

УДК 556.166

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.13>О. Ободовський, д-р геогр. наук, проф.,
E-mail: obodovskiy58@gmail.com;О. Лук'янець, канд. геогр. наук, доц.,
E-mail: luko@ukr.net;О. Почаєвець, пров. інж.,
E-mail: po4aevets@gmail.com;С. Москаленко, канд. геогр. наук,
E-mail: stas_univer@ukr.net;Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Географічний факультет, пр. Акад. Глушкова, 2, Київ, 02000, Україна

БАГАТОРІЧНА МІНЛИВІСТЬ АБСОЛЮТНИХ РІЧНИХ МІНІМУМІВ СТОКУ ВОДИ РІЧОК УКРАЇНИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

Актуальними є дослідження мінливості мінімального стоку води, який належить до екстремальних режимних характеристик водноносності річок у періоди меженей. Така інформація представляє, у загальному випадку, лімітуючі критерії щодо водоспоживання, водокористування та охорони водних ресурсів від забруднення і виснаження, а іноді – це показники небезпечності і катастрофічності, зокрема у періоди тривалих посух. Особливо це важливо в умовах сучасних кліматичних змін, в яких суттєво підвищується ймовірність настання екстремальних гідрологічних явищ. Для оцінки багаторічної мінливості абсолютних річних мінімумів стоку води річок України сформовано вибірки мінімальних середньодобових витрат води за окремі роки з 294 гідрометричних постів з 1947 р. до 2015 р. включно та використано методи статистичної обробки випадкових величин (для визначення норм стоку, коефіцієнтів варіації та асиметрії) та випадкових функцій (для побудови інтегральних різницеєвих кривих). В основу дослідження просторових закономірностей змін абсолютних мінімумів стоку води річок України взято "Схему гідрографічного районування території України", де територія України поділяється на гідрографічні одиниці – дев'ять районів річкових басейнів та дев'ять суббасейнів. Абсолютні річні мінімуми стоку води річок на території України фіксуються у періоди літньо-осінньої чи зимової межени. Високі значення норм мінімальних за рік модулів стоку води спостерігаються на річках Карпатського регіону і змінюються від $8,7 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ на гірських річках з невеликими площами водозборів до $0,9 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ на річках з більшими водозборами, які виходять з гірських та передгірних ділянок протікання на рівнинні. На річках Криму абсолютні річні мінімуми модулів стоку води у переважній більшості змінюються від 0,0 до $1,8 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$. Щодо рівнинних річкових басейнів, то для річок басейну Вісли, суббасейнів Прип'яті та Десни, лівобережної частини річкового басейну Дністра діапазон норм мінімальних за рік модулів стоку води становить $0,20 \div 2,9 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$. Південніше від зазначених рівнинних річкових басейнів діапазони поступово зменшуються: на річках суббасейну Середнього Дніпра – $0,19 \div 1,19 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, суббасейну Нижнього Дніпра – $0,04 \div 0,42 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, басейну Південного Бугу – $0,09 \div 1,75 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, а у басейні річок Причорномор'я – $0,0 \div 0,001 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$. Для річкових басейнів рівнинної частини України варіація річних мінімумів знаходиться у межах $0,30 \div 2,83$, меншим є діапазон мінливості для річок Карпатського регіону – $0,20 \div 0,90$. Коефіцієнти асиметрії мінімального за рік стоку води річок для всієї території України мають діапазони від від'ємних $-0,11 \div -2,01$ до додатних значень $1,30 \div 6,4$. Щодо багаторічної мінливості абсолютних річних мінімумів стоку води річок України, то аналіз узагальнених різницеєвих інтегральних кривих для всієї сукупності річок у межах басейнів та суббасейнів гідрографічного районування України показав, що в границях періоду спільних спостережень з 1947 по 2015 р. циклічні складові проявляються у тривалому періоді зменшення їх величин до 1968–1974 рр., потім спостерігається їх збільшення, а на сучасному відрізку часу після 2006–2010 рр. помітна тенденція до зменшення.

Ключові слова: річки України, гідрографічне районування України, межень, мінімальний стік води, абсолютні річні мінімуми, статистичні параметри розподілу, різницеєві інтегральні криві, мінливість мінімального стоку води.

Постановка проблеми. Водний режим річок, який визначає ритміку надходження води в річки з поверхні їх басейнів, не залишається постійним, він схильний до помітних змін як у межах окремих років, так й багаторічному розрізі. Екстремальні витрати води належать до найважливіших режимних характеристик водноносності річкового стоку. Це, насамперед, максимальні витрати води, що сформовані в періоди проходження водопілля, паводків та мінімальні – у період меженей. Стік води в меженний період формується переважно підземними водами, і у цей час спостерігаються мінімальні витрати води. Розділяють миттєві, середньодобові, 30-денні мінімуми та ін. Інформація про мінімальний стік води річок, у загальному випадку, є лімітуючим критерієм у питаннях водоспоживання, водокористування водних ресурсів та їх охорони від забруднення і виснаження, а іноді небезпечним і катастрофічним – в періоди тривалих посух. Дослідження мінімального стоку та його багаторічної мінливості має важливе практичне значення при різних видах гідрологічних розрахунків та водогосподарського проектування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Достатньо повний аналітичний огляд історії досліджень (майже за століття) меженного та мінімального стоку води річок окремих річкових басейнів та України в цілому, а також результати досліджень закордонних вчених подано у роботі В.В. Жовнір та В.В. Гребеня (Жовнір та Гребінь, 2018). Перші узагальнення низьких і найменших витрат води, мінімального стоку по території Європейської частини СРСР були зроблені у 20–30-х роках

минулого сторіччя (Кочерин, 1929; Сибирцева, 1937). Пізніше, у 50–70-х роках, ґрунтовний внесок у дослідження мінімального стоку річок України зробили К.А. Лисенко, Г.О. Чіппінг (Чіппінг та Лисенко, 1959; Лисенко, 1965; Лисенко, 1976). У цей же період (протягом 1966–1971 рр.) видаються випуски "Ресурсів поверхневих вод СРСР", в яких наведено детальні характеристики меженного і мінімального стоку річок України (Айзенберг і Каганер, 1966; Каганер, 1967, 1969, 1971). Треба відзначити, що на той час ряди спостережень за мінімальним стоком були короткими, у переважній більшості – 20–25 років. З плином часу дані гідрометричних спостережень накопичувалися, тим самим збільшувалися статистичні послідовності даних про водний стік річок, що сприяло більш ретельним його дослідженням, обґрунтованим розрахункам та висновкам. У сучасний період досліджень мінімального стоку води річок України можна відмітити наукові праці В.І. Вишневецького, О.О. Косовця (Вишневецький, 2000; Вишневецький та Косовець, 2003), монографію В.В. Гребеня (Гребінь, 2010), низку публікацій, де розглядаються характеристики мінімального стоку окремих річок чи окремих річкових басейнів України (Чорноморець та Гребінь 2002; Соловей, 2003; Лобода, 2004; Хільчевський та ін., 2007; Лобода та ін., 2011; Божок, 2015; Ободовський та ін., 2016; Ободовський та ін., 2018).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. За наявності достатньої кількості публікацій стосовно вивчення меженного та мінімального стоку

води річок України, немає узагальнень просторових особливостей зміни характеристик мінімального стоку води в межах всієї країни, співвідношень мінімального та середнього річного стоку води річок. Також мало уваги приділено оцінці міжрічної мінливості мінімального стоку води річок України загалом, опису тенденцій його минулих та сучасних часових змін.

Постановка завдання. Мета даного дослідження – оцінка абсолютних річних мінімумів стоку води річок України та їх багаторічної мінливості у межах річкових басейнів відповідно Гідрографічному районуванню України. Для цього сформовано вибірки мінімальних середньодобових витрат води за окремі роки (тобто послідовності абсолютних річних мінімумів стоку води річок) від початку спостережень до 2015 р. включно, з 294 гідрометричних постів. Така фактографічна база даних створена за матеріалами спостережень Державної гідрометеорологічної служби ДСНС України.

У межах України періоди спостережень за стоком води річок більше 70 років мають близько 20 % гідрологічних постів, у межах 50÷70 років – 63 %. Отже, 83 % гідрологічних постів мають періоди спостережень ≥ 50 років і лише 17 % мають період спостережень ≤ 50 років.

В основу дослідження просторових закономірностей зміни абсолютних мінімумів стоку води в річках України взято "Схему гідрографічного районування території України", яка розроблена у 2013 р. За нею територія України поділяється на гідрографічні одиниці – дев'ять районів річкових басейнів та дев'ять суббасейнів (*Гребінь та ін.*, 2013). Гідрографічне районування території України виконано відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу з метою розробки планів інтегрованого управління річковими басейнами (*Водна Рамкова Директива ЄС...*, 2006; *Хільчевський та Гребінь*, 2017).

Виклад основного матеріалу дослідження. Зміна середнього багаторічного стоку води річок у межах території підкоряється певним закономірностям, в основному географічної зональності (широтної чи висотної). Глибина залягання підземних вод, як правило, збільшується від зон надлишкового, достатнього зволоження до зон недостатнього. У тому же напрямку зменшується водність межені, а отже, знижуються й мінімальні витрати води аж до повного зникнення.

Для виконання поставленої мети, а саме, оцінки абсолютних річних мінімумів стоку води річок України та їх багаторічної мінливості авторами використано методи статистичної обробки випадкових величин (для визначення параметрів розподілу – норм стоку води, коефіцієнтів варіації та асиметрії) та випадкових функцій (для побудови інтегральних різницевоїх кривих), а також статистичний аналіз залежності між гідрологічними змінними (*Рождественский и Чеботарев*, 1974; *Сикан*, 2007).

Норма абсолютних річних мінімумів стоку води річок визначалася як

$$\bar{Q}_n = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (1)$$

де $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$ – значення стоку води річки за окремі роки; n – кількість років спостережень.

Мірою багаторічної мінливості стокової характеристики річок є параметри її розподілу – коефіцієнти варіації C_V і асиметрії C_S , які розраховуються за формулами:

$$C_V = \sqrt{n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}, \quad (2)$$

$$C_S = n^{-1} \cdot C_V^{-3} \cdot \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3, \quad (3)$$

де $k_i = Q_i / \bar{Q}$ – модульні коефіцієнти значень змінної величини.

У табл. 1 подано діапазони норм мінімальних за рік витрат води (\bar{Q}_{\min} , $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$) та модулів стоку води (\bar{M}_{\min} , $\text{л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$) річок, показників їх мінливості C_V та C_S у межах річкових басейнів та суббасейнів за схемою Гідрографічного районування України, а також найменші значення мінімального річного модуля стоку води, які зафіксовано за періоди спостережень на річках.

Високі значення норм мінімальних за рік модулів стоку води спостерігаються на річках Карпатського регіону в межах суббасейнів Тиси, Пруту і Сірету та правобережної частини річкового басейну Дністра (табл. 1). У зазначених річкових басейнах мінімальні за рік модулі стоку води змінюються від $8,7 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ на гірських річках з невеликими площами водозборів до $0,9 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ на річках з більшими водозборами, які виходять з гірських та передгірних ділянок протікання на рівнині (табл. 1).

Широким діапазоном абсолютних мінімальних за рік модулів стоку води характеризується й басейн річок Криму – $0,0 \div 11,3 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ (табл. 1), хоча такий високий мінімальний стік води у $11,3 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ за даним багаторічних спостережень зафіксовано лише на р. Біюк-Карасу – с. Карасівка (площа водозбору $F = 7,10 \text{ км}^2$). Здебільшого абсолютні річні мінімуми модулів стоку води на річках Криму змінюються від $0,0$ до $1,8 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$.

Щодо рівнинних річкових басейнів, то для річок басейну Вісли (Західного Бугу та Сяну), суббасейнів Прип'яті та Десни, басейну Дніпра, лівобережної частини річкового басейну Дністра діапазони норм мінімальних за рік модулів стоку води порівняно з іншими рівнинними річковими басейнами досліджуваної території є високими – $0,20 \div 2,9 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ (табл. 1). Південніше від зазначених рівнинних річкових басейнів діапазони норм мінімальних за рік модулів стоку води поступово зменшуються: на річках суббасейну Середнього Дніпра змінюються у межах $0,19 \div 1,19 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, суббасейну Нижнього Дніпра – $0,04 \div 0,42 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, басейну Південного Бугу – $0,09 \div 1,75 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$. У басейні річок Причорномор'я мінімальні річні модулі стоку води річок дорівнюють $0,0 \div 0,001 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, нерідко ці річки – періодичні водотоки, які у маловодні роки протягом декількох місяців пересихають.

На загальному фоні зменшення на рівнинній території України діапазонів норм мінімальних за рік модулів стоку води дещо виділяються басейн річок Приазов'я, у межах якого мінімальні річні модулі стоку води річок дорівнюють $0,15 \div 6,46 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, та річки басейну Дону – $0,09 \div 2,15 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, що течуть із Донецького кряжу та Приазовської височини (табл. 1).

Здебільшого для річкових басейнів рівнинної частини України коефіцієнти варіації абсолютних річних мінімумів змінюються від $0,30$ до $2,83$. Меншим є діапазон мінливості мінімального за рік стоку води для річок Карпатського регіону в межах суббасейнів Тиси, Пруту і Сірету та правобережної частини річкового басейну Дністра – $0,20 \div 0,90$. Найбільш високе значення коефіцієнта варіації фіксується у басейні річок Криму – $6,56$. Це пояснюється тим, що найменші за період спостережень абсолютні мінімальні модулі стоку на більш ніж 50 % річок дорівнюють $0,0 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$. Коефіцієнти асиметрії мінімального за рік стоку води для всієї території України мають діапазони від від'ємних $-0,11 \div -2,01$ до додатних значень $1,30 \div 6,4$, тобто для рядів мінімального річного стоку характерними є як симетричні, так і помірно-асиметричні і вкрай асиметричний розподіл.

Таблиця 1

Характеристики абсолютних річних мінімумів стоку води річок України та параметри їх мінливості за даними гідрометричних спостережень (від їх початку по 2015 р. включно)

Річкові басейни та суббасейни відповідно до гідрографічного районування України	Діапазони		коефіцієнтів варіації C_v	коефіцієнтів асиметрії C_s	Найменший за період спостережень абсолютний мінімальний модуль стоку, $л \cdot c^{-1} \cdot км^{-2}$
	норм абсолютних річних мінімумів стоку води річок у витратах води \bar{Q}_{\min} , $м^3 \cdot c^{-1}$	у модулях стоку \bar{M}_{\min} , $л \cdot c^{-1} \cdot км^{-2}$			
I. Річковий басейн Вісли (Західного Бугу та Сяну)	0,09÷11,1	0,78÷6,82	0,38÷0,85	-0,54÷3,32	0,02 (р. Свиня – м. Жовква)
II. Річковий басейн Дунаю					
Суббасейн Тиси	0,05÷44,8	0,93÷8,69	0,32÷0,66	0,08÷1,33	0,07 (р. Стара – с. Зняцьово)
Суббасейн Пруту і Сірету	0,05÷10,6	1,53÷6,62	0,37÷0,66	-0,17÷2,68	0,17 (р. Путила – смт Путила)
III. Річковий Басейн Дністра					
лівобережжя	0,02÷5,0	0,11÷2,97	0,29÷1,09	-0,21÷2,24	0,01 (р. Мурафа – с. Кудіївці)
правобережжя	0,25÷90,9	0,93÷5,52	0,19÷0,92	-0,34÷2,64	0,06 (р. Дністер – м. Самбір)
IV. Річковий басейн Південного Бугу	0,05÷8,9	0,09÷1,75	0,31÷1,38	0,22÷2,62	0,00 (р. Мертвовід – с. Крива Пустош, р. Савранка – с. Осички, р. Кодима – с. Катеринка)
V. Річковий басейн Дніпра					
суббасейн Прип'яті	0,12÷17,7	0,19÷2,83	0,29÷1,26	-0,43÷4,00	0,004 (р. Вижівка – с. Стара Вижівка)
суббасейн Десни	1,00÷151	0,79÷2,21	0,25÷2,83	-0,11÷4,87	0,08 (р. Івотка – с. Івот)
суббасейн Середнього Дніпра	0,04÷12,9	0,19÷1,19	0,33÷1,71	-0,41÷2,82	0,001 (р. Удай – с. Прилуки)
суббасейн Нижнього Дніпра	0,09÷2,4	0,04÷0,42	0,58÷1,72	0,08÷3,59	0,01 (р. Мала Терса – с. Троїцьке, р. Гайчур – с. Андріївка)
VI. Басейн Річок Причорномор'я	0,0	0,0	-	-	0,00
VII. Річковий басейн Дону	0,08÷47,7	0,09÷2,15	0,29÷1,17	-2,01÷4,32	0,000-0,002 (р. Лопань – смт Козача Лопань, р. Сухий Торець – смт Черкаське, р. Айдар – смт Білолуцьк)
VIII. Басейн річок Приазов'я	0,05÷5,1	0,15÷6,46	0,32÷0,97	-0,34÷2,15	0,00 (р. Молочна – м. Токмак, р. Обитічна – м. Приморськ, р. Берда – с. Осипенко)
IX. Басейн річок Криму	0,00÷0,51	0,00÷11,3	0,37÷6,56	0,08÷6,4	0,0 (більш ніж на 50 % річок)

Для порівняння абсолютних річних мінімумів та середнього річного стоку води річок побудовано залежності між ними (рис. 1–3). Виявилося, що апроксимація таких зв'язків у межах районів басейнів та суббасейнів відповідно до гідрографічного районування України дуже висока, переважно коефіцієнти апроксимації $R^2=0,85\div0,99$, лише для басейну річок Криму $R^2=0,34$.

Якщо порівнювати норми річних абсолютних мінімумів та середній річний стік води у витратах води, то для річок Карпатського регіону в межах суббасейнів Тиси, Пруту і Сірету значення середніх річних витрат води в середньому у 5–7 разів більше значень їх абсолютних річних мінімумів, а для гірських річок Криму – майже в 10 разів. Для річкового басейну Дністра, як для гірської (правобережної), так й для рівнинної (лівобережної) його частин – у 3,0–3,3 раза. Для рівнинних річкових басейнів значення середніх річних витрат води порівняно із середнім річним мінімумом на річках басейну Вісли (Західного Бугу та Сяну), суббасейнів Прип'яті та Десни (басейну Дніпра) вище у середньому в 2,0–2,5 раза, на річках суббасейну Середнього Дніпра та басейну Південного Бугу – в середньому в 3,8–4,2 раза, на річках суббасейну Нижнього Дніпра – у 8,0 разів, для річкових басейнів Дону, Приазов'я – у середньому в 2,5–3,0 рази. Виявлені співвідношення між середнім річним стоком води річок та їх абсолютними річними мінімумами добре

відповідають фізико-географічним умовам їх формування, ступеню зволоженості водозборів, глибині залягання підземних вод та водно-балансовим співвідношенням у межах річкових басейнів та суббасейнів відповідно до гідрографічного районування України.

Поширеним способом для виявлення багаторічної мінливості будь-яких характеристик річкового стоку води, тобто тенденцій до групування років з відносно великими та малими їх значеннями, які зумовлені внутрішньорядною скорельованістю або наявністю циклічного тренду, є графічний аналіз різницевої інтегральної кривої, ординати функції якої визначаються за формулою

$$S_i = \sum_{k=1}^{i=n} \frac{(k_i - 1)}{C_v}, \quad (4)$$

де k_i – модульний коефіцієнт значень характеристик стоку води, який дорівнює відношенню Q_i / \bar{Q} , при цьому \bar{Q} – середнє арифметичне всього ряду Q_1, Q_2, \dots, Q_n , C_v – коефіцієнт варіації членів досліджуваного ряду, S_i – крива накопичення стандартного перетворення значень характеристик річкового стоку води (Рождественский и Чеботарев, 1974; Сукан, 2007).

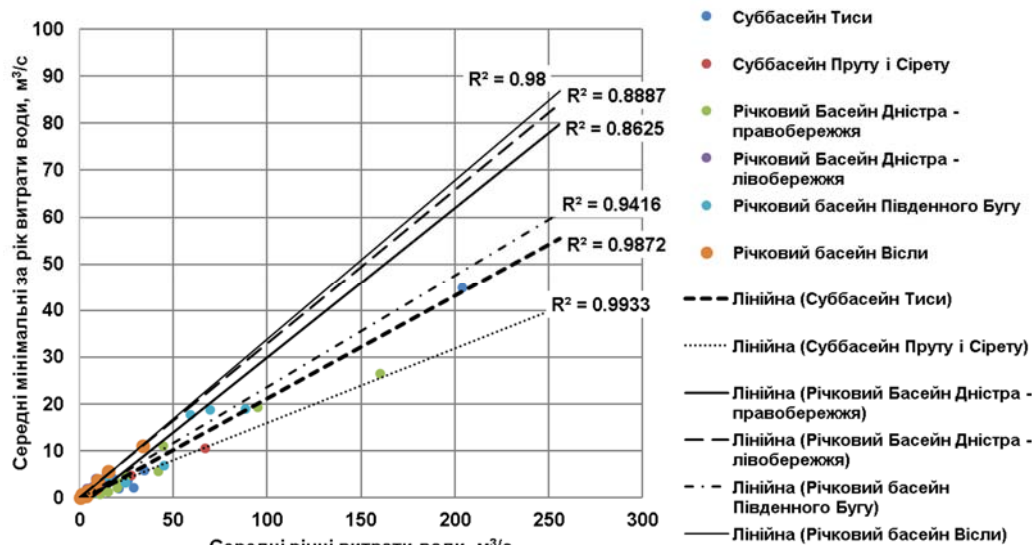


Рис. 1. Залежність норм абсолютних річних мінімумів від середніх річних витрат води річок у річкових басейнах Вісли, Дунаю (суббасейни Тиси, Пруту і Сірету), Дністра, Південного Бугу

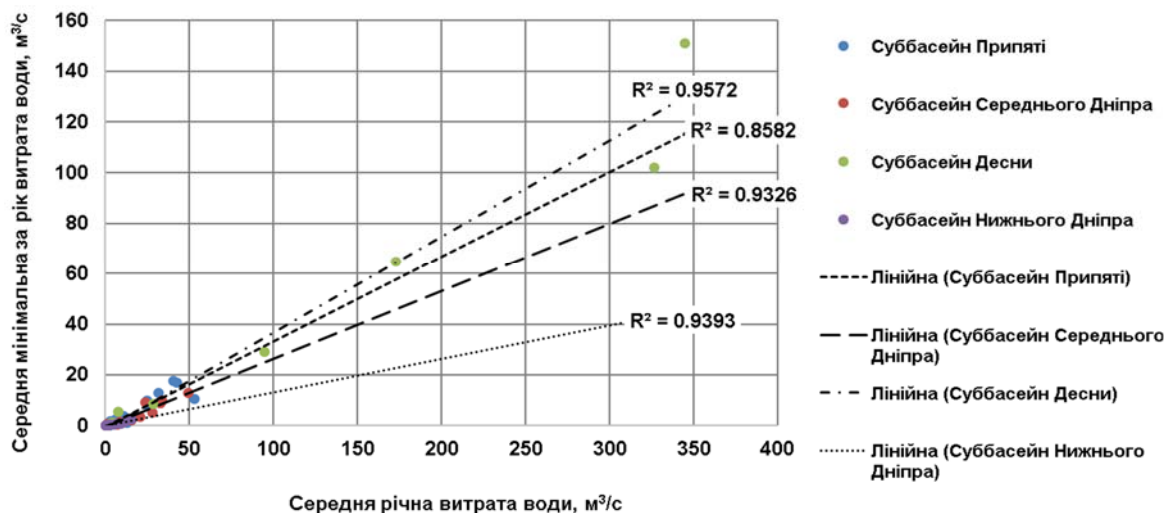


Рис. 2. Залежність норм абсолютних річних мінімумів від середніх річних витрат води річок у річкових басейнах Дніпра (суббасейни Прип'яті, Десни, Середнього та Нижнього Дніпра)

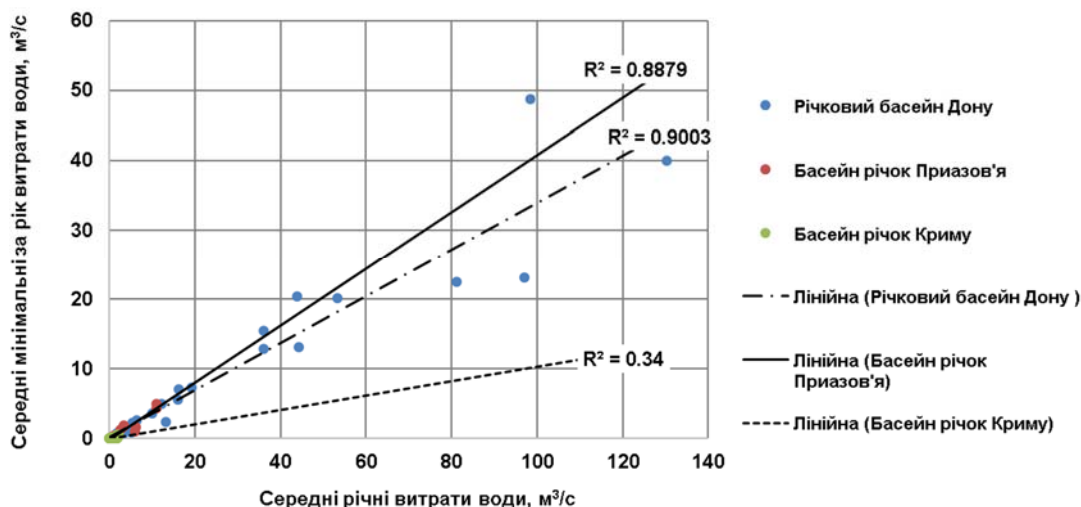


Рис. 3. Залежність норм абсолютних річних мінімумів від середніх річних витрат води річок у річкових басейнах Дону, Приазов'я та Криму

Позитивна наростаюча сума відхилень S_i означає середнє зростання значень характеристик річкового стоку води, негативна спадна сума S_i характеризує середнє зменшення стоку води. Позитивна наростаюча разом з негативною спадною сумою утворюють повний цикл водності досліджуваної стокової характеристики.

Для аналізу мінливості абсолютних річних мінімумів у межах України за різницеви́ми інтегральними кривими, спочатку було розраховано їх ординати для всіх річок, на яких ведуться спостереження за стоком води і які протікають усередині річкових басейнів та суббасейнів відповідно до гідрографічного районування України. Потім

різницеви́ інтегральні криві часових послідовностей абсолютних річних мінімумів стоку води окремих річок у межах досліджуваних річкових басейнів та суббасейнів було узагальнено (рис. 4).

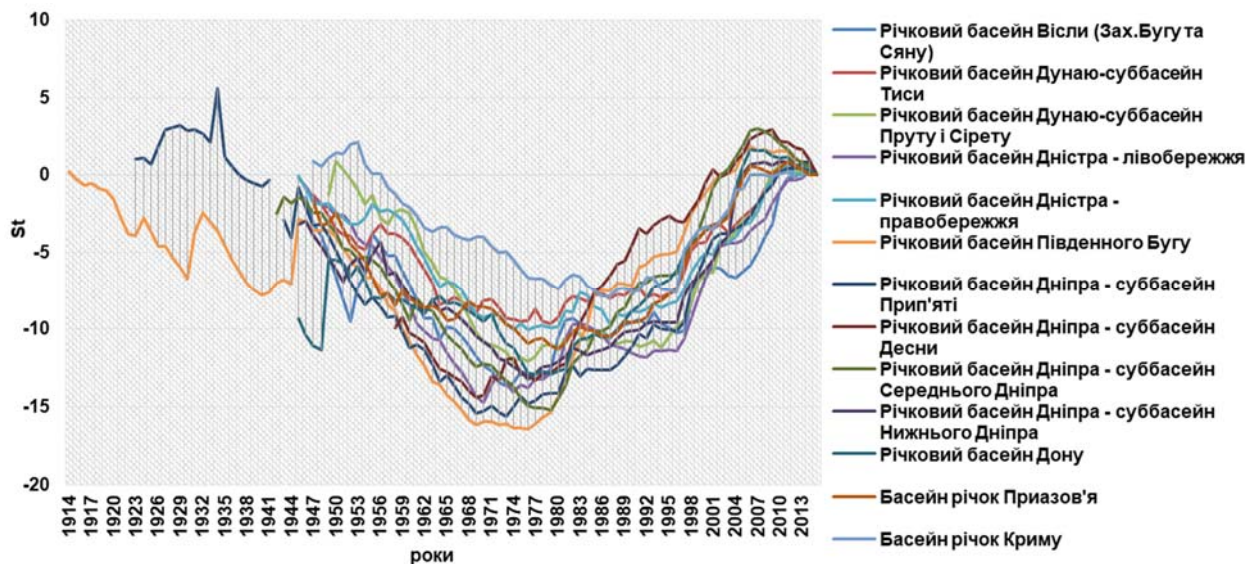


Рис. 4. Узагальнені різницеви́ інтегральні криві мінімального річного стоку води річок у межах річкових басейнів та суббасейнів за гідрографічним районуванням України

У мінімальному річному стоці води у межах спільного періоду спостережень з 1947 по 2015 р. для всіх річкових басейнів та суббасейнів – як для рівнинних, так і гірських – спостерігається майже синхронні періодичності (рис. 4). Як бачимо, коридор коливань таких періодичностей для всіх річкових басейнів та суббасейнів України у цілому проявляється у тривалому періоді зменшення величин абсолютних річних мінімумів стоку води на річках України до 1968–1974 рр., потім спостерігається їх збільшення і на сучасному відрізьку часу – після 2006–2010 рр. – помітна тенденція до зменшення.

Висновки. Для річок рівнинних річкових басейнів, а саме для річок басейну Вісли, суббасейнів Прип'яті та Десни, лівобережної частини річкового басейну Дністра діапазон норм абсолютних річних мінімальних модулів стоку води сягає $0,20 \div 2,9 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$. Південніше ці діапазони поступово зменшуються: на річках суббасейну Середнього Дніпра $0,19 \div 1,19 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, суббасейну Нижнього Дніпра $0,04 \div 0,42 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, басейну Південного Бугу $0,09 \div 1,75 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, а у басейні річок Причорномор'я $0,0 \div 0,001 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$. Коефіцієнти варіації абсолютних річних мінімумів для річкових басейнів рівнинної частини України знаходяться у межах $0,30 \div 1,70$.

Більш високі значення норм абсолютних річних мінімумів стоку води серед річок України спостерігається на річках Карпатського регіону, що відповідає відповідно до гідрографічного районування України суббасейнам Тиси, Пруту і Сирету та правобережжю Дністра. На цих територіях вони змінюються від $8,7 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ на невеликих за площею гірських річках до $0,9 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ на передгірних річках з більшими водозбірними площами. Міжрічна зміна абсолютних річних мінімумів стоку води тут відрізняється меншим діапазоном мінливості – коефіцієнти варіації в межах $0,20 \div 0,90$.

Коефіцієнти асиметрії річних мінімумів стоку води річок для всієї території України мають діапазони від від'ємних $-0,11 \div -2,01$ до додатних значень $-1,30 \div 6,4$.

Аналіз узагальнених різницеви́х інтегральних кривих часових рядів абсолютних річних мінімумів стоку води

для всієї сукупності річок у межах басейнів та суббасейнів гідрографічного районування України показав, що в їх структурі присутні періодичності, які являють собою послідовну зміну в часі досліджуваної стокової характеристики з відносно великими та малими їх значеннями. З 1947 р. (початок масових спостережень) фіксується зменшення величин абсолютних річних мінімумів стоку води на річках України в період 1968–1974 рр., далі за хронологією – збільшення їх величин у період 2006–2010 р. У сучасний період спостерігається спадна тенденція. Але виділити повний цикл з повними фазами зменшення та збільшення абсолютних річних мінімумів стоку води для всієї сукупності річок з прив'язкою до конкретних календарних років не має можливості, що зумовлено недостатньою довжиною рядів гідрологічних спостережень на річках.

Перспектива подальшого дослідження полягає в оцінці просторового розподілу абсолютних річних мінімумів стоку води річок у цілому для всієї території України з виділенням його регіональних та сезонних особливостей, у дослідженні умов формування мінімального стоку води річок у сучасний період глобальних та регіональних кліматичних змін та з розвитком антропогенної діяльності на водних об'єктах.

Список використаних джерел

- Айзенберг, М.М., Каганер, М.С. (Ред.) (1966). Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 4. Крым. Ленинград: Гидрометеиздат.
- Божок, Ю. В. (2015). Річний та меженний стік річок Північно-Західного Причорномор'я в умовах змін клімату. Автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.07. Одеса.
- Вишневський, В.І. (2000). Річки і водойми України. Стан і використання. Київ: Віпол.
- Вишневський, В.І., Косовець, О.О. (2003). Гідрологічні характеристики річок України. Київ: Ніка-центр.
- Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС (2006). *Основні терміни та їх визначення: вид. офіційне*. Київ: Твій формат.
- Гребін, В.В. (2010). Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-центр.
- Гребін, В.В., Мокін, В.Б., Сташук, В.А., Хільчевський, В.К., Яцюк, М.В., Чунарьов, О.В., Крижановський, Є.М., Бабчук, В.С., Ярошевич, О.Є. (2013). Методики гідрографічного та водогосподарського районування

території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу. Київ: Інтерпрес ЛТД.

Жовнір, В.В., Гребін, В.В. (2018). Аналітичний огляд досліджень мінімального стоку води. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 1 (48), 16-24.

Каганер, М.С. (Ред.) (1967). Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 3. Бассейн Северского Донца и реки Приазовья. Ленинград: Гидрометеиздат.

Каганер, М.С. (Ред.) (1969). Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия. Ленинград: Гидрометеиздат.

Каганер, М.С. (Ред.) (1971) Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 2. Среднее и нижнее Поднепровье. Ленинград: Гидрометеиздат.

Кочерин, Д.И. (1929). Низкие и наименьшие расходы воды на территории Европейской части СССР. *Труды Московского института инженеров транспорта*, XI.

Лобода, Н.С. (2004). Расчеты минимального стока зимней межени Верхнего Днестра на основе метода множественной регрессии. *Метеорология, климатология та гідрологія*, 48, 468-472.

Лобода, Н.С. (2011). Оцінка характеристик посушливості Закарпаття в сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2(23), 49-56.

Лысенко, К. А. (1965). Минимальный сток рек Украины и Молдавии. *Тр. УкрНИГМИ*, 64, 143-154.

Лысенко, К. А. (1965). Подземный сток Украины. *Тр. Укр. НИГМИ*, 50, 75 -108.

Лысенко, К. А. (1976). Минимальный сток рек малых рек Карпат и его расчеты. *Тр. Укр. НИГМИ*, 149, 130-141.

Ободовський, О.Г., Почаєвцев, О.О., Заварзін, М.А. (2016). Оцінка зв'язків мінімального та середнього стоку води річок Українських Карпат. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2(49), 6-15.

Ободовський, О.Г., Сурай, К.С., Почаєвцев, О.О. (2018). Оцінка мінімального стоку води річок суббасейну Ужа (басейн річки Тиса). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2(49), 6-15.

Рождественский, А.В., Чеботарев, А.И. (1974). Статистические методы в гидрологии. Ленинград: Гидрометеиздат.

Сибирцева, Л.А. (1937). Минимальный сток и его распределение на Европейской части СССР. *Исследования рек СССР*, 10.

Сикан, А.В. (2007). Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Санкт-Петербург: изд. РГГМУ.

Соловей, Т.В. (2003). Характеристика минимального стоку річок басейну Прута. *Тези доп. II Всеукр. наук. конф. "Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія"*. Київ: Ніка-Центр, 76-77.

Хильчевський, В.К. (Ред.) (2007). Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну. Київ: Ніка-Центр.

Хильчевський, В.К., Гребін, В.В. (2017). Гідрографічне та водогосподарське районування території України, затверджене у 2016 р. – реалізація положень ВРД ЄС. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 1(41), 8-20.

Чіппінг, Г.О., Лисенко, К.А. (1959). Річний та мінімальний стік на території України. Київ: Вид-во АН УРСР.

Чорноморець, Ю.О. (2002). Характеристика меженного стоку річок Закарпаття. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 4, 115-119.

References

Ajzenberga, M.M., Kaganer, M.S. (Eds.). (1966). Resursy poverhnostnykh vod SSSR. T.6. Ukraina i Moldavija. Vyp. 4. Krym. Leningrad: Gidrometeizdat. [in Russian]

Bozhok, Yu. V. (2015). Rіchnyi ta mezhenniy stіk rіchok Pivnichno-Zakhidnoho Prychomoria v umovakh zmin klimatu. Avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk: 11.00.07. Odesa. [in Ukrainian]

Chippin, H.O., Lysenko, K.A. (1959). Rіchniy ta minimalniy stіk na terytorii Ukrainy. Kyiv: Vyd-vo AN URSR. [in Ukrainian]

Chomomoret, Yu.O. (2002). Kharakterystyka mezhennogo stoku rіchok Zakarpattia. *Hidrologiia, hidrokhimiia i hidro ekologiia*, 4, 115-119. [in Ukrainian]

Hrebin, V.V. (2010). Suchasnyi vodnyi rezhym rіchok Ukrainy (landshaftno-hidrolohiichnyi analiz). Kyiv: Nika-Tsentr. [in Ukrainian]

Hrebin, V.V., Mokin, V.B., Stashuk, V.A., Khilchevskiy, V.K., Yatsiuk, M.V., Chunarov, O.V., Kryzhanovskiy, Ye.M., Babchuk, V.S., Yaroshevych, O.Ye. (2013). Metodyky hidrografichnoho ta vodohospodarskoho raionuvannia terytorii Ukrainy vidpovidno do vymoh Vodnoi Ramkovoї Dyrektyvy Yevropeiskoho Soiuzu. Kyiv: Interpres LTD. [in Ukrainian]

Kaganer, M.S. (Eds.). (1967). Resursy poverhnostnykh vod SSSR. T.6. Ukraina i Moldavija. Vyp. 3. Basejn Severskogo Donca i reki Priazov'ja. Leningrad: Gidrometeizdat. [in Russian]

Kaganer, M.S. (Eds.). (1969). Resursy poverhnostnykh vod SSSR. T.6. Ukraina i Moldavija. Vyp. 1. Zapadnaja Ukraina i Moldavija. Leningrad: Gidrometeizdat. [in Russian]

Kaganer, M.S. (Eds.). (1971). Resursy poverhnostnykh vod SSSR. T.6. Ukraina i Moldavija. Vyp. 2. Srednee i nizhnee Podneprov'e. Leningrad: Gidrometeizdat. [in Russian]

Khilchevskiy, V.K. (Eds.). (2007). Hidroloho-hidrokhimichna kharakterystyka minimalnogo stoku rіchok baseinu Dnipro. Kyiv: Nika-Tsentr. [in Ukrainian]

Khilchevskiy, V.K., Hrebin, V.V. (2017). Hidrografichne ta vodohospodarske raionuvannia terytorii Ukrainy, zatverdzhene u 2016 r. – realizatsiia polozhen VRD YeS. *Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologiia*, 1(41), 8-20. [in Ukrainian]

Kocherin, D.I. (1929). Nizkie i naimen'shie rashody vody na territorii Evropejskoj chasti SSSR. *Trudy Moskovskogo instituta inzhenerov transporta*, XI. [in Russian]

Loboda, N.S. (2004). Raschety minimal'nogo stoka zimnej mezheni Verhnego Dnestra na osnove metoda mnozhestvennoj regressii. *Meteorologiya, klimatologiya ta hidrologiia*, 48, 468-472. [in Russian]

Loboda, N.S. (2011). Otsinka kharakterystyk posushlyvosti Zakarpattia v suchasnykh ta maibutnikh umovakh (za stsennariem hlobalnogo poteplinnia). *Hidrologiia, hidrokhimiia, hidroekologiia*, 2(23), 49-56. [in Ukrainian]

Lysenko, K. A. (1965). Minimal'nyj stok rek Ukrainy i Moldavii. *Tr. UkrNIGMI*, 64, 143-154. [in Russian]

Lysenko, K. A. (1965). Podzemnyj stok Ukrainy. *Tr. Ukr. NIGMI*, 50, 75 - 108. [in Russian]

Lysenko, K. A. (1976). Minimal'nyj stok rek malyh rek Karpat i ego raschety. *Tr. Ukr. NIGMI*, 149, 130-141. [in Russian]

Obodovskiy, O.H., Pochaievets, O.O., Zavarzin, M.A. (2016). Otsinka zv'iazkiv minimalnogo ta srednogo stoku vody rіchok Ukrainських Karpat. *Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologiia*, 1(40), 60–69. [in Ukrainian]

Obodovskiy, O.H., Surai, K.S., Pochaievets, O.O. (2018). Otsinka minimalnogo stoku vody rіchok subbaseinu Uzha (basein rіchky Tysa). *Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologiia*, 2(49), 6–15. [in Ukrainian]

Rozhdestvenskij, A.V., Chebotarev, A.I. (1974). Statisticheskie metody v gidrologii. Leningrad: Gidrometeizdat. [in Russian]

Sibirceva, L.A. (1937). Minimal'nyj stok i ego raspredelenie na Evropejskoj chasti SSSR. *Issledovaniya rek SSSR*, 10. [in Russian]

Sikan, A.V. (2007). Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informacii. Sankt-Peterburg: izd. RGGMU. [in Russian]

Solovei, T.V. (2003). Kharakterystyka minimalnogo stoku rіchok baseinu Pruta. *Tezy dop. II Vseukr. nauk. konf. "Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologiia"*. Kyiv: Nika-Tsentr, 76-77. [in Ukrainian]

Vodna Ramkova Dyrektyva YeS 2000/60/leS. (2006). Osnovni terminy ta yikh vyznachennia: vyd. ofitsiine. Kyiv: Tvii format. [in Ukrainian]

Vyshnevskiy, V.I. (2000). Rіchky i vodoimy Ukrainy. Stan i vykorystannia. Kyiv: Vipol. [in Ukrainian]

Vyshnevskiy, V.I., Kosovets, O.O. (2003). Hidrolohiichni kharakterystyky rіchok Ukrainy. Kyiv: Nika-tsentr. [in Ukrainian]

Zhovnir, V.V., Hrebin, V.V. (2018). Analitichnyi ohliad doslidzhen minimalnogo stoku vody. *Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologiia*, 1 (48), 16-24. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 14.05.19

O. Obodovskiy, Dr. Sci. (Geogr.), Prof.

E-mail: obodovskiy58@gmail.com;

O. Lukianets, PhD (Geogr.), Assoc. Prof.

E-mail: luko@ukr.net;

O. Pochievets, PhD student, Leading Engineer

E-mail: po4aevets@gmail.com;

S. Moskalenko, PhD (Geogr.), Assistant

E-mail: stas_univer@ukr.net;

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Department of Geography,

2A Glushkov Ave., Kyiv, 02000, Ukraine

LONG-TERM VARIABILITY OF THE ABSOLUTE ANNUAL MINIMUM WATER FLOW OF THE RIVERS OF UKRAINE

Studies of the variability of the minimum flow of water, which relates to the extreme regime characteristics of river water flow during periods of low water, are relevant. Such information, in general, is the limiting criteria for water consumption, water use and protection of water resources from pollution and depletion, and sometimes are indicators of danger and catastrophe, in particular, during periods of prolonged droughts. This is especially important in the conditions of modern climate change, in which the probability of occurrence of extreme hydrological phenomena increases significantly. To assess the long-term variability of the absolute annual minima of the flow of water from the rivers of Ukraine, sequences of minimum daily average water flows for a multi-year period from 294 gauging stations from the beginning of the observations to 2015 inclusive were formed. The methods of statistical processing of random variables (for determining the norms of runoff, coefficients of variation and asymmetry) and random functions (for constructing integral difference curves) were used. The study of the spatial specifics of changes in the absolute minima of the water flow of the rivers of Ukraine is based on the "Hydrographic zoning of Ukraine's territory". According to it, the territory of Ukraine is divided into

hydrographic units — nine areas of river basins and nine sub-basins. The absolute annual minima of river runoff on the territory of Ukraine are recorded during periods of summer-autumn or winter low-water periods.

High values of absolute annual minima in the modules of water flow are observed on the rivers of the Carpathian region and reach $8,7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Basically, such values are on mountain rivers with small catchment areas; on rivers with large catchment areas that extend from the mountain and foothill areas of their flow to the plains, up to $0,9 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$; on the rivers of the Crimea, the absolute annual minimums in the water flow modules, in the vast majority, vary from 0,0 to $1,8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Regarding flat river basins, for the rivers of the Vistula basin, the sub-basins of the Pripyat and the Desna, the left-bank part of the Dniester river basin, the range of changes in the absolute annual minima of the water flow modules is $0,20 \div 2,9 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. To the south of the indicated flat river basins, the ranges of absolute annual minima are gradually decreasing. On the rivers of the sub-basin of the Middle Dnieper there is $0,19 \div 1,19 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, the sub-basin of the Lower Dnieper — $0,04 \div 0,42 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, the basin of the Southern Bug — $0,09 \div 1,75 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. And in the basin of the rivers of the Black Sea region there is $0,0 \div 0,001 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

For river basins of the flat part of Ukraine, the variation of annual minima is within $0,30 \div 2,83$, the smaller one is the range of variability for the rivers of the Carpathian region — $0,20 \div 0,90$. The asymmetry coefficients of the minimum river flow during the year for the whole territory of Ukraine range from negative $-0,11 \div -2,01$ to positive values $1,30 \div 6,4$.

The long-term variability of the absolute annual minima of the water flow of the rivers of Ukraine has been studied. Analysis of generalized difference integral curves for the entire set of rivers within the basins and sub-basins of the hydrographic zoning of Ukraine showed for the period of joint observations from 1947 to 2015 marked cyclic component. It manifests itself in a long period of decreasing absolute annual minimum values until 1968-1974, then there is an increase, and at the present time period, after 2006-2010, there is a tendency to decrease.

Keywords: rivers of Ukraine, hydrographic zoning of Ukraine, low flow, minimum flow of water, absolute annual minima, statistical distribution parameters, difference integral curves, variability of the minimum flow of water.

А. Ободовский, д-р геогр. наук, проф.

E-mail: obodovskiy58@gmail.com;

О. Лукьянец, канд. геогр. наук, доц.

E-mail: luko@ukr.net;

Е. Почаевец, вед. инж.

E-mail: po4aevets@gmail.com;

С. Москаленко, канд. геогр. наук, ассист.

E-mail: stas_univer@ukr.net;

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, географический факультет,

Пр. Академика Глушкова, 2, Киев, 02000, Украина

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБСОЛЮТНЫХ ГОДОВЫХ МИНИМУМОВ СТОКА ВОДЫ РЕК УКРАИНЫ

Исследования изменчивости минимального стока воды, который относится к экстремальным режимным характеристикам водности рек в периоды межени, не теряют своей актуальности, потому что такая информация, в общем случае, — лимитирующие критерии водопотребления, водопользования и охраны водных ресурсов от загрязнения и истощения, а иногда — это показатели опасности и катастрофичности, в частности в периоды длительных засух. Особенно такие исследования важны в условиях современных климатических изменений, когда существенно повышается вероятность наступления экстремальных гидрологических явлений. Для оценки многолетней изменчивости абсолютных годовых минимумов стока воды рек Украины сформированы выборки минимальных среднесуточных расходов воды за многолетний период по 294 гидрометрическим постам от начала наблюдений до 2015 г. включительно, использованы методы статистической обработки случайных величин (для определения норм стока, коэффициентов вариации и асимметрии) и случайных функций (для построения интегральных разностных кривых). В основу исследования пространственных закономерностей изменений абсолютных минимумов стока воды рек Украины взята "Схема Гидрографического районирования территории Украины", где территория страны делится на гидрографические единицы — девять районов речных бассейнов и девять суббассейнов. Абсолютные годовые минимумы стока воды рек на территории Украины фиксируются в периоды летне-осенней или зимней межени.

Высокие значения норм минимальных за год модулей стока воды наблюдаются на реках Карпатского региона и изменяются от $8,7 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ на горных реках с небольшими площадями водосборов до $0,9 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$ на реках с большими водосборами, которые выходят с горных и предгорных участков протекания на равнинные. На реках Крыма абсолютные годовые минимумы модулей стока воды в подавляющем большинстве меняются от 0,0 до $1,8 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$.

Относительно равнинных речных бассейнов — для рек бассейна Вислы, суббассейнов Припяти и Десны, левобережной части речного бассейна Днестра диапазон норм минимальных за год модулей стока воды составляет $0,20 \div 2,9 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$. Южнее указанных равнинных речных бассейнов диапазоны постепенно уменьшаются и составляют: на реках суббассейна Среднего Днепра — $0,19 \div 1,19 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, суббассейна Нижнего Днепра — $0,04 \div 0,42 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, бассейна Южного Буга — $0,09 \div 1,75 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, а в бассейне рек Причерноморья — $0,0 \div 0,001 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$.

Для речных бассейнов равнинной части Украины вариация годовых минимумов находятся в пределах $0,30 \div 2,83$, меньшим есть диапазон изменчивости для рек Карпатского региона — $0,20 \div 0,90$. Коэффициенты асимметрии минимального за год стока воды рек для всей территории Украины имеют диапазоны от отрицательных $-0,11 \div -2,01$ до положительных значений $1,30 \div 6,4$.

Что касается многолетней изменчивости абсолютных годовых минимумов стока воды рек Украины, то анализ обобщенных разностных интегральных кривых для всей совокупности рек в пределах бассейнов и суббассейнов гидрографического районирования Украины показал, что за период совместных наблюдений с 1947 по 2015 г. циклические составляющие проявляются в длительном периоде уменьшения их величин до 1968–1974 гг., затем наблюдается их увеличение, а на современном отрезке времени после 2006–2010 гг. заметна тенденция к уменьшению изменчивости минимального стока воды.

Ключевые слова: реки Украины, гидрографическое районирование Украины, межень, минимальный сток воды, абсолютные годовые минимумы, статистические параметры распределения, разностные интегральные кривые.