

Сокольчук К.І.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ОЦІНКА РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТІ РЯДІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ВИБІРКОВИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗПОДІЛУ СЕРЕДЬОГО РІЧНОГО СТОКУ ВОДИ РІЧОК НА ПРАВОБЕРЕЖНІЙ ЧАСТИНІ БАСЕЙНУ ПРИП'ЯТІ

Ключові слова: *Правобережжя Прип'яті, річки, середній річний стік, ряди спостережень, параметри розподілу, репрезентативність, достовірність, цикли водності.*

Вступ. Дані інструментальних вимірювань на мережі гідрологічних спостережень є основою гідрологічних розрахунків та прогнозів. Просторова репрезентативність даних залежить від щільності гідрологічної мережі, яка обумовлює гідрологічну вивченість території, точність визначення водних ресурсів. Від часової репрезентативності залежать можливості комплексного дослідження басейнів, визначення основних закономірностей формування стоку води та подальше використання цих результатів з науковими та практичними цілями. В практиці гідрологічних розрахунків та прогнозів в якості моделі для опису гідрометеорологічних явищ часто використовуються випадкові величини, функції розподілу яких залежать від невеликого числа параметрів, зазвичай, від математичного сподівання ряду випадкових величин, його варіації та асиметрії. Оцінка достовірності та незміщеності цих параметрів розподілу має велике значення для впевнених та правильних прикладних висновків при проведенні водогосподарських, гідроенергетичних розрахунків, при складанні гідрологічних прогнозів, при оцінці економічної ефективності водогосподарських проектів та ін.

Об'єкт дослідження – річки правобережної частини басейну р. Прип'ять, який займає практично всю північно-західну частину України і нараховує загалом близько 6 тисяч річок. Понад 70% річок мають довжину понад 25 км, і понад 1/7 – річки з довжиною до 100 км. Басейн знаходиться в межах двох фізико-географічних зон, є одним з найбільш заболочених та залісених в Україні. **Предмет** – середні річні витрати води, які вимірюються на гідрологічних постах в межах досліджуваного басейну.

Метою роботи є оцінка просторової та часової репрезентативності рядів спостережень за середнім річним стоком води річок правобережжя Прип'яті, достовірності та незміщеності його параметрів розподілу. Дослідження включало ретроспективний аналіз та оцінку сучасного стану мережі гідрологічних спостережень в межах правобережжя Прип'яті, її щільності, розподілу за площам басейнів, а також порівняння точності визначення норм стоку води річок різної водності та перевірку статистичних гіпотез однорідності часових послідовностей середніх річних витрат води в межах досліджуваної території, визначення статистичних параметрів розподілу стоку та їх аналітичне уточнення.

Вихідні дані і методи досліджень. При оцінці репрезентативності рядів спостережень та вибірових параметрів розподілу середнього річного стоку води річок на правобережній частині басейну Прип'яті використовували дані багаторічних спостережень Державної гідрометеорологічної служби ДСНС України за середніми витратами води річок з 28 гідрологічних постів за весь період спостережень – від їх початку до 2015 р. включно, а також інформацію по гідрологічній вивченості регіону, картографічні матеріали. Для проведення цього дослідження використовувалися

методи математичної статистики, теорії ймовірностей аналізу часових послідовностей гідрологічних величин, кореляційно-регресивний аналіз зв'язків між змінними, а також гідролого-географічні узагальнення.

Результати досліджень та їх обговорення. Історія мережі спостережень на річках досліджуваного басейну бере свій початок ще з кінця XIX сторіччя, і впродовж тривалого часу до сьогодні зазнала значних змін. У 1930-му році на території верхнього Придніпров'я діяла мережа з 71 поста спостережень за стоком води, у 1940-му році - з 87 постів. Це була найбільш щільна мережа за історію спостережень, однак кількість гідрологічних постів почала швидко зменшуватись і у 1988 р. було здійснено останнє значне (на 23,8% для досліджуваного басейну) скорочення мережі спостережень (табл.1). Станом на 1990-й рік діяло 32 гідрологічних пости. Оптимізація мережі спостережень продовжилась, і кількість постів поступово зменшувалась.

Таблиця 1. Динаміка зміни чисельності гідрологічних постів на території верхнього Придніпров'я

Рік	Кількість гідрологічних постів	Рік	Кількість гідрологічних постів
1900	4	1960	48
1910	4	1970	41
1920	7	1980	42
1930	71	1990	32
1940	87	2000	30
1950	65	2010	28

Площа басейну Прип'яті (в межах України) складає 65150 км² [3], при цьому станом на 2015 рік діяла мережа спостережень з 28-ми гідрологічних постів. Тобто, її щільність для української частини басейну Прип'яті складає 1 пост на 2327 км². Оптимальна щільність для рівнинної території (за ВМО) - 1 пост на 1875 км², тобто щільність мережі спостережень досліджуваної території є недостатньою. Згідно з даною нормою ВМО, оптимальна кількість гідрологічних постів для правобережної частини басейну Прип'яті має складати 35 постів проти теперішніх 28-ми. Більше того, ця цифра відображає лише формальну сторону запитання, не враховуючи нерівномірність розміщення гідрологічних постів та те, що при зміні фізико-географічних умов чи антропогенного навантаження на річки та їх басейни дані з певних постів перестають бути репрезентативними.

Гідрологічні пости за площею водозбору, яку охоплюють, розміщені нерівномірно. На водозбори з площею понад 10000 км² припадає 2 гідрологічних поста, а найбільш освітленими є водозбори площею від 500 до 5000 км², це 16 постів з 28-и (понад 57%) (табл. 2).

Таблиця 2. Розподіл гідрологічних постів за площами водозбору в замикальних створах спостережень

Кількість постів в замикальних створах	Площа водозбору, км ²				
	<500	500-1000	1000-5000	5000-10000	>10000
у абсолютних величинах	5	8	8	5	2
у %	17	29	28	17	7

Розподіл рядів за тривалістю безперервних спостережень на гідрологічних постах представлено на рис. 1. Середня їх тривалість (включаючи відновлені дані) на річках правобережної частини басейну Прип'яті складає 64 роки. З 28 гідрологічних постів, на яких ведуть спостереження за витратами води, 53% (15

постів) мають довжину безперервного ряду спостережень понад 70 років, 39% (11 постів) – від 50 до 70-ти років, і 7% – до 40 років.

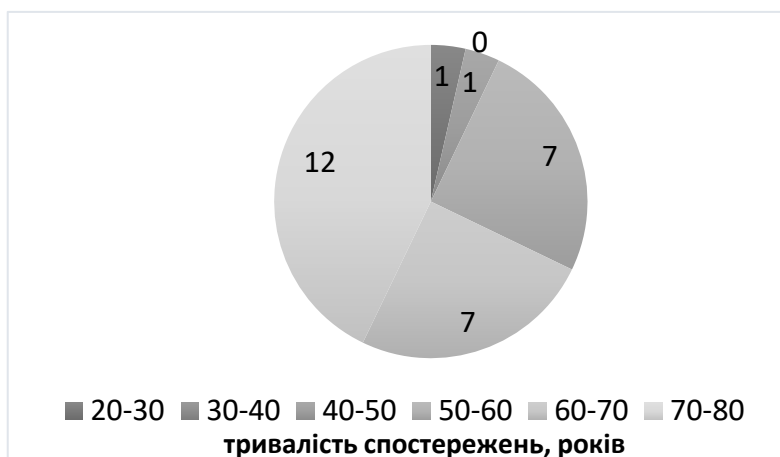


Рис.1 Розподіл гідрологічних постів за довжиною безперервного ряду спостережень на річках правобережжя Прип'яті

Для згладжування та екстраполяції емпіричного розподілу випадкових величин в практиці гідрологічних розрахунків використовуються аналітичні криві забезпеченості (ймовірностей перевищення), які по відношенню до емпіричного розподілу виконують роль своєрідного гідрологічного лекала. Для отримання аналітичних кривих розподілу випадкових величин необхідно, в основному, оцінити три основних параметра – норму \bar{Q} (математичне сподівання), коефіцієнти варіації C_v та асиметрії C_s . Коефіцієнти варіації C_v і асиметрії C_s є статистичними параметрами міри мінливості та ступеня симетричності розсіювання досліджуваної стокової характеристики за багаторічний період [1, 2]. Мінливість стоку враховується при створенні мережі спостережень та від неї ж залежить і мінімальна тривалість спостережень, необхідна для уникнення значних похибок.

При цьому бажано, щоб їх оцінка відповідала вимогам достовірності та незміщеності. Використовують декілька методів розрахунку оцінок параметрів розподілу - аналітичні, графоаналітичні, графічні. До числа аналітичних методів відносяться метод моментів та метод найбільшої правдоподібності, які й були використані для виконання поставленої мети. Метод моментів ґрунтується на використанні моментів емпіричного розподілу – першого початкового, другого та третього центрального, тобто параметри \bar{Q}, C_v, C_s визначаються за вихідними даними. В методі найбільшої правдоподібності найбільша вага надається середнім членам вибірки, що мають найбільшу ймовірність, на відміну від метода моментів, де найбільший внесок дають крайні члени ряду. У методі найбільшої правдоподібності розрахункові значення C_v та C_s визначаються у залежності від статистик λ_2 та λ_3 за допомогою номограм [4, 5].

Для порівняння точності визначення норми річного стоку води річок різної водності використовується відносне значення середньої квадратичної похибки σ_n , виражене у відсотках (1):

$$\sigma_n = \pm 100 \cdot \frac{C_v}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

де C_v коефіцієнт варіації, n - тривалість безперервних спостережень.

Коефіцієнти варіації середнього річного стоку води для річок басейну правобережжя Прип'яті за спостереженими даними знаходяться в межах $C_v = 0,23 \div 0,65$. Середнє значення складає $C_v = 0,43$, що показує невелику

мінливість з року в рік середніх річних витрат води на досліджуваних річках, в межах приблизно $\pm 40\%$ від норми водного стоку. Коефіцієнти асиметрії за спостереженими даними знаходяться в межах $C_s = -0,08 \div 2,53$, що свідчить про переваження в рядах середнього річного стоку води для річок басейну правобережжя Прип'яті значень менше норми.

Ряд спостережень за середньорічним стоком вважається репрезентативним для визначення норми стоку, якщо величина відносної середньої квадратичної похибки σ_n (1) не перевищує 5-10% [4]. На 16 постах на річках правобережної частини басейну Прип'яті похибка розрахунку норми стоку води σ_n знаходиться в межах від 5 до 10%, на інших 12 постах - не перевищує 5%. Найбільші відносні похибки визначення норми у рядах спостережень постів на р. Прип'ять-Річиця та р. Норин-Славенщина (8,8 та 7,9% відповідно), для яких характерні найбільші коефіцієнти варіації стоку.

Важливим етапом аналізу часової репрезентативності рядів спостережень є перевірка статистичних гіпотез однорідності часових послідовностей. Це найбільш важливе в практичному відношенні питання.

Кількісну оцінку однорідності рядів середньорічних витрат води на річках правобережної частини басейну Прип'яті було виконано за стандартними параметричними критеріями: Ст'юдента – для перевірки значущості середніх значень (статистика t), і Фішера- для перевірки відношення дисперсій (статистика F). За результатами перевірки за обома критеріями при рівні значимості $2\alpha=5\%$ не спростовуються гіпотези однорідності лише для 17 гідрологічних постів. Для 6 рядів спостережень гіпотеза однорідності спростовується за статистикою F, для 4 - за статистикою t, і для посту на р. Норин - с. Славенщина гіпотеза про однорідність спростовується за обома критеріями.

В зв'язку з таким результатом перевірки на однорідність при рівні значимості $2\alpha=5\%$ була проведена також оцінка однорідності за статистиками t і F й при рівні значимості $2\alpha=1\%$. Для 26 рядів спостережень гіпотеза про однорідність при $2\alpha=1\%$ підтвердилася, а для двох, а саме для рядів середньорічних витрат на постах р. Прип'ять- Річиця та р. Норин-Славенщина, гіпотеза про однорідність була спростована за статистикою F. В обох випадках це викликано наявністю в спостережений період декількох паводків, що відбувались в першій (р. Прип'ять) або другій (р. Норин) половині ряду спостережень.

Щодо часової мінливості водності річок, то порушення умов стаціонарності рядів середнього річного стоку води може проявлятися в утворенні в їх хронологічному перебігу більш високих і більш низьких значень. Найбільш поширеним способом для виявлення таких тенденцій полягає у графічному аналізі різницевого інтегральних кривих, які побудовано для середніх річних витрат води річок досліджуваного басейну. Ординати різницевого інтегральних кривих було узагальнено для західної та східної частин правобережжя Прип'яті і представлено у вигляді стандартної нормованої величини (рис. 2). За отриманими часовими функціями визначено, що за період спостережень внутрішні циклічні коливання водності річок двох частин досліджуваної території мають ідентичну структуру, вони циклічні, можна виділити два повних цикли водності тривалістю у середньому приблизно 30 років.

Узагальнена норма стоку для басейну Прип'яті складає $11,59 \text{ м}^3/\text{с}$, і, відповідно до неї, розподіл на два цикли та їх визначені межі є вірними. Узагальнена середня річна норма стоку для першого циклу (1943-1982рр.) складає $11,76 \text{ м}^3/\text{с}$, для другого (1983-2012 рр.)- $11,52 \text{ м}^3/\text{с}$, тобто відхилення складають 1,5 та 0,5% відповідно, що свідчить про достатню точність.



Рис.2. Різницеви інтегральні криві середніх річних витрат води західної та східної частин правобережжя Прип'яті

Для оцінки вибірових параметрів розподілу (C_v та C_s) середнього річного стоку води річок правобережжя басейну Прип'яті використано результати їх визначення за методами моментів та найбільшої правдоподібності і побудовано лінійні кореляційні залежності між відповідними параметрами (рис. 3).

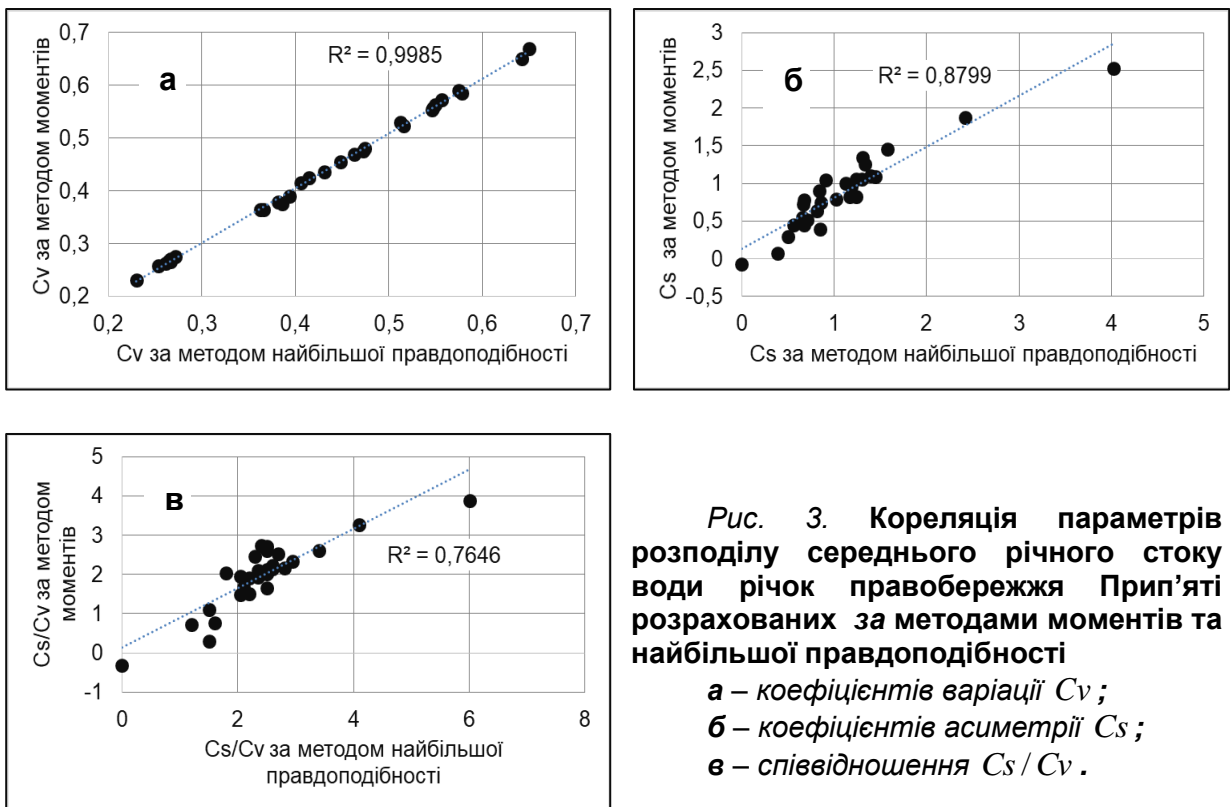


Рис. 3. Кореляція параметрів розподілу середнього річного стоку води річок правобережжя Прип'яті розрахованих за методами моментів та найбільшої правдоподібності
а – коефіцієнтів варіації C_v ;
б – коефіцієнтів асиметрії C_s ;
в – співвідношення C_s / C_v .

Між коефіцієнтами варіації C_v , розрахованими за двома методами, існує дуже тісний зв'язок ($R^2=0,9985$) та лінія регресії проходить по лінії рівних значень (див. рис. 3а), що свідчить про високу достовірність та незміщеність в оцінці цього параметра за емпіричними даними. Коефіцієнти асиметрії C_s , загалом, демонструють зміщення в їх оцінках за двома аналітичними методами – більший ступінь асиметрії стоку річок за методом найбільшої правдоподібності, ніж той, що розрахований за методом моментів (див. рис. 3б). Так, середній коефіцієнт

асиметрії для правобережжя Прип'яті за спостереженими даними складає $C_s = 0,88$ проти $C_s = 1,10$, визначеного за методом найбільшої правдоподібності. Узагальнене співвідношення за методом моментів $C_s / C_v = 1,78$, що свідчить про помірно-асиметричний розподіл у послідовностях середніх річних витрат води досліджуваних річок (див. *рис. 3в*). При цьому розраховане значення співвідношення за методом найбільшої правдоподібності буде мати вище значення, $C_s / C_v = 2,19$, ніж за методом моментів.

Висновки. Оцінка просторової та часової репрезентативності рядів спостережень середнього річного стоку води на правобережній частині басейну Прип'яті показала, що щільність гідрологічних спостережень в досліджуваному басейні недостатня, гідрологічні пости за площею водозбору розміщені нерівномірно, хоча самі ряди спостережень за середньорічним стоком (середня тривалість часових послідовностей складає 64 роки) за аналізом величин відносної середньої квадратичної похибки та перевіркою їх на однорідність можна вважати репрезентативними для визначення норм стоку води, тобто достатньо достовірними для практичних розрахунків. Параметри розподілу середнього річного стоку води річок правобережжя Прип'яті, особливо коефіцієнти варіації, також є достовірними та не зміщеними по відношенню до аналітично розрахованих значень. Аналітично розрахований коефіцієнт варіації перевищує фактичне значення лише на 1,5%. Аналітично розрахована асиметричність ряду є вищою за фактичне значення, 1,1 проти 0,88, тобто існує потенціал до зростання асиметричності в розподілі середньорічних норм стоку на 25,4%, а показника співвідношення C_s / C_v на 23%. Однак, враховуючи природу показника асиметричності, можна сказати, що наявна різниця не вказує на недостовірність даних, і з продовженням спостережень різниця нівелюється.

Список літератури

1. *Горошков И.Ф.* Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 42-157.
2. Гидрологические и водно-балансовые расчеты / Под ред Н.Г. Галущенко. К.: Вища школа., 1987. С.56-84.
3. Звіт про науково-дослідну роботу «Гідроекологічна оцінка енергетичного потенціалу річок басейну Дніпра (в межах України) в умовах змін клімату» № ДР 0116U004827, 2017. С. 49-60.
4. Методичні вказівки до виконання практичних робіт із дисципліни «Математичні методи в гідрометеорології» для студентів географічного факультету / упоряд. О. І. Лук'янець. К. : ВПЦ «Київський університет», 2010. 60 с.
5. *Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. С.21-348.

References

1. *Goroshkov I.F.* Hidrologicheskie raschety. L.:Gidrometeoizdat, 1979. S. 42-157.
2. Hidrologicheskie i vodno-balansovye raschety/ Pod red N.G. Galushhenko. K.: Vishha shkola., 1987. S. 56-84.
3. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Hidroekolohichna otsinka enerhetychnoho potentsialu richok basejnu Dnipro (v mezhakh Ukrainy) v umovakh zmin klimatu» № DR 0116U004827, 2017. S. 49-60.
4. Methodychni vkazivky do vykonannia praktychnykh robit iz dystsypliny «Matematychni metody v hidrometeorolohii» dlia studentiv heohrafichnoho fakul'tetu / uporiad. O. I. Luk'ianets'. K. : VPTs «Kyivs'kyj universytet», 2010. 60 s.
5. *Rozhdestvenskij A. V., Chebotarev A. I.* Statisticheskie metody v gidrologii. L.:Gidrometeoizdat, 1974. S.21-348.

Оцінка репрезентативності рядів спостережень та вибіркового параметрів розподілу середнього річного стоку води річок на правобережній частині басейну Прип'яті

Сокольчук К.І.

Об'єктом дослідження виступає правобережна частина басейну річки Прип'ять в межах України, предметом - річкова мережа та параметри стоку річок. В процесі дослідження була проведена оцінка просторової та часової репрезентативності рядів спостережень за середнім річним стоком води річок правобережжя Прип'яті, оцінка достовірності та незміщеності його параметрів розподілу. Дослідження включало ретроспективний аналіз та оцінку сучасного стану

мережі гідрологічних спостережень в межах правобережжя Прип'яті, її щільності, розподілу за площам басейнів. Проводилось порівняння точності визначення норм стоку води річок різної водності та перевірка статистичних гіпотез однорідності часових послідовностей середніх річних витрат води в межах досліджуваної території, визначення статистичних параметрів розподілу стоку та їх аналітичне уточнення.

Ключові слова: Правобережжя Прип'яті, річки, середній річний стік, ряди спостережень, параметри розподілу, репрезентативність, достовірність, цикли водності.

Оценка репрезентативности рядов наблюдений и выборочных параметров распределения среднего годового стока воды рек на правобережной части бассейна Припяти **Сокольчук К.И.**

Объектом исследования является правобережная часть бассейна реки Припять в границах Украины, предметом - речная сеть и параметры стока рек. В процессе исследования была проведена оценка пространственной и временной репрезентативности рядов наблюдений за средним годовым стоком воды рек правобережной части бассейна Припяти, оценка достоверности и несмещенности его параметров распределения. Исследование включало ретроспективный анализ и оценку современного состояния сети гидрологических наблюдений на территории правобережья Припяти, ее плотность, распределение по площадям бассейнов. Было проведено сравнение точности расчета норм стока воды рек разной водности и проверку статистических гипотез однородности временных последовательностей средних годовых расходов воды в пределах исследованной территории, нахождение статистических параметров распределения стока и их аналитическое уточнение.

Ключевые слова: Правобережье Припяти, реки, средний годовой сток, ряды наблюдений, параметры распределения, репрезентативность, достоверность, циклы водности.

Evaluation of the representativeness of the series of observations and sampling parameters of the distribution of the mean annual runoff of the rivers in the right bank of the Pripyat basin

Sokolchuk K.I.

The article is devoted to the assessment of the representativeness of the observation series and the selective distribution parameters of the annual runoff of rivers on the right bank of the Pripyat basin. The objects of the study are the rivers of the Pripyat basin within Ukraine, which monitor the flow of water, the subject is the representativeness and reliability of the main sample parameters of the average annual flow of water - norms, coefficients of variation and asymmetry.

In the course of the study, a retrospective analysis and scan of the current state of the network of hydrological observations within the right bank of the Pripyat, its density, analysis of the distribution of catchment areas in locking sections. Has been carried out the estimation of the duration of continuous series of observations of the flow of water.

For the spatial comparison within the studied territory, the accuracy of determining the norms of the average annual flow of rivers of different water content was calculate relative values of mean square errors. The verification of the statistical hypotheses of homogeneity of the time series of the average annual water flow on the rivers of the right bank of the Pripyat basin was performed according to the standard parametric criteria of Student and Fisher.

Detection of trends in the long-term dynamics of the average annual water flow on the studied rivers is based on the difference integral curves. The isolation of the structural components of the cyclical runoff (water phase and full cycles) was carried out for the western and eastern parts of the right bank of the Pripyat.

Estimation of the selective distribution parameters - coefficients of variation and asymmetry of the average annual flow of water of the rivers right bank of the Pripyat basin, which would meet the requirements of their reliability and integrity, performed by the methods of moments and the most plausible. By the method of moments, calculations of the probabilistic distribution of water drainage are based on the parameters determined by the observed (empirical) data, and by the method of the most plausible - the coefficients of variation and asymmetry are analytically refined.

The article elucidate the first stage of any further study of the rivers of the Pripyat basin within Ukraine. The results of the study have a direct impact on determining the peculiarities of the spatial distribution of the average annual runoff of water and its distribution parameters within the studied area.

Keywords: Right Bank of Pripyat, rivers, mean annual runoff, observation series, distribution parameters, representativeness, reliability, water cycle.

Надійшла до редколегії 05.04.2019