homogeneity ranks of specified characteristics has been noted. Start of the period of homogeneity ranks' violation has been defined in 1989.

**Keywords:** thermal regime, homogeneity, statistical criteria, hydrological and genetic analysis

**Надійшла до редколегії 21.04.2015**