

УДК 556.047

*Гребінь В.В., Ободовський О.Г., Жовнір В.В., Мудра К.В., Почасвець О.О.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

ОЦІНЮВАННЯ ОДНОРІДНОСТІ РЯДІВ СТОКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧОК РАЙОНІВ РІЧКОВИХ БАСЕЙНІВ ТА СУББАСЕЙНІВ УКРАЇНИ

Ключові слова: однорідність; статистичні критерії; район річкового басейну; суббасейн; просторовий аналіз.

Постановка проблеми. З'ясування статистичної однорідності сукупностей є важливим елементом оцінки достовірності статистичних узагальнень. Під генетичною однорідністю будь-якої характеристики стоку розуміють не тільки те, що вона відноситься до однорідних фаз водного режиму, а також відносна незмінність протягомі всього часу, за який вона аналізується, фізико-географічних умов басейну, водогосподарського використання, агролісомеліоративних заходів, методик спостережень та розрахунків гідрометеорологічних елементів. У зв'язку зі змінами клімату в останні десятиліття і їх безпосереднім впливом на гідрологічний режим річок, актуальним є аналіз однорідності рядів гідрометеорологічних даних. Оцінка однорідності рядів спостережень є початковим, але важливим етапом дослідження й гідроенергетичного потенціалу річок.

Аналіз попередніх досліджень. Аналізуючи методичні надбання у світі щодо аналізу часових гідрологічних та метеорологічних рядів можна зробити наступні висновки. Більшість країн світу користується методами і способами, які викладені в керівництві з гідрологічної практики ВМО [13]. Методичні підходи країн колишнього Радянського Союзу (розробник Державний гідрологічний інститут (ДГІ, м. Санкт-Петербург, Росія), а в теперішній час, країн СНД, дещо відрізняються, хоча й мають загальні риси [9,11,12]. В Україні також використовуються методичні розробки ДГІ, оскільки оновлення нормативних та методичних підходів не відбулося. Отже, до спільних підходів можна віднести переважаючу роль в дослідженнях виключно статистичних методів.

Необхідно також зазначити, незважаючи на те, що методичні рекомендації ДГІ [9] містять інформацію про гідролого-генетичні методи оцінки часових рядів спостережень і навіть підкреслюють, що вони повинні застосовуватися разом зі статистичними методами, однак, в нормативних документах [11] в явному виді це не прописано. Рекомендації ДГІ щодо застосування гідролого-генетичних методів розроблені тільки для виявлення генетично неоднорідних вибірок. В керівництві з гідрологічної практики ВМО гідролого-генетичні методи взагалі не розглядаються. Розбіжності ж в методичних підходах ВМО та ДГІ полягають у тому, що за кордоном зазвичай рекомендують використовувати статистичні непараметричні методи (не залежать від законів розподілу), а ДГІ – навпаки параметричні, адаптуючи їх до гідрологічних рядів. Фахівцями ДГІ [9,11,12] було розроблено узагальнені критерії Фішера та Стюдента, які внесені в нормативні документи, що й надало цим критеріям обов'язково статусу для застосування і, надалі, забезпечило широке використання у гідрологічних дослідженнях.

В Україні дослідженнями однорідності гідрологічних рядів активно займаються вчені Українського гідрометеорологічного інституту (УкрГМІ). Зокрема, низка публікацій Л.А. Горбачової присвячена розробкам нових методичних підходів до

оцінки однорідності і стаціонарності гідрологічних рядів спостережень [4,5]. Оцінка однорідності рядів гідрологічних та метеорологічних характеристик здійснювалася нами при проведенні досліджень впливу кліматичних змін на водний режим річок України [6,7,8].

Методика досліджень. Статистичні методи оцінки однорідності гідрологічних та метеорологічних рядів застосовуються для величин, які є випадковими і внутрішньорядно незалежними. Статистичний аналіз однорідності рядів спостереження включає в себе вибір статистичного критерію, формування нульової та альтернативної гіпотез, призначення рівня значимості (1; 5 або 10 %), визначення в залежності від обраного рівня значимості критичної області та довірчих меж, розрахунок емпіричного значення статистики критерію, прийняття або відхилення нульової гіпотези [3].

Зміст нульової гіпотези полягає у визнанні того, що вибірки відносяться до однієї сукупності і розподіл фактичних даних узгоджується з теоретичними. Перевірка нульової гіпотези здійснюється з використанням емпіричних та теоретичних статистик критеріїв, які дозволяють за допомогою довірчих інтервалів прийняти або відхилити її. Емпіричні статистики критерію – це показники, які вираховуються за фактичними даними. Теоретичний закон їх розподілу відомий наперед. Порівнюючи обчислене за вибірками та теоретичне значення статистик критерію, можна зробити висновки про однорідність досліджуваних рядів. Якщо значення, обчислене по фактичними даними малоїмовірне, то воно потрапляє в критичну область значень і нульова гіпотеза відхиляється [11,12].

У теорії ймовірності відомо багато критеріїв однорідності, використовуючи які можна визначити однорідність вибірових значень параметрів розподілу, зокрема середніх значень, дисперсій, або безпосередньо встановити належність декількох вибірок до однієї генеральної сукупності. Критерії однорідності діляться на дві групи – параметричні, які потребують знання закону розподілу (критерії Стюдента, Фішера, Бартлєта та інші), та непараметричні (критерії Вількоксона, Ван-дер Вандера, Фішера-Йетса, Клотца, критерій ω^2 та інші).

Оцінка однорідності гідрологічних характеристик передбачає використання як статистичних, так і гідролого-генетичних методів аналізу гідрометеорологічної інформації, що висвітлюють одне й те саме гідрометеорологічне явище і тому взаємодоповнюють одне одного. При використанні статистичних методів аналізу однорідності виявлені неоднорідності формування річкового стоку статистичними методами, як правило, доповнюються гідролого-генетичним аналізом, який розкриває фізичний зміст виявленої раніше статистичної неоднорідності [4, 5].

Як зазначалося вище, до нормативних документів, що досі використовуються в Україні [11], відносяться розробки ДГП, що використовують узагальнені параметричні критерії Фішера та Стюдента, адаптовані до гідрологічних рядів [9]. Оскільки вони внесені у нормативні документи, то мають статус обов'язкових для застосування.

Отже, нами застосовано: *F- критерій Фішера*, який використовують для перевірки однорідності дисперсій двох вибірок та *критерій t Стюдента*, який застосовують для порівняння двох середніх значень з нормально розподілених сукупностей. Ще один критерій, який застосовувався у наших дослідженнях, є *критерій Вількоксона*. Критерій Вількоксона відноситься до непараметричних і застосовується для перевірки однорідності двох вибірок. Для оцінки однорідності гідрометеорологічних рядів ми використовували статистику *u* критерію Вількоксона [3]. Оцінка однорідності виконувалася за допомогою програми StokStat для розрахунку статистичних характеристик, що використовуються в гідрології при 5% рівні значимості. Вона відповідає нормативному документу СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик».

Матеріали досліджень. Мережа гідрологічних спостережень на території України станом на 2015 рік (по якій опубліковано офіційні дані спостережень) становила 369 гідрологічних постів, з них 324 – пости, де проводились виміри витрат води (витратні пости). Нами використано дані 285 постів від початку спостережень по 2015 рік включно.

Вибір постів для аналізу обумовлено певними вимогами, пов'язаними із тематикою досліджень (гідроекологічна оцінка та прогноз гідроенергетичного потенціалу річок України в умовах кліматичних змін). Такими вимогами є:

- довжина річки (не менше 10 км);
- площа її водозбору (не менше 100 км² для рівнинних та 30 км² для гірських річок);
- тривалість періоду спостережень не менше 50-60 років;
- середня багаторічна витрата річки в створі поста не менше 0,3 м³/с для рівнинних та не менше 0,1 м³/с – для гірських річок [2].

В загальному випадку для оцінювання гідроенергетичного потенціалу конкретної ділянки річки використовується середня багаторічна витрата води. Разом з тим, для більш об'єктивної оцінки вказаного потенціалу залучають середні багаторічні максимальні та мінімальні річні витрати води. Таким чином ми можемо мати амплітуду змін водності і змін гідроенергетичного потенціалу річки впродовж року. Тому, база даних стосовно гідрологічного режиму досліджуваних річок складається для витратних гідрологічних постів з середніх, максимальних та мінімальних річних витрат води.

У статті 13¹ Водного кодексу України визначено, що основною гідрографічною одиницею є район річкового басейну. В Україні встановлено дев'ять районів річкових басейнів: район басейну річки Дніпро; район басейну річки Дністер; район басейну річки Дунай; район басейну річки Південний Буг; район басейну річки Дон; район басейну річки Вісла; район басейну річок Криму; район басейну річок Причорномор'я; район басейну річок Приазов'я [1]. Згідно наказу Мінприроди України № 25 від 26.01.2017 р. [10] у межах 4-х районів річкових басейнів на території України виділено наступні суббасейни: 1) район басейну річки Дніпро – суббасейни Верхнього Дніпра; Середнього Дніпра; Нижнього Дніпра; р. Прип'ять; р. Десна; 2) район басейну річки Дунай - суббасейни р. Тиса; р. Прут; р. Сірет; Нижнього Дунаю; 3) район басейну річки Дон - суббасейни р. Сіверський Донець; Нижнього Дону; 4) район басейну річки Вісла - суббасейни р. Західний Буг; р. Сан.

Згідно наказу [10] район басейну річки Дністер з метою здійснення інтегрованого управління не поділяється на окремі суббасейни. Але для задач розрахунку гідроенергетичного потенціалу, на нашу думку, необхідно виділити в його межах, окремо, гірську (правобережну) та рівнинну (лівобережну) частини. Варто відзначити значну нерівномірність стоку річок правобережжя і лівобережжя Дністра їх суттєву різницю в гідралічних та морфодинамічних показниках, що суттєво може вплинути на встановлення і прогноз гідроенергетичного потенціалу цих річок. Аналогічно, не поділяється на окремі суббасейни район басейну річок Криму. Але для задач розрахунку гідроенергетичного потенціалу, на нашу думку, необхідно виділити в його межах (як і для району басейну річки Дністер), окремо, гірську та рівнинну частини, які суттєво відрізняються за своїми гідрологічними, гідралічними та морфологічними особливостями, що відображається на встановленні показників їх гідроенергетичного потенціалу. Межею цих частин є межа Гірського Криму та Рівнинного Криму.

На жаль, серед 9 районів басейнів річок, виділених в Україні [1], не вдалося виконати оцінку однорідності рядів для району басейну річок Причорномор'я. На даний час в межах даного району працюють два гідрологічні пости: р. Великий Куяльник – с. Северинівка та р. Тилігул – с. Березівка. Обидві річки є такими, що

пересихають в продовж більшої частини року, стік в них формується лише навесні та в період проходження дощових паводків, які є доволі нечастими. Є роки, коли стік в руслах цих річок взагалі не спостерігається. Це не дало змогу виконати оцінку однорідності даних спостережень.

Ще одним регіоном, для якого не є можливим виконати оцінку однорідності даних спостережень у зв'язку із їх відсутністю, є суббасейн Нижнього Дону. Цей суббасейн є найменшим за площею серед усіх суббасейнів України. Його площа становить лише 372 км². В межах суббасейну знаходяться витoki та верхів'я приток р. Тузлов, правої притоки Дону. На території України в межах даного суббасейну немає жодного гідрологічного поста.

Така сама ситуація склалася у межах рівнинної частини Кримського півострова. В межах рівнинної території півострова розташовано лише 1 гідрологічний пост (р. Салгир – с. Дворіччя), який не відображає реальний режим річки. На стік в створі поста суттєво впливають скиди дренажних вод зрошувальних масивів та режим роботи Симферопольського водосховища. Таким чином, висновки щодо однорідності даних спостережень гідрологічних постів, розташованих в межах району басейну річок Криму, відносяться, передусім, до річок, розташованих у гірській частині півострова, або верхня та середня течії яких знаходяться в її межах.

Також є окремі суббасейни, на території яких працює 1 – 2 гідрологічні пости. До таких відносяться: суббасейн Верхнього Дніпра (1 гідрологічний пост р.Дніпро – с. Неданчичі); суббасейн річки Сірет (1 гідрологічний пост р. Сірет – м. Сторожинець); суббасейн річки Сан (1 гідрологічний пост р. Вишня – с. Твіржа); суббасейн Нижнього Дунаю (2 гідрологічні пости: р. Дунай – м. Рені та р. Дунай (Кілійське гирло) – м. Ізмаїл). Зрозуміло, що отримані оцінки однорідності рядів за даними одного – двох гідрологічних постів та поширені на весь суббасейн є доволі орієнтовними.

Виклад основного матеріалу.

Однорідність рядів спостережень за середнім річним стоком (за районами басейнів річок). Аналіз результатів, наведених у табл. 1, дозволяє зробити певні висновки стосовно однорідності рядів середніх річних витрат води в межах окремих районів басейнів річок та суббасейнів.

Оцінка однорідності рядів середніх річних витрат води за критерієм Фішера (однорідність дисперсій двох вибірок) свідчить, що для всіх районів басейнів річок та окремих суббасейнів даний показник перевищує 50%.

Для гірського регіону Українських Карпат показник є ще вищим і коливається для окремих суббасейнів в межах від 84,2% (суббасейн Тиси) до 100,0% (суббасейн Сірету). В цілому по території України відбувається зменшення показника однорідності у південному та південно-східному напрямках. Такій висновку підтверджується і даними, наведеними у монографії [6]. Зокрема, і за нашими даними, найменший відсоток однорідних рядів припадає на район басейну річок Криму (лише 53,1% за критерієм Фішера).

Оцінка однорідності рядів середніх річних витрат води в межах окремих районів басейнів річок та суббасейнів, виконана з використанням критерію Стюдента (порівняння двох середніх значень), дозволяє говорити про високий рівень однорідності рядів.

Для більшості районів басейнів річок та суббасейнів України він становить 75 – 100% (найвищі значення показника отримано для суббасейнів Сану, Верхнього Дніпра та Сірету – див. табл.1). Спостерігається тенденція зменшення показника однорідності у південно-західному напрямі (у межах району басейну річки Південний Буг від становить 42,9%; в межах району басейну річок Криму – 53,1%; суббасейну Нижнього Дунаю – 50,0%).

Таблиця 1. Результати оцінки однорідності рядів середніх річних витрат води за даними гідрологічних постів в межах районів річкових басейнів та суббасейнів

Назва району басейну річки	Назва суббасейну	Кількість постів, обраних для оцінки	% постів з однорідними рядами (при 5% рівні значимості) за критерієм:		
			Фішера	Стюдента	Вількоксона
Район басейну річки Дніпро	Суббасейн Верхнього Дніпра	1	100,0	100,0	100,0
	Суббасейн Середнього Дніпра	36	77,8	83,3	80,6
	Суббасейн Нижнього Дніпра	14	71,4	92,9	92,9
	Суббасейн річки Прип'ять	28	86,7	96,4	100,0
	Суббасейн річки Десна	8	75,0	87,5	75,0
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Дністер	Суббасейн гірського Дністра	30	86,7	80,0	80,0
	Суббасейн рівнинного Дністра	23	65,2	69,6	69,6
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Дунай	Суббасейн річки Тиса	19	84,2	84,2	84,2
	Суббасейн річки Прут	10	90,0	90,0	80,0
	Суббасейн річки Сірет	1	100,0	100,0	100,0
	Суббасейн Нижнього Дунаю	2	100,0	50,0	50,0
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Південний Буг		32	87,5	84,4	81,3
		21	61,9	42,9	52,4
Район басейну річки Дон	Суббасейн річки Сіверський Донець	32	71,9	96,9	71,9
	Суббасейн Нижнього Дону	н.д.*	н.д.	н.д.	н.д.
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Вісла	Суббасейн річки Західний Буг	32	71,9	96,9	71,9
	Суббасейн річки Сан	9	77,8	77,8	77,8
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річок Причорномор'я		1	0,0	100,0	100,0
		10	70,0	80,0	80,0
		н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Район басейну річок Приазов'я		18	72,2	100,0	61,1
Район басейну річок Криму		32	53,1	53,1	53,1

Примітка. н.д.* - немає даних

Аналогічні тенденції спостерігаються і у розподілі по території України показника однорідності рядів середніх річних витрат води, отриманого за допомогою критерію Вількоксона, що дозволяє порівняти однорідність двох вибірок даних. Серед районів басейнів річок найвищі значення цього показника спостерігаються у межах району басейну річки Дніпро (88,5%). Найнижчі значення отримано для районів басейнів річок Криму (53,1%) та Південного Бугу (52,4%).

Окремо необхідно проаналізувати випадки, коли порушення однорідності середніх річних витрат води по одному і тому ж самому гідрологічному посту визначено з використанням всіх трьох критеріїв. Слід зазначити, що таких випадків зафіксовано небагато: від повної їх відсутності в межах окремих суббасейнів (Верхнього Дніпра, Нижнього Дніпра, Сану, Нижнього Дунаю, Сирету, Пруту, річок Приазов'я) до 1-2 випадків (суббасейни Прип'яті, Десни, Середнього Дніпра, Західного Бугу, Тиси та ін.). Це становить від 2 до 10% кількості постів для окремих районів басейнів річок. Найвищий показник таких випадків спостерігається в межах району басейну річок Криму. Там він досягає 21,9% від загальної кількості постів, розташованих в межах півострова.

Однорідність рядів спостережень за максимальним річним стоком (за районами басейнів річок). Як відомо, за характером походження максимальні витрати води можуть бути поділені на:

- сформовані внаслідок сніготанення;
- ті, що сформувались через випадіння дощових опадів;
- максимумами мішаного походження – від сніготанення і дощів, коли частки кожного виду живлення близькі за величиною або їх важко розрізнити.

Весняне водопілля на рівнинних річках України є найбільш характерною фазою їх гідрологічного режиму. Паводковий режим є характерною особливістю річок Українських Карпат та Гірського Криму. Для південно-західного макросхилу Українських Карпат та Гірського Криму властиві паводки мішаного походження, що проходять протягом холодного періоду року.

Кліматичні зміни, що відбуваються впродовж останніх десятиліть, суттєво вплинули на характеристики весняного водопілля річок України. Передусім, це стосується величини максимальних витрат весняного водопілля. В середньому, для рівнинної частини України, величина зменшення весняного максимуму впродовж останніх десятиліть становить 57% [6].

Величини максимальних витрат паводків теплого періоду року в межах рівнинної частини України зменшились на 20%. Гірські регіони України характеризуються дещо іншою тенденцією щодо змін максимумів теплого періоду року. Якщо в межах південно-західного макросхилу Українських Карпат (суббасейн Тиси) відмічається тенденція до незначного зменшення дощових максимумів (на 3%), то на протилежному – північно-східному макросхилі (суббасейни Пруту, Сирету та гірська частина району басейну річки Дністер) спостерігається зворотна ситуація. Величина максимумів теплого періоду року зросла тут на 7%. Ще більш суттєві зміни відбулися в межах Гірського Криму, де зазначена характеристика зросла на 79% [6].

Безумовно, зазначені процеси, обумовлені проявами кліматичних змін, повинні відобразитись у результатах оцінки однорідності максимальних річних витрат води річок України, що проведена нами в межах районів річкових басейнів та суббасейнів (табл.2).

Оцінка однорідності рядів максимальних річних витрат води за критерієм Фішера (однорідність дисперсій двох вибірок) свідчить, що для більшості рівнинних районів басейнів річок та суббасейнів однорідними є від 12,5% (суббасейн Сіверського Дінця) до 46,4% (суббасейн Прип'яті) рядів.

Для гірських регіонів показник однорідності за даним критерієм є дещо вищим і становить від 59,4% (Гірський Крим) до 63,2% (суббасейн Тиси).

Таблиця 2. Результати оцінки однорідності рядів максимальних річних витрат води за даними гідрологічних постів в межах районів річкових басейнів та суббасейнів

Назва району басейну річки	Назва суббасейну	Кількість постів, обраних для оцінки	% постів з однорідними рядами (при 5% рівні значимості) за критерієм:		
			Фішера	Стюдента	Вількоксона
Район басейну річки Дніпро	Суббасейн Верхнього Дніпра	1	100,0	100,0	100,0
	Суббасейн Середнього Дніпра	36	19,4	55,5	19,4
	Суббасейн Нижнього Дніпра	14	14,3	78,6	50,0
	Суббасейн річки Прип'ять	28	46,4	78,6	53,6
	Суббасейн річки Десна	8	25,0	25,0	25,0
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Дністер	Суббасейн гірського Дністра	30	73,3	73,3	73,3
	Суббасейн рівнинного Дністра	23	13,0	17,4	8,7
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Дунай	Суббасейн річки Тиса	19	63,2	73,7	63,2
	Суббасейн річки Прут	10	60,0	100,0	100,0
	Суббасейн річки Сірет	1	100,0	100,0	100,0
	Суббасейн Нижнього Дунаю	2	100,0	100,0	100,0
	<i>Середнє по району басейну</i>	32	65,6	84,4	78,1
Район басейну річки Південний Буг		21	23,8	9,5	4,8
Район басейну річки Дон	Суббасейн річки Сіверський Донець	32	12,5	18,8	15,6
	Суббасейн Нижнього Дону	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Вісла	Суббасейн річки Західний Буг	9	22,2	22,2	22,2
	Суббасейн річки Сан	1	0,0	100,0	100,0
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річок Причорномор'я		10	20,0	30,0	30,0
Район басейну річок Призов'я		н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Район басейну річок Приазов'я		18	38,9	16,7	0,0
Район басейну річок Криму		32	59,4	90,6	84,4

Примітка. н.д.* - немає даних

В даному випадку суббасейни, в межах яких знаходиться 1 – 2 гідрологічні пости, не аналізуються.

Оцінка однорідності рядів максимальних річних витрат води в межах окремих районів басейнів річок та суббасейнів, виконана з використанням критерію Стюдента (порівняння двох середніх значень), також дозволяє говорити про значне порушення однорідності рядів. І знов відмічається тенденція до більшого відсотку порушень у рівнинних регіонах України. Зокрема, однорідними тут за критерієм Стюдента є лише від 9,5% (район басейну річки Південний Буг) до 78,6% (суббасейни Прип'яті та Нижнього Дніпра) рядів. Для гірських регіонів, де превалюють дощові максимуми, однорідність рядів є значно вищою. Її показник коливається від 73,3% (гірська частина району басейну річки Дністер) до 100,0% (суббасейн Пруту).

Аналогічні тенденції спостерігаються і у розподілі по території України показника однорідності рядів максимальних річних витрат води, отриманого за допомогою критерію Вількоксона. В межах рівнинної території України процент однорідності рядів в межах окремих районів басейнів річок та суббасейнів коливається від 0,0% (район басейну річок Приазов'я) до 53,6% (суббасейн Прип'яті). Для регіонів з переважанням дощових максимумів процент є вищим – від 63,2% (суббасейн Тиси) до 100,0% (суббасейни Пруту та Сирету).

Випадків, коли порушення однорідності максимальних річних витрат води по одному і тому ж самому гідрологічному посту визначено з використанням всіх трьох критеріїв (Фішера, Стюдента та Вількоксона), відзначається набагато більше, ніж при оцінці однорідності середніх річних витрат води. Якщо для гірської частини району басейну річки Дунай та для гірської частини району річок Криму такі випадки повторюються по 3,1% гідрологічних постів, то для районів басейнів річок, розташованих у межах рівнинної частини України процент виникнення таких випадків є набагато вищим. Він коливається від 31,0% в межах району басейну річки Дніпро до 78,2% в межах рівнинної частини району басейну річки Дністер.

Однорідність рядів спостережень за мінімальним річним стоком (за районами басейнів річок). На річках України спостерігаються два маловодні сезони: літньо-осінній та зимовий. Мінімальний стік, зазвичай, характеризується мінімальними середньомісячними (або 30-денними періодами з найменшим стоком за тривалості межені менше двох місяців), мінімальними добовими витратами води річок у літньо-осінній та зимовий меженні періоди та мінімальними строковими витратами води впродовж цих періодів.

Для річок рівнинної частини України характерною є літньо-осіння межень (коли відбувається виснаження запасів підземних вод), що порушується окремими підйомами, викликаними дощовими паводками, а також зимова межень, що переривається в окремі роки підйомами рівня внаслідок танення снігу під час відлиг. Зимова межень є більш високою, оскільки формується підвищений підземний притік за рахунок осіннього зволоження, а також за рахунок живлення підземних вод талими водами в період відлиг [6].

Для гірської частини Українських Карпат найбільш низька межень характерна для зимового періоду, коли річки переходять виключно на підземне живлення. Літня межень тут є значно вищою, оскільки на меженні витрати значний вплив мають дощі, обумовлюючи пилкоподібний характер гідрографа стоку.

Для кримських річок (через особливі умови формування стоку та у зв'язку із тим, що літня межень переходить у осінньо-зимову, що продовжується в окремі роки до грудня-січня) загальноприйнятий поділ межені на літню та зимову не зовсім прийнятний. Більш прийнятним є поділ її на межень періоду відкритого русла та межень періоду з льодовими явищами [6].

Внутрішньорічні зміни складових водно-теплого балансу, обумовлені відповідними змінами температури повітря та опадів впродовж року, призвели до суттєвого зростання меженного стоку. Особливо, слід відзначити, зростання стоку зимової межени. Відносно теплі, з частими відлигами зими, випадіння опадів в цей період у вигляді дощу, мала глибина промерзання ґрунту сприяють зростанню стоку зимового сезону як поверхневого, так і підземного, який надалі живить річки.

Слід відзначити суттєве зростання протягом останніх десятиріч мінімальних витрат води у межах всіх, без виключення, одиниць гідрографічного районування. Вони найбільше зросли у південному та південно-східному регіонах України (район басейну річок Причорномор'я, район басейну річок Приазов'я, район басейну річок Криму).

Зазначені процеси, обумовлені проявами кліматичних змін, знайшли підтвердження у результатах оцінки однорідності мінімальних річних витрат води річок України, що проведена нами в межах районів річкових басейнів та суббасейнів. Аналіз мінімальних витрат зроблено нами окремо, для періоду відкритого русла (табл.3) та для періоду льодоставу (табл.4).

Оцінка однорідності рядів мінімальних витрат води періоду відкритого русла за критерієм Фішера (однорідність дисперсій двох вибірок) свідчить, що для більшості районів басейнів річок та суббасейнів однорідними є понад 50% рядів. Виключення становлять суббасейни Середнього та Нижнього Дніпра, а також район басейну річок Криму, де зазначена величина становить від 33,3% (Гірський Крим) до 46,2% (суббасейн Нижнього Дніпра). Гірські суббасейни Українських Карпат традиційно відзначаються більшою однорідністю рядів даних. За критерієм Фішера тут однорідними є від 60,0% (суббасейн Пруту) до 86,4% (гірська частина району басейну річки Дністер) рядів.

Оцінка однорідності рядів мінімальних витрат води періоду відкритого русла в межах окремих районів басейнів річок та суббасейнів, виконана з використанням критерію Стюдента (порівняння двох середніх значень), також дозволяє говорити про значне порушення однорідності рядів. Осереднені (по районах басейнів річок та окремим суббасейнам) показники однорідності виявилися у півтора – два рази нижчими, ніж за критерієм Фішера (табл.3). Практично для всіх одиниць гідрографічного районування вони є меншими за 50%. Виключення становлять окремі гірські суббасейни (Тиси – 71,4% та гірська частина району басейну річки Дністер – 68,2%). Найбільш неоднорідними виявилися (за даним критерієм) ряди мінімальних витрат періоду відкритого русла в межах суббасейнів Десни (14,3%), Середнього Дніпра (22,9%) та Прип'яті (25,9%).

Аналогічні тенденції спостерігаються і у розподілі по території України показника однорідності рядів мінімальних витрат води періоду відкритого русла, отриманого за допомогою критерію Вількоксона. В межах рівнинної території України процент однорідності рядів в межах окремих районів басейнів річок та суббасейнів коливається від 14,3% (суббасейни Десни та Прип'яті) до 38,5% (район басейну річки Південний Буг та район басейну річок Приазов'я). Для гірських регіонів процент однорідності рядів за критерієм Вількоксона є вищим – від 44,4% (гірська частина району басейну річок Криму) до 71,4% (суббасейн Тиси).

Випадків, коли порушення однорідності мінімальних витрат води періоду відкритого русла по одному і тому ж самому гідрологічному посту визначено з використанням всіх трьох критеріїв (Фішера, Стюдента та Вількоксона), відзначається більше, ніж при оцінці однорідності середніх річних витрат води. Якщо для середніх річних витрат води цей відсоток змінювався по території окремих районів басейнів річок в межах України від 3,1% до 21,9% то для мінімальних витрат води періоду відкритого русла він коливається від 8,3% (район басейну річки Дністер) до 42,2% (район басейну річки Дніпро).

Таблиця 3. Результати оцінки однорідності рядів мінімальних витрат води періоду відкритого русла за даними гідрологічних постів в межах районів річкових басейнів та суббасейнів

Назва району басейну річки	Назва суббасейну	Кількість постів, обраних для оцінки	% постів з однорідними рядами (при 5% рівні значимості) за критерієм:		
			Фішера	Стюдента	Вількоксона
Район басейну річки Дніпро	Суббасейн Верхнього Дніпра	1	100,0	100,0	100,0
	Суббасейн Середнього Дніпра	35	45,7	22,9	14,3
	Суббасейн Нижнього Дніпра	13	46,2	30,8	23,1
	Суббасейн річки Прип'ять	27	59,3	25,9	29,6
	Суббасейн річки Десна	7	42,9	14,3	14,3
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Дністер	Суббасейн гірського Дністра	83	50,6	25,3	21,7
	Суббасейн рівнинного Дністра	22	86,4	68,2	68,2
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Дунай	Суббасейн річки Тиса	14	85,7	35,7	35,7
	Суббасейн річки Прут	36	86,1	55,5	55,5
	Суббасейн річки Сірет	7	71,4	71,4	71,4
	Суббасейн	10	60,0	30,0	30,0
	Нижнього Дунаю	1	100,0	100,0	0,0
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Південний Буг	Суббасейн річки Сіверський Донець	2	100,0	100,0	100,0
	Суббасейн Нижнього Дону	20	70,0	55,0	50,0
Район басейну річки Дон	Суббасейн річки Західний Буг	13	61,5	38,5	38,5
	Суббасейн річки Сан	22	59,1	45,2	36,4
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річки Вісла	Суббасейн річки Сан	н.д.*	н.д.	н.д.	н.д.
	Суббасейн річки Сан	22	59,1	45,2	36,4
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річок Причорномор'я	Суббасейн річки Сан	8	50,0	25,0	25,0
	Суббасейн річки Сан	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річок Приазов'я	Суббасейн річки Сан	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
	Суббасейн річки Сан	13	76,9	46,2	38,5
<i>Середнє по району басейну</i>					
Район басейну річок Криму					
<i>Примітка. н.д.* - немає даних</i>					
			33,3	44,4	44,4

Таблиця 4. Результати оцінки однорідності рядів мінімальних витрат води періоду льодоставу за даними гідрологічних постів в межах районів річкових басейнів та суббасейнів

Назва району басейну річки	Назва суббасейну	Кількість постів, обраних для оцінки	% постів з однорідними рядами (при 5% рівні значимості) за критерієм:		
			Фішера	Стюдента	Вількоксона
<i>Район басейну річки Дніпро</i>	Суббасейн Верхнього Дніпра	1	100,0	100,0	100,0
	Суббасейн Середнього Дніпра	27	66,7	37,0	33,3
	Суббасейн Нижнього Дніпра	6	50,0	50,0	33,3
	Суббасейн річки Прип'ять	27	59,3	29,6	14,8
	Суббасейн річки Десна	5	80,0	40,0	40,0
<i>Середнє по району басейну</i>					
<i>Район басейну річки Дністер</i>	Суббасейн гірського Дністра	30	63,3	33,3	30,0
	Суббасейн рівнинного Дністра	22	59,0	40,1	27,3
<i>Середнє по району басейну</i>					
<i>Район басейну річки Дунай</i>	Суббасейн річки Тиса	17	82,4	35,3	23,5
	Суббасейн річки Прут	10	70,0	50,0	20,0
	Суббасейн річки Сірет	1	100,0	100,0	100,0
	Суббасейн Нижнього Дунаю	н.д.*	н.д.	н.д.	н.д.
<i>Середнє по району басейну</i>					
<i>Район басейну річки Південний Буг</i>	Суббасейн річки Сіверський Донець	18	66,6	22,2	22,2
	Суббасейн Нижнього Дону	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
<i>Середнє по району басейну</i>					
<i>Район басейну річки Вісла</i>	Суббасейн річки Західний Буг	5	100,0	80,0	80,0
	Суббасейн річки Сан	1	0,0	0,0	100,0
<i>Середнє по району басейну</i>					
<i>Район басейну річок Причорномор'я</i>		6	83,3	66,7	83,3
<i>Район басейну річок Приазов'я</i>		н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
<i>Район басейну річок Криму</i>		18	61,1	50,0	33,3
<i>Примітка. н.д.* - немає даних</i>					
		16	62,5	37,5	37,5

У табл.4 нами здійснено аналіз однорідності рядів мінімальних витрат води періоду льодоставу в межах окремих районів річкових басейнів та суббасейнів.

Застосування критерію Фішера для оцінки мінімальних витрат води періоду льодоставу дозволяє говорити про переважну однорідність дисперсій рядів зазначених витрат в межах окремих регіонів. Для більшості районів басейнів річок та суббасейнів (за виключенням суббасейну Сіверського Дінця) однорідними є понад 50% рядів. Найбільш однорідними є ряди в межах суббасейнів Десни (80,0%) та Тиси (82,4%).

Порушення однорідності рядів, визначені за допомогою критерію Стьюдента є ще більш суттєвими. Як і для мінімальних витрат води періоду відкритого русла, осереднені (по районах басейнів річок та окремим суббасейнам) показники однорідності виявилися у півтора – два рази нижчими, ніж за критерієм Фішера (табл.4). Практично для всіх одиниць гідрографічного районування (за винятком суббасейну Західного Бугу) вони є меншими за 50%. Навіть для гірських регіонів вони виявилися такими: від 33,3% (гірська частина району басейну річки Дністер) до 50,0% (суббасейн Пруту).

Оцінка однорідності рядів мінімальних витрат води періоду льодоставу, виконана за допомогою критерію Вількоксона (табл.4) підтверджує результати оцінки за іншими критеріями. Як для рівнинної, так і для гірської частин території України показник однорідності рядів за даним критерієм не перевищує 50%.

Виключенням, як в попередньому випадку, є суббасейн Західного Бугу, де однорідними за критерієм Вількоксона виявилися 80,0% рядів. Для інших районів басейнів річок та суббасейнів він коливається від 14,8% (суббасейн Прип'яті) до 40,6% (суббасейн Сіверського Дінця).

Випадків, коли порушення однорідності мінімальних витрат води періоду льодоставу по одному і тому ж самому гідрологічному посту визначено з використанням всіх трьох критеріїв (Фішера, Стьюдента та Вількоксона), відзначається також достатньо багато, але менше, ніж для мінімальних витрат періоду відкритого русла. По території України в межах окремих районів басейнів річок процент виникнення таких випадків коливається від 0,0% (район басейну річки Вісла) до 37,5% (район басейну річок Криму).

Висновки. Отже, проведений аналіз однорідності рядів при 5 % рівні значимості середніх та максимальних річних витрат води, мінімальних витрат води періоду відкритого русла та періоду льодоставу в межах окремих районів басейнів річок та суббасейнів, виконаний з використанням узагальнених параметричних критеріїв Фішера та Стьюдента, адаптованих до гідрологічних рядів, а також непараметричного критерію Вількоксона, дозволяє зробити наступні висновки:

- доволі високі показники однорідності рядів середніх річних витрат води свідчать про відсутність спрямованих змін річного стоку річок на більшій частині території країни;
- просторовий розподіл показників порушень однорідності, отриманих за різними критеріями, свідчить, що певні зміни середнього річного стоку властиві південним та південно-західним регіонам України;
- надати однозначну відповідь щодо кліматичної обумовленості виникнення таких змін доволі складно, оскільки зазначені регіони відзначаються і найбільшими показниками зарегульованості стоку річок, що, безперечно, призводить до порушень режиму стоку;
- кліматичні зміни, що відбуваються на території України впродовж останніх десятиліть та є відображенням глобальних кліматичних змін, призвели до значних змін у величинах максимальних річних витрат води річок України. Одним з підтверджень змін, що відбуваються, є високий відсоток порушень однорідності рядів максимальних річних витрат води річок;

- проведений аналіз свідчить, що найбільших змін зазнали максимальні витрати весняного водопілля, які є характерними для річок рівнинної частини країни. Їх зменшення відбулося як за абсолютною величиною, так і за розмахом (варіюванням) багаторічних коливань;
- максимальні витрати дощових паводків, які є характерними для гірських регіонів України, або не зазнали змін, або ці зміни є несуттєвими;
- кліматичні зміни також призвели до значних змін у величинах мінімальних витрат води річок України. Підтвердженням цього є високий відсоток порушень однорідності рядів мінімальних річних витрат води річок. Отримані результати оцінки порушення однорідності мінімальних річних витрат води є близькими як для рівнинних, так і для гірських регіонів України (на відміну від оцінок однорідності максимальних річних витрат води);
- підтвердженням кліматичної обумовленості зазначених порушень однорідності рядів мінімальних річних витрат води є той факт, що вони є ідентичними як для дуже зарегульованих районів басейнів річок та суббасейнів, так і для таких, де об'єми регулювання є набагато меншими (суббасейни Десни та Прип'яті, гірські регіони України);
- отримані нами висновки цілком підтверджують результати досліджень, проведених раніше [6].

Список літератури

1. Водний кодекс України, 1995 р. (зі змінами і доповненнями 2000-2016 рр.). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>. 2. Гідроекологічна оцінка енергетичного потенціалу річок басейну Дніпра (в межах України) в умовах змін клімату / Ободовський О. Г., Данько К. Ю., Почаєвець О.О. і ін. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Заключний звіт по темі № 16БП050-01, № д.р. 0116U004827, 2017. 291 с. 3. Голченко Є. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса : ТЕС, 2014. 484 с. 4. Горбачова Л. О., Бібік В.В. Часова однорідність характеристик водного стоку в басейні річки Боржава. *Наук. праці УкрНДГМІ*, 2012. Вип. 262. с.177-188. 5. Горбачова Л.О. Методичні підходи щодо оцінки стаціонарності і однорідності гідрологічних рядів спостережень. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2014. Т.1. С.22-31. 6. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). К.: Ніка-Центр, 2010. 316 с. 7. Гребінь В.В., Василенко Є.В. Аналіз сучасних змін факторів формування та характеристик весняного водопілля річок басейну Прип'яті (в межах України). *Фізична географія та геоморфологія*, 2012. Т.2(66). с. 161-167. 8. Жовнір В.В., Гребінь В.В., Рахматулліна Е.Р. Оцінка однорідності характеристик термічного режиму води і повітря в межах басейну Південного Бугу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2015. Т.2(37). С.86-93. 9. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчётных значений по неоднородным данным. ГУ «ГГИ», 2010. 162 с. 10. Назви суббасейнів та водогосподарських ділянок у межах районів річкових басейнів. Додаток до наказу Міністерства екології та природних ресурсів України від 26.01.2017 № 25. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0208-17>. 11. Определение расчетных гидрологических характеристик СНиП 2.01.14-83. М.: Госком СССР по делам строительства, 1983. 97 с. 12. Рождественский А. В., Ежов А.В., Сахарук А.В. Оценка точности гидрологических расчётов. Л. : Гидрометеиздат, 1990. 276 с. 13. Руководство по гидрологической практике. Т. II. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. Женева: ВМО. № 168. 2012.

References

1. Vodnyj kodeks Ukrainy, 1995 r. (zi zminamy i dopovnenniamy 2000-2016 rr.). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>. 2. Hidroekolohichna otsinka enerhetychnoho potentsialu richok basejnu Dnipro (v mezhakh Ukrainy) v umovakh zmin klimatu / Obodovs'kyj O. H., Dan'ko K. Yu., Pochaievets' O.O. i in. Kyivs'kyj natsional'nyj universytet imeni Tarasa Shevchenka. Zakliuchnyj zvit po temi № 16BP050-01, № d.r. 0116U004827, 2017. 291 s. 3. Hupchenko Ye. D., Loboda N. S., Ovcharuk V. A. Hidrololohichni rozrakhunki: pidruchnyk. Odessa : TES, 2014. 484 s. 4. Horbachova L. O., Bibik V.V. Chasova odnoridnist' kharakterystyk ISSN:2306-5680 **Hidrolohii, hidrokhimii i hidroekolohii. 2019. № 1 (52)**

vodnoho stoku v basejni richky Borzhava. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*, 2012. Vyp. 262. s.177-188.

5. *Horbachova L.O.* Metodichni pidkhody schodo otsinky statsionarnosti i odnorodnosti hidrolohichnykh riadiv sposterezhen'. *Hidrolohii, hidrokhimii i hidroekologii*, 2014. T.1. S.22-31.

6. *Hrebin' V.V.* Suchasnyj vodnyj rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohichnyj analiz). K.: Nika-Tsentr, 2010.

7. *Hrebin' V.V., Vasilenko Ye.V.* Analiz suchasnykh zmin faktoriv formuvannia ta kharakterystyk vesnianoho vodopillia richok basejnu Pryp'iaty (v mezhakh Ukrainy). *Fizychna heohrafiia ta heomorfologhiia*, 2012. T.2(66). s. 161-167.

8. *Zhovnir V.V., Hrebin' V.V., Rakhmatullina E.R.* Otsinka odnorodnosti kharakterystyk termichnoho rezhymu vody i povitria v mezhakh basejnu Pivdennoho Buhu. *Hidrolohii, hidrokhimii i hidro ekologii*, 2015. T.2(37). S.86-93.

9. Metodicheskye rekomendatsyy po otsenke odnorodnosti hydrolohicheskikh kharakterystyk y opredeleniyu ykh raschiotnykh znacheniy po neodnorodnym dannym. HU «HHY», 2010. 162 s.

10. Nazvy subbasejnykh ta vodohospodars'kykh dilianok u mezhakh rajoniv richkovykh basejnykh. Dodatok do nakazu Ministerstva ekologii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 26.01.2017 № 25. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0208-17>.

11. Opredelenye raschetnykh hydrolohicheskikh kharakterystyk SNyP 2.01.14-83. M.: Hoskom SSSR po delam stroitel'stva, 1983. 97 s.

12. Rozhdestvenskiy A. V., Ezhov A.V., Sakhariuk A.V. Otsenka tochnosti hydrolohicheskikh raschiotov. L. : Hydrometeoyzdat, 1990. 276 s.

13. Rukovodstvo po hydrolohicheskoy praktike. T. II. Upravlenye vodnymi resursamy y praktika pryimeneniya hydrolohicheskikh metodov. Zheneva: VMO. № 168. 2012.

Оцінювання однорідності рядів стокових характеристик річок районів річкових басейнів та суббасейнів України

Гребін В.В., Ободовський О.Г., Жовнір В.В., Мудра К.В., Почаєвець О.О.

Здійснено аналіз однорідності рядів середніх та максимальних річних витрат води, мінімальних витрат води періоду відкритого русла та періоду льодоставу в межах окремих районів басейнів річок та суббасейнів України. Дослідження виконано з використанням параметричних критеріїв Фішера та Ст'юдента, адаптованих до гідрологічних рядів, а також непараметричного критерію Вількоксона. Отримані результати свідчать про відсутність спрямованих змін річного стоку річок на більшій частині території країни, за винятком південних та південно-західних її регіонів. Високий відсоток порушень однорідності рядів властивий максимальним витратам весняного водопілля. Практично однорідними є ряди максимальних витрат дощових паводків. Високий відсоток порушень однорідності рядів мінімальних річних витрат води властивий як зарегульованим річкам, так і тим, де об'єми регулювання стоку є значно меншими.

Ключові слова: однорідність; статистичні критерії; район річкового басейну; суббасейн; просторовий аналіз.

Оценивание однородности рядов стоковых характеристик рек районов речных бассейнов и суббассейнов Украины

Гребень В.В., Ободовский А.Г., Жовнір В.В., Мудра К.В., Почаевец Е.А.

Осуществлен анализ однородности рядов средних и максимальных годовых расходов воды, минимальных расходов воды периода открытого русла и периода ледостава в пределах отдельных районов бассейнов рек и суббассейнов Украины. Исследование выполнено с использованием параметрических критериев Фишера и Ст'юдента, адаптированных к гидрологическим рядам, а также непараметрического критерия Вилькоксона. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии направленных изменений годового стока на большей части территории страны, за исключением южных и юго-западных ее регионов. Высокий процент нарушений однородности рядов присущ максимальным расходам весеннего половодья. Практически однородными являются ряды максимальных расходов дождевых паводков. Высокий процент нарушений однородности рядов минимальных годовых расходов воды присущ как зарегулированным рекам, так и тем, где объемы регулирования стока есть намного меньшими.

Ключевые слова: однородность; статистические критерии; район речного бассейна; суббассейн; пространственный анализ.

Homogeneity estimation of river runoff data for rivers of river basin districts and river sub basins in Ukraine

Grebin V.V., Obodovskyi O.G., Zhovnir V.V., Mudra K.V., Pochaevets O.O.

The analysis of the homogeneity for series of average and maximum annual water discharge, minimum water discharge in the period of the open river channel and in the freezing over period within the

separate river basin districts and river sub basins in Ukraine has been analyzed. Data from 285 hydrological stations from the beginning of observations by 2015 inclusive has been used for analysis. The study was carried out using generalized parametric criteria Fisher and Student, which was adapted to hydrological data, as well as non-parametric Wilcoxon criteria. The obtained results indicate the absence of directed changes in the annual river flow in most part of the country, with the exception of the southern and southwestern regions.

The high percentage of violations of the homogeneity is characteristic for maximum spring water discharge. There was a water discharge decrease in both cases: in absolute magnitude and in the variation of long-term fluctuations. The maximum rain floods water discharge is characteristic for the mountain regions of Ukraine, or has not undergone any changes, or these changes are negligible.

Climate change has also led to significant changes of the minimum water discharge in the Ukrainian rivers. Confirmation of this is a high percentage of violations of the minimum annual river water discharge homogeneity. The results of the estimation of the homogeneity violation of the minimum annual water discharge are similar for both plain and mountain regions of Ukraine (as opposed to homogeneity estimates of the maximum annual water discharge). Confirmation of the climatic conditionality of these homogeneity violations of the minimum annual water discharge is the fact that they are identical for highly regulated river basin districts and sub basins, and for those where the volume of regulation is much smaller (Desna and Pripjat sub basins, mountain regions of Ukraine).

Keywords: homogeneity; statistical criteria; river basin district; sub basin; spatial analysis.

Надійшла до редколегії 25.01.2019