

УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПРИХОДЬКІНА ВІКТОРІЯ СЕРГІЇВНА

УДК 556.16.048(282.247.318)

ДИСЕРТАЦІЯ

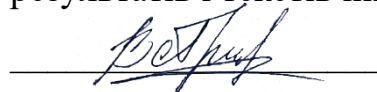
**ОСОБЛИВОСТІ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО
ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ ТА ЙОГО
РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

103 «Науки про Землю»

10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

 В.С. Приходькіна

Науковий керівник: Горбачова Людмила Олександрівна, доктор географічних наук, старший науковий співробітник

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Приходькіна В.С. Особливості максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг та його розрахункові характеристики. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 «Науки про Землю». – Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Київ, 2021.

У дисертації виконано дослідження максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. Актуальність дослідження обумовлюється науковим і практичним значенням відомостей щодо умов формування екстремальних значень максимального стоку води, частоти їхньої появи, багаторічних тенденцій, розрахункових характеристик, прогнозування тощо. Особливо важливі такі знання для р. Південний Буг, оскільки її басейн характеризується високим рівнем господарського освоєння території.

Метою роботи є встановлення просторово-часових закономірностей максимального стоку весняного водопілля р. Південний Буг та визначення його розрахункових характеристик.

Об'єктом дослідження є максимальний стік весняного водопілля річок басейну Південного Бугу.

Предметом дослідження є просторово-часові закономірності максимального стоку весняного водопілля р. Південний Буг та його розрахункові характеристики.

Розглянуто основні чинники та умови формування максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. Формування водного стоку відбувається у верхній та середній частинах басейну. Нижня частина, що розташована у степовій зоні суттєво не впливає на величину водного стоку р. Південний Буг. Кліматичні чинники умов формування весняного водопілля

характеризуються циклічними коливаннями. Водний стік р. Південний Буг у минулому мав суттєву мінливість. Згідно гідрометричних спостережень самим багатоводним роком був 1932 р., а самим маловодним – 1921 р. Показано, що починаючи з 80-х років XX сторіччя відбувається зменшення максимального стоку весняного водопілля та збільшення мінімального стоку літньо-осінньої межені, що призводить до внутрішньорічного перерозподілу стоку. Як наслідок, середній багаторічний стік річок басейну Південного Бугу не змінюється. З'ясовано, що у середньому за період 1914-2019 рр. весною формується до 45,8% річного стоку, зимою – 22,2%, влітку та восени по 16%. Отже, весняне водопілля залишається самою багатоводною фазою водного режиму р. Південний Буг.

Виконано аналіз методичних підходів щодо дослідження максимального стоку весняного водопілля р. Південний Буг та проаналізовано результати основних досліджень, обґрунтовано алгоритм та методи досліджень. У роботі знайшли застосування гідролого-генетичні та статистичні методи, методи математичної статистики та теорії ймовірності, кореляційний аналіз, метод Indicators of Hydrologic Alteration (ІНА), фасетний метод, метод α , географічні інформаційні системи (MapInfo, Grapher), а також аналітичні, експертні методи аналізу та гідрологічного узагальнення інформації. Вихідними матеріалами для дослідження слугували дані спостережень за гідрологічним режимом річок, що містяться у різних опублікованих довідкових матеріалах, підготовлених Центральною геофізичною обсерваторією ім. Бориса Срезневського (м. Київ). Використано дані спостережень 21 гідрологічного поста у басейні річки Південний Буг з початку спостережень по 2015 р. включно. Для визначення статистичних параметрів за методом Indicators of Hydrologic Alteration використано щоденні витрати води за період від початку спостережень по 2018 та 2019 рр.

Отримано просторово-часові тенденції максимального стоку води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. Показано, що максимальний

стік весняного водопілля характеризується циклічними і періодичними коливаннями. Ряди спостережень максимальних витрат і шарів стоку весняного водопілля є квазіоднорідними і квазістаціонарними. Це обумовлюється особливостями максимального стоку весняного водопілля, а саме наявністю в рядах спостережень лише зростаючої та спадаючої фаз довготривалих циклічних коливань, їхньою значною тривалістю і мінливістю максимального стоку.

Виявлено послідовне чергування 15-річних періодів підвищеної та пониженої водності р. Південний Буг, розпочинаючи з 1922 року. Це дозволило скласти прогноз на подальші періоди за методом α . Згідно прогнозу у період 2020-2041 рр. слід очікувати значне зростання середніх річних витрат води, у порівнянні з періодом 2015-2019 рр. Враховуючи те, що весняне водопілля визначає водність річки у кожному році, можна очікувати зростання і максимального стоку весняного водопілля у ці періоди.

Встановлено вплив на водний стік р. Південний Буг сонячної активності, спалахів на Сонці, Великих протистоянь Марса та Юпітера, а також появи поблизу Землі комет. З'ясовано, що у роки максимумів сонячної активності середні річні витрати води в середньому у 1,3 рази вищі, ніж у роки мінімумів сонячної активності; на наступний рік після екстремальних спалахів на Сонці відбувається зниження водного стоку – середній коефіцієнт зниження склав 0,66; на наступний рік після проходження комет поблизу Землі спостерігається зростання водного стоку – середній коефіцієнт зростання склав 1,21; у роки Великих протистоянь Марса середні річні витрати води в середньому перевищують норму стоку у 1,12 раз, а в роки Великих протистоянь Юпітера – становлять тільки 0,91 норми стоку.

Виконано фасетну класифікацію гідрографів, яка використовує багатовимірний статистичний підхід і має контрольовану кількість класів. За даними характеристик 102 гідрографів весняного водопілля, які спостерігались на р. Південний Буг біля смт Олександрівка за період 1914-

2015 рр. визначено 81 клас теоретичних гідрографів. В якості характеристик гідрографів використано наступні показники: дати початку та закінчення весняного водопілля, настання найбільшої витрати води і найбільші строкові витрати. Найбільш поширеними формами гідрографів є Р Р Р Н_в (ранній початок водопілля, раннє настання найбільшої витрати та ранній кінець водопілля, низька витрата) та П П П В_в (пізній початок водопілля, пізнє настання найбільшої витрати та пізній кінець водопілля, висока витрата), які містять 8 та 10 гідрографів відповідно.

З'ясовано багаторічні тенденції максимального стоку води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг за методом Indicators of Hydrologic Alteration (ІНА). Виконано розподіл характеристик водного стоку р. Південний Буг на п'ять складових, а саме надзвичайно низький стік, низький стік, пульсації високого стоку, невеликі повені, великі повені. У роботі детально досліджено характеристики максимального стоку, до якого віднесено пульсації високого стоку, невеликі повені, великі повені вздовж річки Південний Буг та з часом. Показано, що річка Синюха має вагомий вплив на водність р. Південний Буг, а саме вона визначає настання її найбільшої водності біля смт Олександрівка. Виявлено деякі особливості максимального стоку: у верхів'ї річки найбільшу тривалість мають невеликі повені та пульсацій високого стоку; у середньому великі повені повторюються 1 раз на 10 років, невеликі повені – 1 раз на 2 роки, пульсації високого стоку – 4-8 раз на рік у верхів'ї та 9-14 раз на рік у середній течії; у верхів'ї річки у середньому за юліанськими датами піки великих повеней спостерігаються в першій декаді квітня, невеликих повеней – першій декаді травня, у середній течії – у третій декаді березня, а пульсації високого стоку вздовж річки – в першій-другій декаді липня. З часом величини максимальних витрат води великих та невеликих повеней мають тенденцію до зменшення, а їхня тривалість суттєво збільшилася. Максимальні витрати води невеликих повеней біля смт Олександрівка не зазнали суттєвих змін. За період спостережень для

характеристик пульсацій високого стоку вздовж річки не виявлено будь яких суттєвих змін.

Визначено розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля у басейні р. Південний Буг за даними спостережень. Показано, що відновлення пропусків у рядах спостережень та аналіз довготривалих циклічних коливань є особливо важливим етапом дослідження, оскільки це дозволяє отримати інформацію про екстремальні значення, які спостерігались у фазу зростання довготривалих циклічних коливань у басейні річки Південний Буг. Це сприяє отриманню більш надійних та стабільних у часі статистичних характеристик рядів спостережень. Для апроксимації емпіричних точок використано аналітичні розподіли Крицького-Менкеля, Пірсона III типу і Гамбеля. Виявилось, що при побудові аналітичних розподілів виникають певні труднощі. Це пояснюється тим, що емпіричні розподіли максимального стоку весняного водопілля є дуже асиметричними завдяки наявності лише декількох екстремальних значень. Розрахункові характеристики максимальних витрат води весняного водопілля з часом стали стабільними, що обумовлюється наявністю у часових рядах фаз збільшення та зменшення довготривалих циклічних коливань.

Оновлено параметри редукційної формули, а саме K_0 , n , μ за сучасними даними спостережень. Показано, що сучасні параметри відрізняються від раніше отриманих. Це можна пояснити тим, що з подовженням рядів спостережень більш чіткіше проявляються циклічні довготривалі коливання максимального стоку весняного водопілля у басейні р. Південний Буг.

Виконано просторовий розподіл середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля, його коефіцієнту варіації у басейні р. Південний Буг з застосуванням принципу неперекривання водозборів річок у ГІС MapInfo з використанням тріангуляційного методу, який дозволяє позбутися суб'єктивних чинників і автоматично отримувати значення у будь-якій точці карти. Отримані карти суттєво деталізують особливості просторового

розподілу максимального стоку води весняного водопілля у басейні р. Південний Буг.

Показано, що у басейні р. Південний Буг виконати розрахунки для малих річок, струмків та балок досить проблематично за будь якими розрахунковими формулами, оскільки на них відсутні гідрометричні спостереження. Окрім цього, виникають труднощі і з розрахунками у лісовій та степовій зонах басейну зважаючи на недостатню щільність мережі спостережень, що також ускладнює розрахунки та знижує їхню достовірність.

Ключові слова: максимальний стік, весняне водопілля, р. Південний Буг, однорідність, стаціонарність, циклічні коливання, Indicators of Hydrologic Alteration, редуційна формула, статистичні показники

ABSTRACT

Prykhodkina V.S. Features of the maximum runoff of spring floods in the Southern Bug Basin and its calculated characteristics. – Qualified scientific paper on as a manuscript.

Thesis submitted for a Doctor of Philosophy Degree in specialty 103 "Earth Sciences". – Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Service of Emergencies of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

In this study, performed the research of the maximum runoff of spring floods in the Southern Bug Basin. The relevance of the study is due to the scientific and practical value of information on the conditions of formation of extreme values of maximum runoff, the frequency of their occurrence, long-term trends, design characteristics, forecasting, and more. The knowledge is especially important for the Southern Bug Basin, because basin characterized by a prominent level of economic development of the territory.

The purpose of the present study is to establish the spatio-temporal patterns of the maximum runoff of spring floods of the Southern Bug River and to determine its design characteristics.

The object of the study is the maximum snowmelt runoff of the rivers of the Southern Bug Basin.

The subject of the study is the spatio-temporal regularities of the maximum runoff of spring floods of the Southern Bug River and its calculated characteristics.

The main factors and conditions of formation of the maximum runoff of spring floods in the Southern Bug Basin are considered. The formation of water runoff occurs in the upper and middle parts of the basin. The lower part, located in the steppe zone, does not significantly affect the amount of water runoff of the Southern Bug River. The climatic factors of conditions formation of spring floods characterized by cyclic fluctuations. The water runoff of the Southern Bug River has had significant variability in the past. According to hydrometric time series, the highest water year was 1932, and the lowest water year was 1921. It shown that since the 1980s there has been a decrease in the maximum runoff of spring floods and an increase in the minimum runoff of the summer-autumn low water, intra-annual redistribution of flow. As a result, the average long-term river flow of the Southern Bug Basin does not change. It found that on average for the period 1914-2019 up to 45.8% of annual runoff formed in spring, 22.2% in winter, and 16% in summer and autumn. Therefore, the spring floods remains the most abundant phase of the water regime of the Southern Bug River.

The analysis of methodical approaches to the study of the maximum runoff of spring floods of the Southern Bug River performed and the results of the main research analysed, the algorithm and research methods substantiated. Hydrological-genetic and statistical methods, methods of mathematical statistics and probability theory, correlation analysis, Indicators of Hydrologic Alteration (INA) method, facet method, α , method, geographic information systems (MapInfo, Grapher), as well as analytical, expert methods of analysis and hydrological generalization of the

information. The starting materials for the study were data from observations of the hydrological regime of rivers contained in various published reference materials prepared by the Central Geophysical Observatory named by Borys Sreznevsky (Kyiv). Data time series from 21 hydrological stations in the Southern Bug Basin from the beginning of observations up to 2015 are used. The statistical parameters by the method of Indicators of Hydrologic Alteration to determine using daily discharge time series from the period the beginning of observations up to 2018 and 2019.

The spatio-temporal tendencies of the maximum runoff of spring floods in the Southern Bug Basin are obtained. It shown that the maximum runoff of spring floods is characterized by cyclic and periodic fluctuations. The data time series of the maximum flow and depth of runoff of spring floods are quasi-homogeneous and quasi-stationary. This is because of the peculiarities of the maximum runoff of spring floods, namely the presence in the data time series only of the ascending and descending phases of long-term cyclic fluctuations, their significant duration, and variability of the maximum runoff.

The influence of solar activity, flares on the Sun, the Great Confrontations of Mars and Jupiter, as well as the appearance of comets near the Earth has been established on the water runoff of the Southern Bug River. It was found that in the years of maximum solar activity, the average annual water consumption is on average 1.3 times higher than in the years of minimum solar activity; the following year, after extreme flashes in the Sun, there is a decrease in water runoff – the average reduction rate was 0.66; the following year after the passage of comets near the Earth, there is an increase in water runoff – the average growth rate was 1.21; in the years of the Great Confrontations of Mars, the average annual flow of water on average exceeds the norm of runoff by 1.12 times, and in the years of the Great Confrontations of Jupiter – is only 0.91 runoff.

The consistent alternation of 15-year periods of high and low water levels of the Southern Bug River, starting from 1922, is revealed. This allowed us to make a

forecast for subsequent periods by the method of α . According to the forecast, in the period 2020-2041 a significant increase in average annual water consumption should be expected, compared to the period 2015-2019 periods.

A faceted classification of hydrographs is performed, which uses a multidimensional statistical approach and has a controlled number of classes. According to the characteristics of 102 hydrographs of spring flood, which were observed on the Southern Bug River near the village of Oleksandrivka for the period 1914-2015, 81 classes of theoretical hydrographs were determined. The following indicators were used as characteristics of hydrographs: dates of the beginning and the end of spring flood, occurrence of the greatest expense of water and the greatest term expenses. The most common forms of hydrographs are EEEL_d (early start of the spring flood, early occurrence of the peak discharge, early the end of the spring flood and lowest discharge) and LLLH_d (late start of the spring flood, late occurrence of the peak discharge, late the end of the spring flood and highest discharge), contain 8 and 10 hydrographs, respectively.

The long-term tendencies of the maximum runoff of spring floods in the Southern Bug Basin according to the Indicators of Hydrologic Alteration (INA) method have been clarified. The characteristics of runoff of the Southern Bug River are divided into five components, namely extreme low flows, low flows, high-flow pulses, small floods, and large floods. The research investigates in detail the characteristics of the maximum runoff, which includes high-flow pulses, small floods, and large floods down the Southern Bug River, and over time. It shown that the river Syniukha has a significant impact on the water content of the Southern Bug River, namely, it determines the onset of its highest water content near the village of Oleksandrivka. Some features of maximum runoff have been identified: small floods and high-flow pulses have the longest duration in the upper reaches of the river; on average, large floods recur once every 10 years, small floods – once every 2 years, high-flow pulses – 4-8 times a year in the upper reaches and 9-14 times a year in the middle course; in the upper reaches of the river, on average Julian dates, peaks of

large floods are observed in the first decade of April, small floods in the first decade of May, in the middle course in the third decade of March, and high-flow pulses down the river in the first or second decade of July. Over time, the values of the maximum discharge of large and small floods tend to decrease, and their duration has increased significantly. The maximum discharge of small floods near the village of Oleksandrivka has not changed significantly. During the observation period, no significant changes were detected for the characteristics of high runoff ripples along the river.

The determining characteristics of the maximum runoff of spring floods in the Southern Bug Basin have been determined according to observations. It showed that the restoration of gaps in the data time series and analysis of long-term cyclical fluctuations is a particularly important stage of the study, as it provides information on extreme values observed during the growth phase of long-term cyclic fluctuations in the Southern Bug Basin. This contributes to obtaining more dependable and stable over time statistical characteristics of the data time series. To approximate the empirical points analytical distributions of the Kritsky-Menkel, Pearson type III, and Gumbel was used. It turned out that there are some difficulties in constructing analytical distributions. This is since the empirical distributions of the maximum runoff of spring floods are very asymmetric because of the presence of only several extreme values. The calculated characteristics of the maximum runoff of spring floods have become stable over time, owing to the presence in the time series of phases of increase and decrease of long-term cyclic fluctuations.

Updated parameters of the reduction formula, namely K_0 , n , μ according to modern observation data. It revealed that the current parameters differ from those previously obtained. This can explain that the lengthening of the data time series is more clearly manifesting by cyclic long amounts of maximum runoff of the spring flood in the Southern Bug Basin.

The spatial distribution of the average perennial depth of spring floods runoff, its coefficient of variation in the Southern Bug Basin using the principle of non-

overlapping of river basins in GIS MapInfo using the triangulation method, which allows to get rid of subjective factors and automatically obtain values in any point map. The obtained maps significantly detail the features of the spatial distribution of the maximum runoff of the spring flood in the Southern Bug Basin.

It revealed that in the Southern Bug Basin performed calculations for small rivers, streams, and gullies is quite problematic for any calculation formulas because they have no hydrometric data time series. In addition, there are difficulties with the calculations in the forest and steppe zones of the basin because of the insufficient density of the network of the data time series, which also complicates the calculations and reduces their reliability.

Key words: maximum flow, spring floods, Southern Buh River, homogeneity, stationarity, cyclic oscillations, Indicators of Hydrologic Alteration, reduction formula, statistical indicators

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

1. Khrystiuk B., Gorbachova L., Prykhodkina V. Faceted classification of the spring flood hydrographs of the Southern Buh River. *Geografický Časopis*. 2020. Vol. 72(1). P. 71-80. <https://doi.org/10.31577/geogrcas.2020.72.1.04> (Scopus) (Особистий внесок автора – збір та обробка вихідних даних, розрахунки та аналіз результатів).

2. Gorbachova L., Prykhodkina V., Khrystiuk B. Spring Flood Frequency Analysis in the Southern Buh River Basin, Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021. Vol. 30 (2). P. 250-260. <https://doi.org/10.15421/112122> (Web of Science) (Особистий внесок автора – розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).

3. Горбачова Л. О., Приходькіна В. С., Христюк Б. Ф., Заболотня Т. О., Розлач В. О. Статистичний аналіз максимального стоку води річки Південний Буг за методом «Indicators of Hydrologic Alteration». *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 27. С. 42-54. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.05> (Особистий внесок автора – збір та обробка вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

4. Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О., Приходькіна В.С. Фасетна класифікація гідрографів весняної повені річки Південний Буг. Тези доповідей VII Всеукраїнської наукової конференції «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія», присвяченої 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України, 13-14 листопада 2018, м. Київ. К.: Ніка-Центр. 2018. С.

26-27. (Особистий внесок автора – збір та обробка вихідних даних, розрахунки та аналіз результатів)

5. Горбачова Л.О., Христюк Б.Ф., *Приходькіна В.С.*, Заболотня Т.О., Липкань О.А. Розрахунки максимальних витрат води весняної повені і паводків холодного періоду року річок України за відсутності даних гідрометричних вимірювань. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Рельєф, клімат та поверхневі води як об'єкти природничо-географічних досліджень (до 70-річчя кафедр землезнавства та геоморфології, метеорології та кліматології, гідрології та гідроекології)», 2-4 жовтня 2019 р., Київ. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 3(54). С. 37-38. (Особистий внесок автора – збір та обробка вихідних даних, розрахунки та аналіз результатів для басейну р. Південний Буг).

6. Горбачова Л.О., Христюк Б.Ф., *Приходькіна В.С.* Оновлення параметрів редуційної формули для розрахунків максимального стоку весняної повені в басейні р. Південний Буг та річок Причорномор'я. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Річки та лимани Причорномор'я на початку XXI сторіччя», 17-18 жовтня, Одеса. ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2019. Р. 40-42. (Особистий внесок автора – збір та обробка вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).

7. Gorbachova L., Khrystiuk B., *Prykhodkina V.* The design snow-rain flood estimation at ungauged sites in the Tysa River Basin, Ukraine. Book of abstracts the XXVIII conference of the Danube countries on hydrological forecasting and hydrological foundations of water resources management. Kyiv, Ukraine, November 6-8, 2019. Kyiv: Nika-Center, 2019. Р. 14. (Особистий внесок автора – розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).

8. *Приходькіна В.С.* Сучасні ймовірнісні характеристики максимального стоку весняної повені у басейні річки Південний Буг. Матеріали IV-го Всеукраїнського пленеру з питань природничих наук. 19 червня 2020 р., Одеса, С. 66-68.

9. Gorbachova L., Khrystiuk B., *Prykhodkina V.* Cyclicity and periodicity of water runoff of the Southern Buh River and the possibility of its forecasting by the α method. Abstracts Book of the International Research-to-Practice Conference «Climate Services: Science and Education», Odessa, Ukraine, September 22-24, 2021. С. 21-22. (Особистий внесок автора – розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів роботи представлено в додатку Б.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ЧИННИКИ ТА УМОВИ ФОРМУВАННЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ.....	24
1.1 Загальний опис та географічна характеристика басейну.....	24
1.2 Кліматичні умови.....	28
1.3 Гідрологічна характеристика басейну.....	32
1.4 Антропогенне навантаження та зарегульованість.....	41
1.5 Висновки до розділу 1.....	49
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ.....	51
2.1 Основні методи та результати.....	51
2.2 Алгоритм та методи досліджень.....	61
2.3 Вихідні матеріали.....	79
2.4 Висновки до розділу 2.....	84
РОЗДІЛ 3. ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ.....	85
3.1 Однорідність і стаціонарність рядів спостережень.....	85
3.2 Циклічні і періодичні коливання водного стоку.....	89
3.3 Фасетна класифікація гідрографів.....	96
3.4 Статистичний аналіз максимального стоку за методом Indicators of Hydrologic Alteration.....	103
3.5 Висновки до розділу 3.....	114
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАК- СИМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ.....	117

4.1 Ймовірнісні характеристики.....	117
4.2 Просторовий розподіл розрахункових характеристик.....	134
4.3 Оновлення параметрів редукційної формули.....	138
4.4 Висновки до розділу 4.....	143
ВИСНОВКИ.....	145
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	149
ДОДАТКИ.....	168
Додаток А – Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження.....	169
Додаток Б – Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	170

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми. Дослідження максимального стоку весняного водопілля річок має важливе наукове і практичне значення. Знання щодо умов формування екстремальних значень максимального стоку води, частоти їхньої появи, багаторічних тенденцій є одними із найголовніших у практиці гідрологічних розрахунків. Недостатньо надійні розрахунки, прогнозування максимального стоку весняного водопілля річок можуть не тільки привести до матеріальних втрат у результаті руйнування гідротехнічних споруд, але й спричинити несподівані катастрофічні наслідки для населених пунктів, які можуть призводити і до людських жертв. Отже, дуже важливо мати сучасні й достовірні знання щодо тенденцій та розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля річок.

Південний Буг є найбільшою річкою, басейн якої повністю розташований в межах України. Басейн Південного Бугу характеризується високим рівнем господарського освоєння території. На території басейну проживають близько 4,2 млн. чоловік. Басейн р. Південний Буг є одним із важливих аграрних регіонів України з високим рівнем промислового виробництва. Сільськогосподарські угіддя займають майже 80% від загальної площі басейну. Окрім того, характерною особливістю р. Південний Буг є дуже велика зарегульованість водного стоку. В її басейні розташовано 189 водосховищ, з яких 16 було побудовано на головному руслі. Водосховища використовуються для потреб гідроенергетики, водопостачання та рекреації. Проте, незважаючи на значний перерозподіл стоку діючими штучними водоймами, в деяких частинах басейну відчувається нестача води для задоволення потреб населення та галузей економіки. Саме тому, дослідження

тенденцій, розрахунки та прогноз максимального стоку весняного водопілля для цього басейну є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дослідження за змістом дисертації були виконані згідно з планами науково-дослідних робіт УкрГМІ ДСНС України та НАН України за участі автора, як безпосереднього виконавця таких держбюджетних тем: «Розрахункові характеристики максимального стоку води весняного водопілля річок України різних ймовірностей перевищення» (2016-2019 рр., № д.р. 0116U000569); «Встановлення просторово-часових тенденцій та статистичних характеристик середньорічного стоку води та його внутрішньорічного розподілу і випаровування з водної поверхні в басейні р. Сіверський Донець» (2019-2021 рр., № д.р. 0119U001788).

Мета й завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є встановлення просторово-часових закономірностей максимального стоку весняного водопілля р. Південний Буг та визначення його розрахункових характеристик.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішувались наступні *завдання*:

- проаналізувати основні методи та результати щодо дослідження максимального стоку весняного водопілля;
- обґрунтувати алгоритм та методичні підходи дослідження;
- проаналізувати фізико-географічні умови формування максимального стоку весняного водопілля;
- дослідити просторово-часову однорідність максимального стоку води весняного водопілля річок басейну;
- вивчити вплив космічних чинників на водний стік;
- дослідити періодичні коливання водного стоку та виконати його довгострокове прогнозування за методом α ;

- виконати класифікацію гідрографів весняного водопілля р. Південний Буг;
- визначити статистичні показники водного стоку за методом Indicators of Hydrologic Alteration (США) для дослідження змін максимального стоку води на річці Південний Буг;
- визначити ймовірнісні характеристики максимального стоку води весняного водопілля та виконати їхнє просторове узагальнення і картографічне представлення;
- здійснити оновлення параметрів редуційної формули для розрахунків максимального стоку води весняного водопілля.

Об'єктом дослідження є максимальний стік весняного водопілля річок басейну Південного Бугу.

Предметом дослідження є просторово-часові закономірності максимального стоку весняного водопілля р. Південний Буг та його розрахункові характеристики.

Методи дослідження. У роботі знайшли застосування гідролого-генетичні та статистичні методи, методи математичної статистики та теорії ймовірності, кореляційний аналіз, метод Indicators of Hydrologic Alteration, фасетний метод, метод α , географічні інформаційні системи (MapInfo, Grapher), а також аналітичні, експертні методи аналізу та гідрологічного узагальнення інформації.

Вихідні матеріали. У роботі використано матеріали спостережень за гідрологічним режимом річок, що містяться у різних опублікованих довідкових матеріалах, підготовлених Центральною геофізичною обсерваторією ім. Бориса Срезневського (м. Київ).

Для дослідження використано дані спостережень 21 гідрологічного поста у басейні річки Південний Буг з початку спостережень по 2015 р. включно. Для визначення статистичних параметрів за методом Indicators of Hydrologic Alteration використано щоденні витрати води на гідрологічних

постах р. Південний Буг за період від початку спостережень по 2018 та 2019 рр. Основою для побудови карт просторового розподілу гідрологічних характеристик з використанням ГІС MapInfo є бази цифрових географічних даних електронної карти України масштабу 1:200 000 та цифрові шари Баз даних РГІ (відділ гідрологічних досліджень УкрГМІ).

Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше:

- виконано фасетну класифікацію гідрографів весняного водопілля р. Південний Буг – смт Олександрівка за подібністю їхніх форм та визначено 81 клас гідрографів за період спостережень 1914-2015 рр.;

- показано вплив сонячної активності, спалахів на Сонці, комет, Великих протистоянь Марса та Юпітера на водний стік;

- виявлено послідовне чергування 15-річних періодів підвищеної та пониженої водності розпочинаючи з 1922 року та виконано його прогнозування за методом α ;

- здійснено оновлення параметрів редуційної формули для розрахунків максимального стоку води весняного водопілля;

- визначено статистичні показники максимального стоку весняного водопілля за методом Indicators of Hydrologic Alterations.

Дістало подальший розвиток:

- підходи щодо дослідження просторово-часових закономірностей максимального стоку весняного водопілля;

- погляди та підходи щодо класифікації гідрографів річок;

- погляди на чинники формування водного стоку та його довгострокове прогнозування.

Практичне значення одержаних результатів полягає у впровадженні в діяльність Державного регіонального проектно-вишукувального інституту «Укрпівдендніпроводгосп» (м. Одеса) результатів дисертації, а саме сучасних розрахункових характеристик максимального стоку води (рівні, витрати,

шари), а також оновлених параметрів редукційної формули (K_0 , n та μ) весняної повені річок в басейні Південного Бугу та річок Причорномор'я (акт впровадження від 04.12.2019 р.). Результати дослідження можуть бути використані науковими та проектними організаціями з метою гідрологічного прогнозування і планування протипаводкових заходів, гідротехнічного будівництва, водокористування тощо, а також у навчальних спецкурсах для студентів, аспірантів, які вивчають гідрометеорологічні дисципліни.

Особистий внесок автора полягає в практичній реалізації гідролого-генетичного аналізу однорідності і стаціонарності рядів спостережень максимального стоку води весняного водопілля, класифікації його гідрографів, статистичних розрахунках і визначенні параметрів, узагальненні та аналізі результатів дослідження, побудові карт просторового розподілу в басейні р. Південний Буг. Основні результати дисертаційного дослідження належать автору.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати досліджень було оприлюднено на наукових семінарах відділу гідрологічних досліджень УкрГМІ, на засіданнях вченої ради УкрГМІ, міжнародних та всеукраїнських конференціях:

- Всеукраїнська наукова конференція «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія», присвяченої 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України (13-14 листопада 2018, м. Київ);
- Міжнародна науково-практична конференція «Рельєф, клімат та поверхневі води як об'єкти природничо-географічних досліджень (до 70-річчя кафедр землезнавства та геоморфології, метеорології та кліматології, гідрології та гідроекології» (2-4 жовтня 2019 р., Київ);
- Всеукраїнська науково-практична конференція «Річки та лимани Причорномор'я на початку XXI сторіччя» (17-18 жовтня 2019 р., Одеса);

- XXVIII conference of the Danube countries on hydrological forecasting and hydrological foundations of water resources management (Kyiv, Ukraine, November 6-8, 2019);

- Всеукраїнський пленер з питань природничих наук (19 червня 2020 р., Одеса);

- International Research-to-Practice Conference «Climate Services: Science and Education», Odessa, Ukraine, September 22-24, 2021.

Публікації. Основні результати досліджень опубліковано у 9 наукових працях, в тому числі: 2 статті – у фахових наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 1 стаття – у фаховому науковому виданні України, 6 тезах доповідей і матеріалах наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 163 найменувань, додатків. Повний обсяг дисертації становить 172 сторінку, з яких 122 сторінки основної частини, 34 рисунки, 34 таблиці, 2 додатки.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВНІ ЧИННИКИ ТА УМОВИ ФОРМУВАННЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ

1.1. Загальний опис та географічна характеристика басейну

Басейн річки Південний Буг охоплює частину Волино-Подільської та Дніпровської височини, а також Причорноморської низовини. Це друга річка за довжиною після р. Дніпро, і найдовша з тих, що протікають виключно в межах України. Водозбір річки займає 10,6% території України і складає 63 700 км², її довжина – 806 км, середній похил – 40 см/км. Річка тече з північного заходу на південний схід і впадає в Бузький лиман, який на висоті 0,2 м над рівнем моря з'єднується з Чорним морем [1-7] (рис. 1.1). Свій початок річка бере на Волино-Подільській височині поблизу с. Холодець, Хмельницької області на висоті 321 м над рівнем моря. Протікає через такі фізико-географічні зони як лісова, лісостепова та степова. Разом з цим, Південний Буг несе свої води через західні, центральні і південні області України (Хмельницька, Вінницька, Кіровоградська, Одеська, Миколаївська) [2-5, 7].

Басейн річки Південний Буг має грушоподібну форму. У верхів'ї басейн різко звужений, у середній і нижній частинах він асиметричний. Середня висота водозбору у верхів'ї – 300-320 м, в нижній частині – 520 м [1].

Рельєф басейну у межах Волино-Подільської і Придніпровської височини рівнинний і сильно яружний. Водозбір у межах цих височин являє собою плато, яке дуже розчленоване глибоко врізаними річковими долинами, які супроводжуються акумулятивними і ерозійними терасами. У верхній

частині басейну глибина ерозії 50-100 м. Ерозія досягає 100-200 м в середній частині басейну, а густота яружно-балкової мережі складає від 0,50 до 1,0 км на 1 км² [1, 4]. Причорноморська низовина виділяється чітким уступом від Волино-Подільської і Придніпровської височини. Для цієї частини басейну характерно плоский рельєф з малими і великими западинами [3-5].



Рисунок 1.1. – Фізична карта басейну р. Південний Буг [8]

Долина річки широка з низькими пологими берегами до 3,5 км біля смт Олександрівка. У межах височини басейну, більша частина якого складається з кристалічних порід (граніт і гнейсам), у багатьох місцях породи виходять на поверхню, але часто прикриті морськими і континентальними третинними відкладенням (піску, глини, мергелів, черепашкових вапняків, галечниками) [1]. У наслідок переваги пилувато-легкосуглинистих і піщанисто-середньосуглинистих ґрунтів, поверхневий шар складається із

лесу. Ґрунт переважно сірий опідзолений, у верхів'ї місцями чорнозем. У Причорноморській низовині лесова порода складається з неогенового відкладення вапняку з прошарком глини і піску. Ґрунт причорноморської рівнини пилувато-важкосуглинистий [1, 4].

Для південно-західної частини басейну характерні широколистяні ліси з дубу та грабу. Ближче до півдня басейну ліси змінюються на лісостеп та різнотравно-типчаково-ковиловий степ. Від загальної площі басейну кількість боліт складає 4%, озер – 3% і лісів – 1% [1, 6].

Заплава річки по всій довжині вирізняється значними коливаннями за шириною. Так, від витoku до с. Новокостянтинів заплава має ширину у межах 0,6-12 км. Потім значно звужується і між с. Голоскове і смт Меджибіж ширина заплави складає усього 100-200 м. У верхів'ї річки заплава переважно заболочена, покрита рідкими чагарниками з вологими луками [4]. Надалі від с. Ворошилівка до гирла р. Синиця ширина заплави знаходиться в межах 200-300 м. Далі, до с. Мигія, заплава місцями відсутня. Нижче до смт Олександрівка, заплава вузька, переважно правобережна, шириною приблизно 60 м. На ділянці від смт Олександрівка до гирла річки заплава розширюється, а від с. Михайлівка до с. Ковалівка досягає ширини 3,5 км, пересічена рукавами, притоками і озерами. Від с. Білоусівка до с. Гур'ївка заплава складається з грудкуватого болота, вкритого заростями очерету [1, 4].

У верхів'я русла річки знаходиться в заростях водної рослинності. Ширина річки до с. Новокостянтинів переважно 10-15 м, найбільша – 50 м, найменша – 1 м. Глибина коливається в межах 0,2-2,5 м, переважно – 1 м. Швидкість течії незначна. Дно піщано-мулисте, місцями глинисте. Береги річки не перевищують 1,0 м, топкі і нестійкі, лівий берег більш високий. Нижче ширина річки коливається від 20 до 200 м, глибина від 0,5 до 1,5 м, на перекатах до 2,5-5,0 м, іноді на плесах сягає 15 м, а швидкість течії від 1,5 до 0,3 м/с [4, 6, 9].

Річкова мережа має деревоподібну структуру і її густота приблизно $0,33 \text{ км/км}^2$. У басейні Південного Бугу протікає майже 6638 малих річок, їхня загальна довжина складає 20,1 тис. км (з урахуванням річок довжиною менше 10 км – 6271 і, відповідно, довжина 12 тис. км) і 11 середніх річок (1,6 тис. км) [4-9].

У місці злиття річок Тікич і Велика Вись утворюється найбільша притока річки Південний Буг – річка Синюха. Вона впадає в Південний Буг в межах м. Первомайськ і площа її басейну становить $16\,700 \text{ км}^2$. У нашій роботі [10] показано, що р. Синюха має значний вплив на формування витрат води річки Південний Буг біля смт Олександрівка. У місці впадіння її середня водність становить близько 40% від загальної водності Південного Бугу. Після впадіння р. Синюхи до Південного Бугу витрати води у його кінцевому гідрологічному створі біля смт Олександрівка майже не змінюються за відсутності суттєвого притоку.

У нижній течії Південного Бугу виділяють річку Інгул, яка впадає в Бузький Лиман у межах м. Миколаїв і має площу басейну $9\,890 \text{ км}^2$, довжину – 354 м [1, 3-4]. Відомості щодо основних річок басейну наведено в таблиці 1.1 за даними [4].

Таблиця 1.1 – Відомості про основні річки басейну р. Південний Буг [1, 4]

Притока	Ліва/права	Площа водозбору, км^2	Довжина, км	Загальне падіння річки, м	Похил річки, м/км	Коефіцієнт густоти річкової мережі
Бужок	Ліва	704	78,0	60,0	0,77	0,73
Вовк	Права	915	71,0	57,6	0,81	0,59
Іква	Ліва	505	57,0	68,0	1,20	0,54
Снивода	Ліва	906	58,0	47,0	0,84	0,55
Згар	Права	1160	95,0	79,0	0,83	0,50
Десна	Ліва	1400	80,0	65,0	0,81	0,55
Рів	Права	1160	104	114	1,10	0,65
Сільниця	Права	830	67,0	118	1,76	0,28

Притока	Ліва/права	Площа водозбору, км ²	Довжина, км	Загальне падіння річки, м	Похил річки, м/км	Коефіцієнт густоти річкової мережі
Соб	Ліва	2840	115	134,4	1,16	0,49
Удич	Ліва	861	56,0	112,1	1,70	0,38
Дохна	Права	1280	68,0	130	1,10	0,22
Саврань	Права	1770	97,0	148	1,50	0,23
Синиця	Ліва	765	78,0	150,5	1,90	0,33
Кодима	Права	2470	149	100	0,70	0,23
Синюха	Ліва	16700	111	43,7	0,46	0,37
Бакшала	Права	766	57,0	55,0	0,94	0,20
Мертвовід	Ліва	1820	114	198,4	1,80	0,31
Чичиклія	Права	2120	156	96,1	0,62	0,16
Гнилий Єланець	Ліва	1204	103	194,6	1,30	0,30
Інгул	Ліва	9890	354	150	0,41	0,23

1.2 Кліматичні умови

Циркуляція атмосфери має вагомий вплив на формування клімату. З чим пов'язано переміщення повітряних мас з Атлантики, Арктики і континентальних районів Азії. Під впливом Чорного моря знаходиться клімат південних районів басейну. У верхів'ї та середній частині басейну помірно-континентальний клімат, який переходить у посушливий в нижній частині під впливом Чорного моря [1, 3, 11-13].

Зважаючи на значну протяжність території розташування басейну річки, з північного заходу на південний схід, слід зазначити, що є помітні відмінності у розподілі температури повітря. Коливання середньої багаторічної температури повітря у верхній та середній частинах басейну – 7,1-8,1 °С, а нижньої частини – 8,0-10 °С. Різниця може становити 3,1 °С між середніми багаторічними температурами для верхньої і нижньої частини басейну [3, 11-17].

Річна норма опадів змінюється від 669 до 550 мм у верхній частині та середній, поступово зменшуючись з півночі на південь до 470-440 мм. У

теплий період випадає 60-70% від загальної суми опадів. Відносна середньорічна вологість повітря становить 60-65% [3, 14]. У верхів'ї і середній частинах басейну норми випаровування з водної поверхні становлять 530-625 мм, у пониззі – 800-900 мм. В маловодному році відповідно 680-710 мм, в пониззі – 750 мм [18-20].

Вітри північно-західного напрямку є переважаючими в басейні. Середньорічна швидкість вітру складає від 3,0 до 4,4 м/с, а максимальна швидкість перевищує 30 м/с [15, 20]. У теплий період року найбільш сприятливі умови живлення річки спостерігаються у верхній течії річки, завдяки помірному температурному режиму, середньої багаторічної кількості опадів, які досягають 600-634 мм та найменшим втратам вологи на випаровування. У напрямку до гирла, зважаючи на збільшення частки випаровування в загальному водному балансі басейну річки, умови живлення погіршуються [13, 15]. Північна частина басейну належить до помірно-вологої зони, за умовами випаровування і кількістю опадів, центральна – до зони недостатнього зволоження, а південні райони – до посушливої зони [1, 3, 10].

Для весняного сезону характерним є різкі переходи від потепління до похолодання, від сухої до дощової погоди. Температура повітря підвищується, також зменшується кількість туманів та сильних вітрів у другій половині весни. Погодні умови наближаються до літніх у травні, коли починає розвиватися грозова діяльність [13, 15].

Максимальна температура повітря спостерігається влітку і досягає 39 °С. Літній сезон у басейні характеризується значною кількістю ясних днів, підвищенням температури, збільшенням кількості опадів та активною грозовою діяльністю. Для осіннього сезону характерними є велика кількість похмурих днів, тривалі, але мало інтенсивні опади і тумани [3, 13-14].

Мінімальна температура повітря, для верхньої та середньої частини басейну, спостерігається взимку і може досягати мінус 38 °С. Часті тумани і опади у вигляді дощу і снігу, є притаманними для зимового сезону. Зима, в

окремі роки, для цих частин басейну, може бути стійкою і суворою. Як правило, сніговий покрив дуже не стійкий, його середня висота становить від 10 до 15 см. Середня багаторічна максимальна висота снігового покриву коливається від 13 до 21 см [1, 13-15].

Для нижньої частини басейну, яка розташована в межах степової зони України з помірно-континентальним кліматом, характерна м'яка нестійка зима і тепле літо. Середньорічна температура повітря тут коливається від 8,0 до 10,0 °С. Максимальна температура повітря спостерігається у липні-серпні може досягати 40 °С, мінімальна температура відмічається в січні до мінус 35 °С. Річна кількість опадів у нижній частині басейну становить від 470 до 540 мм. Відносна середньорічна вологість повітря – 60-65% [1, 14].

Січень, вважається найхолоднішим місяцем, його середньомісячна температура становить 3,5-5,5 °С. Мінімальна температура може досягати до мінус 35 °С. Сніговий покрив, у нижній частині басейну, встановлюється у другій половині грудня і руйнується наприкінці лютого – на початку березня. Його середня висота 5-8 см, максимальна 18-30 см. Глибина промерзання ґрунту в середній і нижній частині – 20-50 см [3, 14-15, 20].

Основні кліматичні характеристики в басейні р. Південний Буг наведено в таблиці 1.2. У цій же таблиці також наведено відомості і за 2018 р., що надає деяке уявлення про мінливість метеорологічних показників у басейні.

Таблиця 1.2 – Основні кліматичні характеристики р. Південний Буг [20]

№	Метеостанція	Температура повітря, °С		Річна кількість опадів, мм	
		норма	2018	норма	2018
1	Хмельницький	7,1	8,6	669	584
2	Вінниця	7,1	8,8	638	572
3	Гайсин	7,6	9,4	606	616
4	Первомайськ	8,8	10,7	553	605
5	Вознесенськ	9,6	11,4	517	490
6	Миколаїв	10,0	11,4	472	394
	По басейну	8,3	10,0	576	544

Так, температурні характеристики 2018 року коливались від 8,6 °С до 11,4 °С. Середня річна температура повітря в басейні Південного Бугу склала 10 °С, що перевищило норму на 1,7 °С. Річна кількість опадів у басейні у 2018 році склала 544 мм, що нижче норми на 32 мм.

У багатьох роботах зазначається, що клімат басейну р. Південний Буг зазнає змін [14, 21-28]. Так, у роботі Гребеня В.В. [21] показано, що температура повітря інтенсивно зростає з 1989 року. Зростання температури повітря призводить до змін характеристик весняного водопілля.

У роботах Шакірзанової Ж.Р., Овчарук В.А. [22, 27] виконано аналіз основних кліматичних чинників формування весняного водопілля рівнинних річок України станом на 2010 р. Показано, що кліматичні чинники формування весняного водопілля мають циклічні коливання. Найбільших змін зазнали температури повітря зимового періоду, які мають тенденцію до підвищення, середні значення кількості опадів холодного і теплого періодів та за рік знаходяться в межах норми, так само, як і величини максимальних снігозапасів на початок весняного водопілля.

Останнє найбільш ґрунтовне дослідження кліматичних чинників весняного водопілля у басейні р. Південний Буг за сучасними даними, тобто по 2015 р. включно, виконано Докус А.О. у роботі [28]. Було досліджено наступні показники:

- середньомісячні температури повітря за лютий та березень;
- дати настання максимальних снігозапасів;
- величини максимальних запасів води в сніговому покриві;
- кількість опадів за період весняного водопілля;
- кількість опадів за період танення снігу;
- кількість опадів за період спаду весняного водопілля;
- максимальні глибини промерзання ґрунту перед початком весняного водопілля;

- запаси вологи у метровому шарі ґрунту перед початком весняного водопілля.

Докус А.О. встановлено, що у басейні р. Південний Буг температури повітря холодного періоду мають значущу тенденцію до підвищення, починаючи з 1989 року спостерігається відсутність стійкого снігового покриву та суттєве зменшення глибин промерзання ґрунтів. Кліматичні чинники умов формування весняного водопілля характеризуються циклічними коливаннями.

Результати дослідження багаторічних тенденцій кліматичних чинників формування весняного водопілля Докус А.О. узгоджуються з результатами досліджень інших науковців, які виконано для різних рівнинних басейнів України [25, 29-32].

Враховуючи ґрунтовне дослідження Докус А.О. щодо аналізу кліматичних чинників умов формування весняного водопілля у нашій роботі такі дослідження не проводились, оскільки подібні дослідження набудуть доцільності у майбутньому з подовженням тривалості рядів спостережень.

1.3. Гідрологічна характеристика басейну

Відомості про гідрометеорологічні явища в басейні Південного Бугу могли зберегтися в писаних джерелах лише з XIV ст. Дані про характер зим для басейну Південного Бугу виявлені з 1450 р. У 1801 р. виникла цікавість в дослідженні річки Південний Буг. Перший гідрографічний огляд річки Південний Буг виконав Матушинський, який склав «антрально снятой план». Одиничні спостереження за рівнями збереглися з 1820 р., пізніше розпочалися спостереження за льодовим режимом. Потреба у систематичних спостереженнях у нижній частині над рівнем води виникла у зв'язку із розвитком судноплавства. Отже, у 1843 р. біля м. Вознесенськ було відкрито водомірний пост для потреб водного транспорту [33].

Для вивчення стоку річки в 1913 р. з ініціативи інженера Шубовича біля с. Богданівка (сmt Олександрівка) було відкрито гідрометричну станцію, яку перейменували на гідрологічну в 1920 р. Масові водомірні спостереження розпочалися з 1924 р. Ряд спостережень має не значні пропуски, які відбулися лише в окремі місяці 1917, 1941, 1942, та 1944 рр. [33].

Аналіз літературних і архівних джерел, який було виконано у роботі Швеця Г.І. [33] показав, що є відомості за допомогою яких можливо оцінити водність річки Південний Буг ще до початку системних гідрометричних спостережень. Такі знання суттєво розширюють наші уявлення щодо тенденцій водного стоку річки у минулому. Отже, відповідно до дослідження [33] сезони року охарактеризовано наступним чином:

- **весна:**

- пізня весна з дружним таненням припадає на 1383 р.;
- рання, затяжна – 1111, 1287, 1372, 1560, 1811, 1815, 1840, 1846 рр.;
- багатоводна 1247, 1444, 1450, 1489, 1498, 1557, 1650, 1654, 1677, 1678, 1679, 1695, 1709, 1770, 1820, 1829, 1838, 1841, 1865, 1871 рр.;
- дуже багатоводна – 1845, 1877 рр.;
- маловодна – 1111, 1146, 1161, 1220, 1287, 1303, 1372, 1404, 1453, 1477, 1478, 1558, 1560, 1593, 1653, 1680, 1696, 1732, 1790, 1810, 1811, 1815, 1816, 1827, 1833, 1843, 1844, 1846, 1857 рр.;
- дуже маловодна 1575 р.

- **літо:**

- дуже багатоводне – 1601, 1740, 1839 рр.;
- маловодне – 1092, 1111, 1124, 1373, 1533, 1591, 1680, 1793, 1794, 1827, 1832, 1833 рр.;
- дуже маловодне – 1575 р.

- **осінь:**

- багатоводна – 1730 р.;
- дуже багатоводна – 1601 р.;

- маловодна – 1871 р.
- **зима:**
 - сувора, багатосніжна – 1247, 1383, 1444, 1489, 1498, 1644, 1650, 1654, 1677, 1678, 1679, 1695, 1709, 1729, 1820, 1830, 1841, 1871 рр.;
 - дуже багатосніжна – 1450, 1557, 1845 рр.;
 - тепла, малосніжна – 1111, 1146, 1220, 1287, 1303, 1372, 1404, 1453, 1477, 1478, 1558, 1560, 1593, 1653, 1680, 1696, 1732, 1790, 1810, 1811, 1815, 1816, 1834, 1840, 1844, 1846, 1857 рр.;
 - дуже тепла, малосніжна – 1161, 1843 рр.

Зрозуміло, що наведені відомості не можна вважати вичерпними, але ці матеріали становлять цінне доповнення до матеріалів регулярних спостережень. Їхній аналіз дозволяє зробити висновок, що у минулому водний стік р. Південний Буг мав суттєву мінливість, яка залежала від метеорологічних умов кожного року.

У різні періоди гідрометричні спостереження у басейні р. Південний Буг проводилися на 106 постах [1]. За даними Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського на 2018 р. налічується 24 діючих гідрологічних поста, відомості про них наведено в табл. 1.3. З них 42% мають ряди спостережень більше 50 років [28].

Таблиця 1.3 – Список діючих гідрологічних постів у басейні р. Південний Буг на 2018 рік [34]

№	Назва поста	Відстань від гирла, км	Площа водозбору, км ²	Дата відкриття
1	р. Південний Буг – с. Пирогівці	712	827	25.12.1963
2	р. Південний Буг – с. Лелітка	641	4000	01.03.1926
3	р. Південний Буг – с. Селище	550	9100	01.01.2002
4	р. Південний Буг – с. Тростянчик	369	17400	25.08.1927
5	р. Південний Буг – с. Підгір'я	220	24600	10.12.1924
6	р. Південний Буг – м. Первомайськ	195	44000	14.02.1945

№	Назва поста	Відстань від гир-ла, км	Площа водозбору, км ²	Дата відкриття
7	р. Південний Буг – смт Олександрівка	132	46200	14.05.1923
8	р. Південний Буг – с. Прибужани	103	46700	13.04.1886
9	р. Південний Буг – м. Миколаїв	2.0	63700	1916
10	р. Іква – смт Стара Синява	10	439	01.09.1939
11	р. Згар – смт Літин	36	692	28.08.1912
12	р. Рів – с. Демидівка	7.9	1130	05.09.1915
13	р. Соб – с. Зозів	103	92.5	10.01.1945
14	р. Савранка – с. Осички	6.1	1740	11.10.1933
15	р. Кодима – с. Катеринка	12	2390	08.02.1925
16	р. Синюха – с. Синюхин Брід	12	16700	09.12.1924
17	р. Гнилий Тікич – смт Лисянка	72	1450	15.07.1944
18	р. Велика Вись – с. Ямпіль	8.8	2820	03.09.1925
19	р. Ятрань – с. Покотилове	3.8	2140	30.07.1915
20	р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка	19	2230	01.07.1932
21	р. Мертвовід – с. Крива Пустош	88	252	13.06.1948
22	р. Інгул – м. Кропивницький	314	840	13.03.1944
23	р. Інгул – с. Седнівка	204	4770	23.08.1932
24	р. Інгул – с. Новогорожене	120	6670	13.09.1925

У нашій роботі [35] виконано дослідження багаторічних характеристик стоку р. Південний Буг за даними спостережень біля смт Олександрівка. Аналіз щоденних витрат весняного водопілля річки Південний Буг показав, що гідрографи мають чітко виражене весняне водопілля (рис. 1.2). Весняне водопілля може початися в січні і закінчитися в першій декаді червня. Найбільші весняні водопілля можуть закінчитися наприкінці квітня (рис. 1.2 а). Пік водопілля спостерігається в середині та кінці березня. Аналіз гідрографів річки Південний Буг показав, що відхилення деяких гідрографів від середнього гідрографа (за період 1914-15, 1918-40, 1943, 1945-2015 рр.) досить сильно змінюється (рис. 1.2, б).

Найбільш високі весняні водопілля мають зубчасті форми. Це пояснюється різними кліматичними умовами формування весняного водопілля у кожному році.

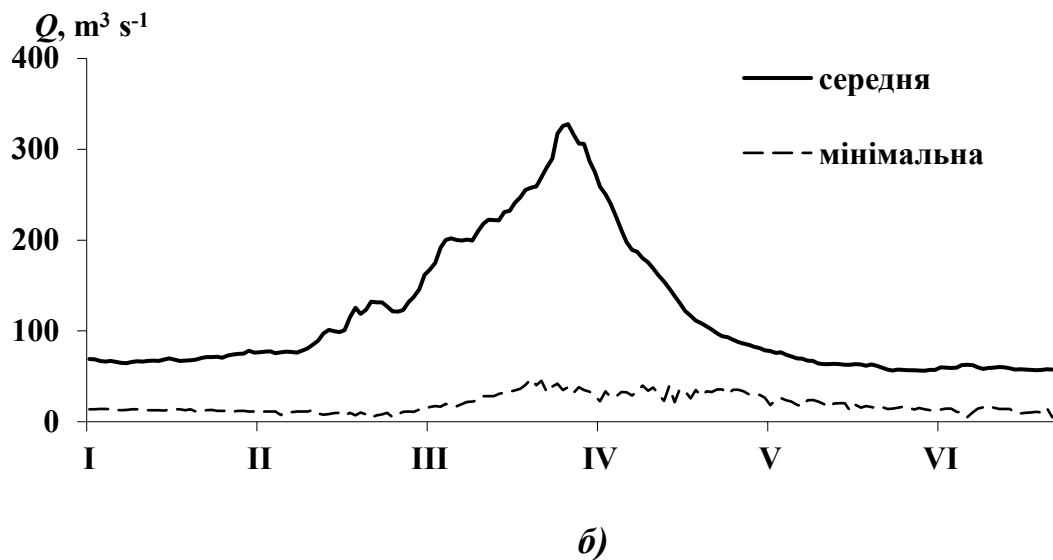
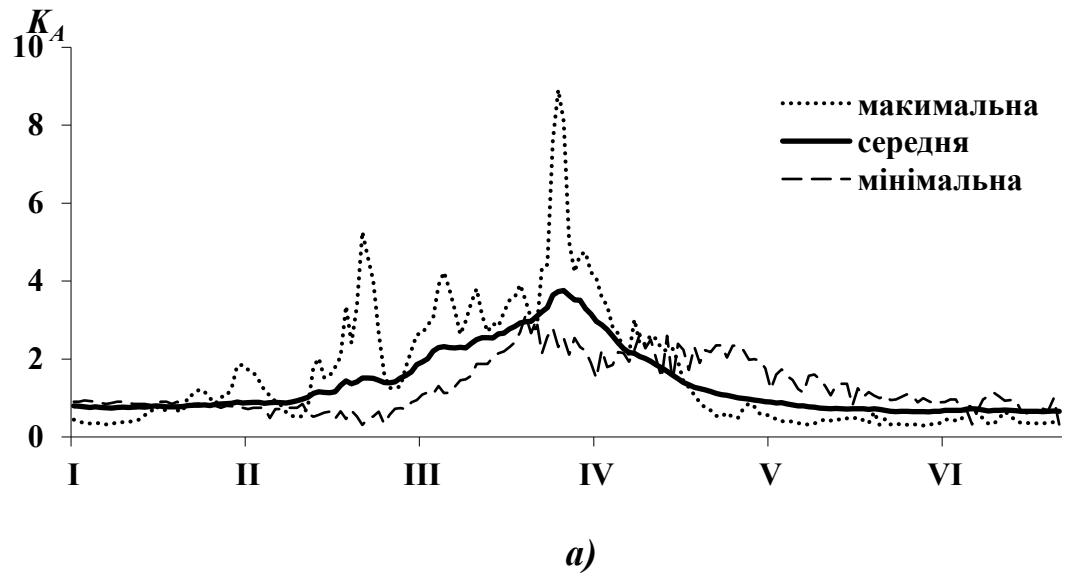


Рисунок 1.2. – Добові витрати весняного водопілля на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка за період 1914-2015 рр. [35]

У переважній більшості максимальні витрати формуються весною внаслідок стоку талих вод, але в роки з маловодними веснами бувають випадки, коли максимальні витрати настають в інший сезон, наприклад, зимою, як це було у 1936, 1948 рр., або у літньо-осінній сезон 1930, 1949, 1958 рр. Характерна також зміна максимальних витрат по довжині річки. Основною зоною живлення Південного Бугу є верхня частина басейну разом із притокою Рів. Нижче впадіння р. Рів і до гирла р. Синюха впадають маловодні притоки, які практично мало впливають на величини максимумів.

Тому відмічаються багато випадків зменшення максимальних витрат на цій ділянці [4, 33]. Стік з басейну р. Синюха істотно впливає також на синхронність у настанні максимальних витрат однієї забезпеченості на р. Південний Буг. Нижче впадіння р. Синюха і до Дніпро-Бузьського лиману також відмічається зменшення витрат, оскільки маловодні притоки, що тут впадають, не покривають обводи, які йдуть на заповнення русла [1, 4].

У наших роботах [10, 35] показано, що за період спостережень 1914-2019 рр. на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка середня багаторічна витрата води становить $83,7 \text{ м}^3/\text{с}$. Найбільш багатоводним роком був 1932 з максимальною витратою води $5320 \text{ м}^3/\text{с}$, а найбільш маловодним – 1921 р. з максимальною витратою $76,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Дані інструментальних спостережень вказують, що витрата води 1932 р. є неперевищеною. Разом з цим, Швець Г.І. у роботі [33], використовуючи літературні відомості, вказує, що найбільше весняне водопілля відбулося у 1845 році. За період стаціонарних спостережень можна також виділити роки з найбільшими витратами води: 1917 ($2260 \text{ м}^3/\text{с}$), 1922 ($2090 \text{ м}^3/\text{с}$), 1923 ($1290 \text{ м}^3/\text{с}$), 1924 ($1690 \text{ м}^3/\text{с}$), 1929 ($1390 \text{ м}^3/\text{с}$), 1935 ($1490 \text{ м}^3/\text{с}$), 1937 ($1940 \text{ м}^3/\text{с}$), 1940 ($4610 \text{ м}^3/\text{с}$), 1941 ($2740 \text{ м}^3/\text{с}$), 1942 ($1550 \text{ м}^3/\text{с}$), 1947 ($2040 \text{ м}^3/\text{с}$), 1956 ($1830 \text{ м}^3/\text{с}$), 1969 ($1270 \text{ м}^3/\text{с}$), 1970 ($1590 \text{ м}^3/\text{с}$), 1980 ($2410 \text{ м}^3/\text{с}$), 2003 ($2000 \text{ м}^3/\text{с}$).

У басейні Південного Бугу мінімальний стік спостерігається у літньо-осінню та зимову межень. Найнижча межень властива для літньо-осіннього періоду, коли відбувається виснаження підземних вод, які формують стік. Зимова межень зазвичай вища внаслідок підживлення річки талими водами під час відлиг. Разом з цим, в окремі роки з суворими зимами меженний стік може бути низьким, як і влітку. Значна кількість водосховищ побудованих у басейні Південного Бугу безпосередньо впливає на природний хід стоку, його розподіл у часі і просторі. Особливо цей вплив проявляється для мінімального стоку річок [1, 3-4, 16].

У роботі [36] виконано дослідження багаторічних часових рядів зимової та літньо-осінньої межені за даними гідрологічного поста р. Південний Буг – смт Олександрівка з початку періоду спостережень по 2015 р. Отримані результати показують, що стік зимової межені несуттєво збільшується (коефіцієнт кореляції $R=0,18$), а стік літньо-осінньої межені має чітко виражений позитивний тренд зі значущим коефіцієнтом кореляції $R=0,53$. Суттєве збільшення мінімального стоку спостерігається після 1980-х років. Зазначимо, що у наших роботах [37-39] (див. розділ 3), а також і інших дослідженнях [22, 27-29, 32, 40] показано, що приблизно у цей же часовий проміжок відбувається зниження максимального стоку весняного водопілля річок басейну Південного Бугу. Отже, відбувається внутрішньорічний перерозподіл стоку [41]. Як результат цього, середній багаторічний стік річок басейну Південного Бугу не змінився (рис. 1.3), як це і було показано у роботах [21, 42, 43].

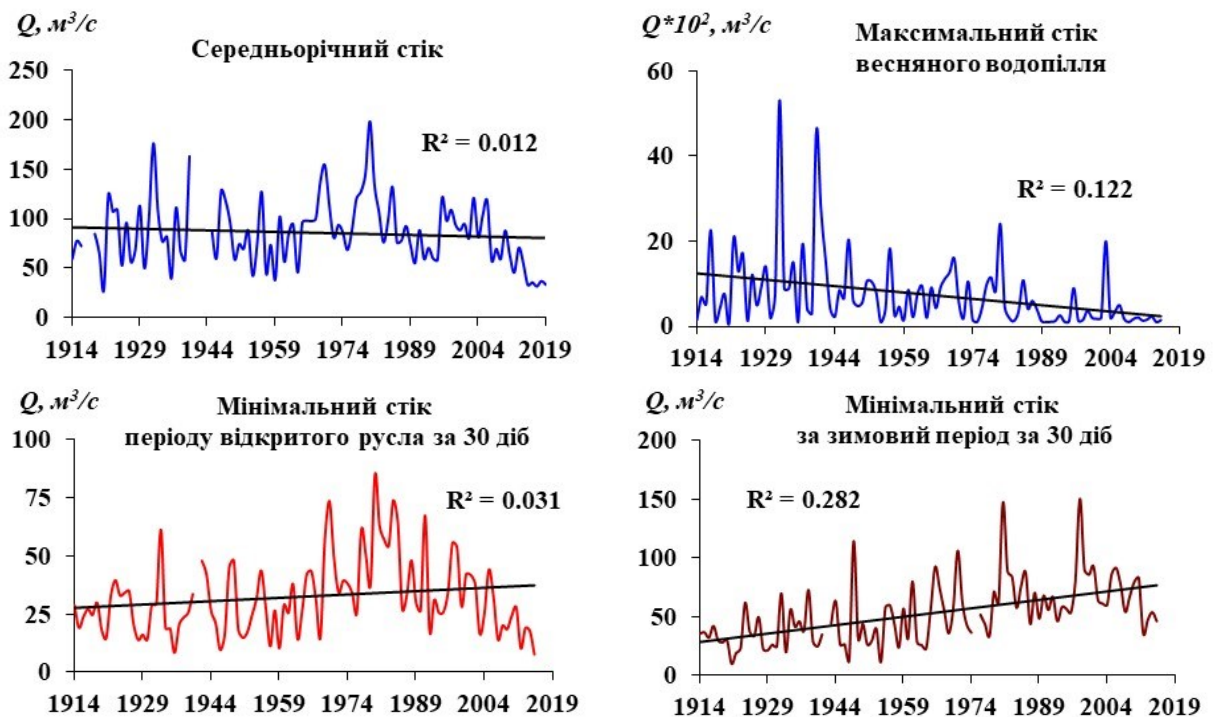


Рисунок 1.3 – Багаторічна мінливість витрат води р. Південний Буг – смт Олександрівка, за період 1914-2015 рр. (для середньорічного стоку період 1914-2019 рр.)

Такі тенденції характерні і для інших рівнинних річок України [21, 28, 29, 32, 44-46].

Внутрішньорічний розподіл р. Південний Буг характеризується виразним весняним водопіллям. У середньому за період 1914-2019 рр. до 45,8% річного стоку приходить на весну, зимою та восени стік складає 22,2% та 16,4% від річного стоку відповідно, а літку – 15,6% (рис. 1.4). Отже, весняне водопілля залишається основною багатоводною фазою водного режиму річки незважаючи на внутрішньорічний перерозподіл стоку, який відбувається останніми десятиліттями у зв'язку з кліматичними змінами.

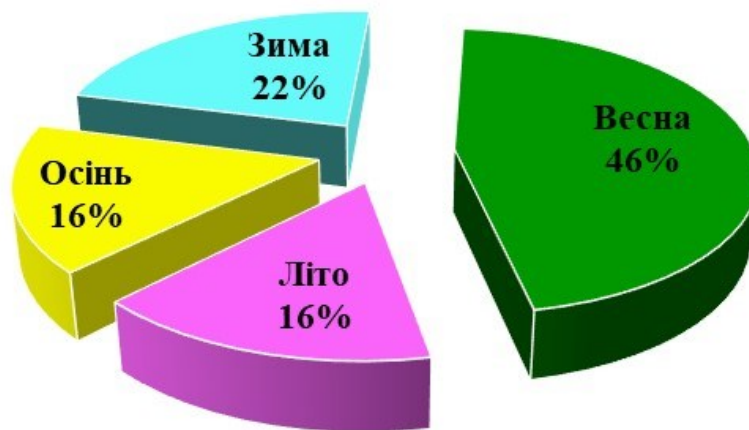


Рисунок 1.4 – Розподіл стоку за сезонами року за багаторічний період (1914-2019 рр.) на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка

Згідно сучасного внутрішньорічного районування, яке виконано у роботі [47], басейн р. Південний Буг розташовано в трьох гідрологічних районах, а саме Дністерсько-Бузькому, Бузько-Донецькому і Причорноморському (рис. 1.5). Весна у Дністерсько-Бузькому районі припадає на III-V місяці, а Бузько-Донецькому і Причорноморському районах на II-IV (рис. 1.6, табл. 1.3). Літньо-осіння межень у Дністерсько-Бузькому районі відноситься до нелімітуючого сезону, а у Бузько-Донецькому і Причорноморському районах до лімітуючого сезону.

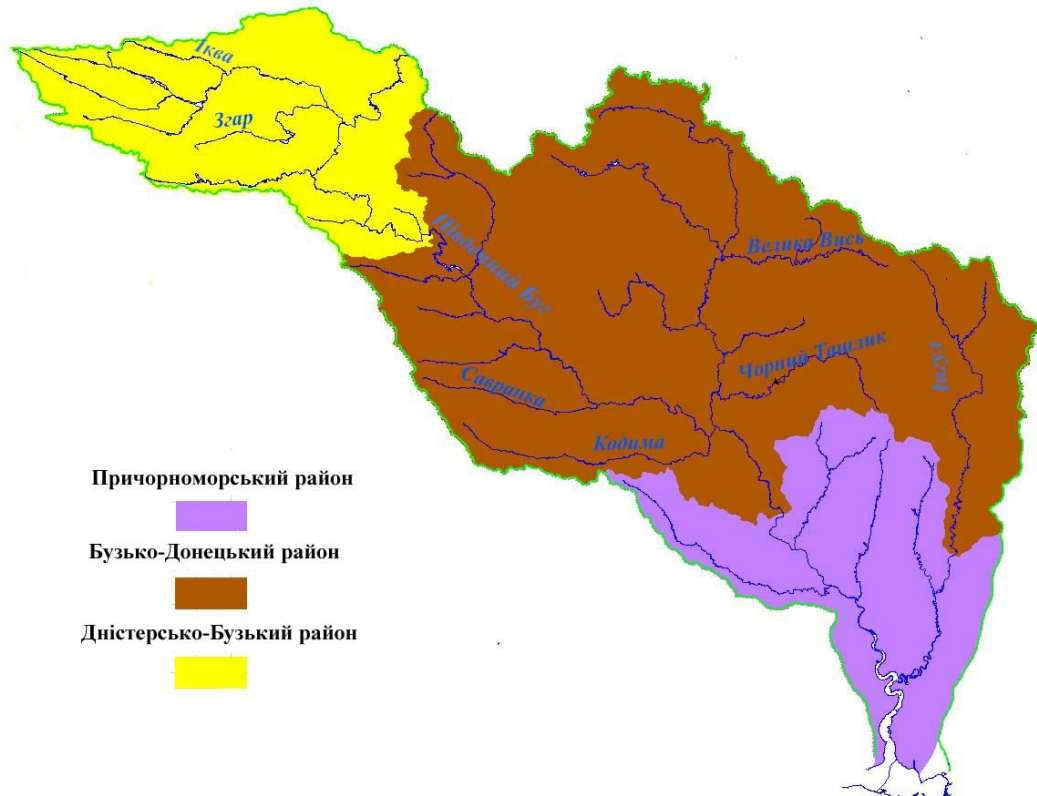


Рисунок 1.5 – Районування басейну р. Південний Буг за типами внутрішньорічного розподілу [47]

Нижня частина басейну характеризується дуже низькою водністю в літньо-осінню межень, що можна пояснити його розташуванням в степовій зоні. У верхів'ї басейну зима має найнижчі витрати води. Разом з цим, середня і нижня частини басейну характеризуються помірною водністю.



Рисунок 1.6. – Схеми поділу водогосподарського року на періоди та сезони у басейні р. Південний Буг [47]

Таблиця 1.4 – Поділ водогосподарського року на періоди та сезони внутрішньорічного розподілу стоку в басейні р. Південний Буг [47]

Район басейну	Водогосподарський рік	Нелімітуючий період	Лімітуючий період	Нелімітуючий сезон	Лімітуючий сезон
Дністерсько-Бузький	III–II	III–V	VI–II	VI–XI	XII–II
	Пори року	В (3)	Л-О-З (9)	Л-О (6)	З (3)
Бузько-Донецький	II–I	II–IV	V–I	XI–I	V–X
	Пори року	В (3)	Л-О-З (9)	З (3)	Л-О (6)
Причорноморський	II–I	II–IV	V–I	XII–I	V–XI
	Пори року	В (3)	Л-О-З (9)	З (2)	Л-О (7)

Річки в Причорноморському районі не дренують основні водоносні горизонти, це означає, що підземне живлення, майже відсутнє. Оскільки інтенсивність паводків не велика у літній період, тому вони не призводять до значного збільшення водності річок у нижній частині басейну р. Південний Буг. Літні дощі на водозборі поверхневого стоку не утворюють, окрім сильних [1, 47].

1.4. Антропогенне навантаження та зарегульованість

Басейн Південного Бугу характеризується високим рівнем господарського освоєння території і охоплює 7 областей: Хмельницьку, Вінницьку, Кропивницьку, Київську, Черкаську, Миколаївську і Одеську (табл. 1.5). В цих областях розташовано 70 адміністративних районів, з них 59 повністю і 11 частково, також 35 міст, 65 селищ та 2878 сіл. На території басейну проживають близько 4,2 млн чоловік. Басейн р. Південний Буг є одним із важливих аграрних регіонів України з високим рівнем промислового виробництва. У результаті господарської діяльності, за даними Держводгоспу України, за період 1981-1998 рр. було вилучено води понад 10 км, які є невідновленими ресурсами.

Таблиця 1.5 – Господарське навантаження в басейні Південного Бугу [3]

Область		Хмельницька	Вінницька	Київська	Черкаська	Кіровоградська	Одеська	Миколаївська	Разом
Площа в межах басейну тис.км ²		4,6	16,4	1,0	8,4	16,0	3,1	14,2	63,7
Населення, тис.чол.	Всього	411,6	1223,5	38,8	515,9	771,0	114,7	1108,1	4184
	Міського	279,6	648,3	4,9	244,4	455,4	41,0	766,8	2440,0
Кількість населених пунктів	міст	2	10	-	7	8	1	6	34
	селищ	6	16	1	9	13	3	17	65
	сіл	237	757	60	339	690	119	676	2878
Сільськогосподарські угіддя, тис.км ²		3,6	12,9	0,6	6,0	13,4	2,6	12,4	51,2
Орні землі, тис.км ²		2,8	10,8	0,5	5,2	11,4	2,0	10,2	42,9
Зрошені землі, тис.км ²		0,01	0,2	0,02	0,15	0,36	0,04	0,6	1,38
Осушені землі, тис.км ²		0,16	0,37	0,01	0,01	-	-	-	0,9
Ліси, тис.км ²		0,6	2,1	0,2	1,2	0,8	0,2	0,5	5,6
Під водою, тис.км ²		0,1	0,27	0,06	0,55	0,48	0,2	0,74	2,4
Урбанізовані землі, тис.км ²		0,1	0,55	0,02	0,29	0,51	0,1	0,52	2,17

Розвинений комплекс тваринництва та рослинництва. У басейні розвинено вирощування пшениці та інших зернових, цукрового буряку, плодове садівництво, а також вирощування олійних культур (соняшнику, ріпаку). У приміських зонах поширене культивування ягід, овочів [3, 8, 18, 48-49].

Для потреб промисловості, яка є найбільшим водокористувачем (враховуючи енергетику), в басейні р. Південний Буг використовується 80,4 млн м³ води, що складає 54,6% від загального водокористування. Такі підприємства як ВП «ЮУ АЕС», ДП «Суднобудівний завод ім. 61 комунара», Первомайська, Мигіївська ГЕС та Ташлицька ГАЕС, ВАТ «Миколаївська ТЕЦ», ТОВ «Миколаївський глиноземний завод» є найбільшими водокористувачами [48].

Спеціалізовані підприємства водопровідно-каналізаційного господарства забезпечують централізоване водопостачання та водовідведення більшої частини населених пунктів. Поверхневі води основних річок басейну р. Південний Буг забезпечують жителів м. Хмільника, м. Калинівки, м. Вінниці, м. Ладижина, м. Южноукраїнська, м. Звенігородки, смт Смоліне, м. Первомайська, смт Помічної, м. Бобринець, м. Баштанки, м. Новий Буг питною водою. Інші населені пункти споживають воду з підземних джерел. Комунальні підприємства «Вінницяоблводоканал» та «Первомайський міський водоканал» є одними з головних водокористувачів поверхневих вод [20].

Сільське господарство займає в басейні друге місце після промисловості за обсягами водокористування. Для того щоб запобігти погіршенню якості води, стану водних ресурсів, для охорони видів флори та фауни створені зони санітарної охорони у місцях розміщення водозаборів, одні з таких: національний природний парк «Бузький Гард»; регіональні ландшафтні парки «Гранітно-степове Побужжя» та «Приінгульський» [18, 48].

На території басейну працюють 129 очисних споруд каналізації, які морально і фізично застаріли, оскільки більшість з них побудовано в 70-80 роки ХХ ст. за проектами 60-х років. Кількість водокористувачів в басейні річки, які скидають недостатньо очищені води становить 43. Потужність очисних споруд каналізації біологічного та механічного типу очищення складає 201,6 млн м³/рік. Підприємство ВП «Южно-Українська АЕС» (сюди ж належать Олександрівська ГЕС та Ташлицька ГАЕС) є основними, що здійснюють скиди нормативно чистих зворотних вод, обсяг яких складає 42% від загального скиду по Миколаївській області. Комунальні підприємства м. Первомайськ, смт Ольшанське Миколаївського району, м. Баштанка, м. Миколаїв здійснюють скиди з перевищенням нормативів. Загалом, показники надходження забруднених стічних вод у басейні є низькими (<1-6%). Разом з цим, вище норми і дуже високий показник забрудненості

спостерігається біля м. Южноукраїнськ і с. Сливове (р. Південний Буг) та м. Миколаїв (р. Інгул) [3, 5, 7, 8, 48].

Поверхневі та підземні води є основним джерелом водопостачання басейну р. Південний Буг. У середній за водністю рік сумарні ресурси поверхневого стоку складають – 3600 млн м³, а у маловодний – 1500 млн м³. У басейні р. Південний Буг розташовано 186 водосховищ. Відомості про основні з них наведено в таблиці 1.6 та рис. 1.7. Основна кількість водосховищ була побудована для отримання електроенергії на ГЕС в 50-х роках. На сьогодні більша частина станцій припинила свою роботу [5, 8, 18].

Рівень підземних вод питної якості складає 208 млн м³/рік, натомість прогнозних становить 609 млн м³/рік. Так, у 2018 році використано підземних вод 50,69 млн м³/рік. Отже, басейн річки Південний Буг має потенціал для розвитку питного водопостачання [20].

Таблиця 1.6 – Водосховища в басейні р. Південний Буг [18]

Область	Кількість водосховищ та їхні параметри				На балансі водогосподарських організацій	
	кількість, шт.	площа, га	об'єм, млн м ³		кількість, шт.	площа, га
			повний	корисний		
1	2	3	4	5	6	7
Хмельницька	24	5241	82,5	62,2	–	–
Вінницька	42	8604	269,0	117,0	4	3305
Київська	3	513	7,5	6,4	2	379
Кропивницька	63	6554	177,7	144,8	2	181
Миколаївська	27	4850	276,1	147,0	5	1348
Одеська	4	669	11,0	8,2	1	172
Черкаська	23	3521	69,4	56,4	–	–
Разом	186	29952	893,2	542,0	14	5385

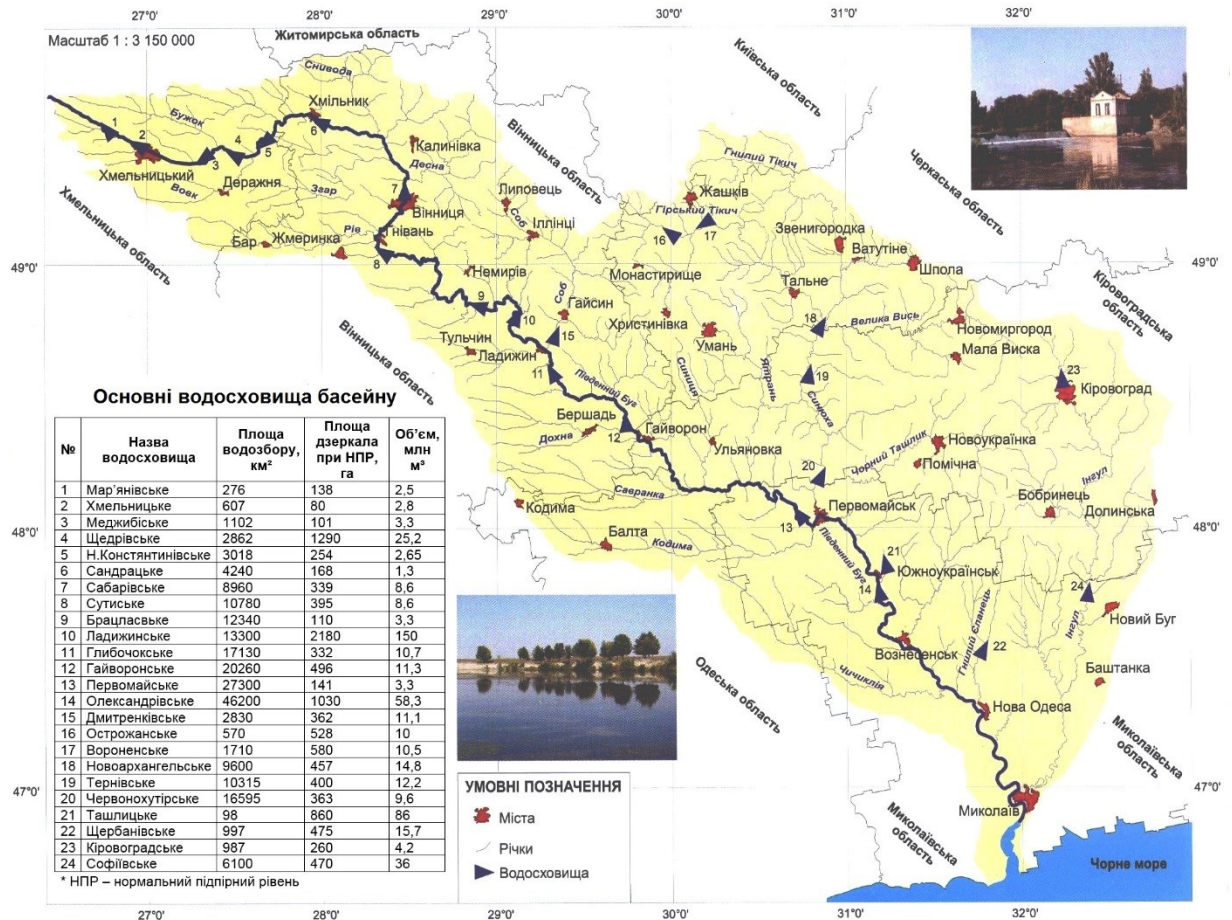


Рисунок 1.7 – Основні водосховища в басейні р. Південний Буг [8]

Басейн Південного Бугу займає 22% території *Хмельницької області*, яка має площу – 20,6 тис. км². На територію басейну припадає 81% водосховищ області, а саме 24 водосховища, площа яких – 5241 га, повний об'єм – 82,5 млн м³, корисний – 62,2 млн м³. У цій частині басейну розташоване одне водосховище, яке має об'єм понад 10 млн м³. Це є Щедрівське водосховище з площею водної поверхні – 1331 га, повним об'ємом – 25,2 млн м³ (корисний – 11,5 млн м³). Розташовано це водосховище в Летичівському районі на р. Південний Буг [18].

Ставоків на території *Хмельницької області* в басейні р. Південний Буг нараховується 976. Їхня площа складає 8271 га, об'єм – 70,4 млн м³. Ставки і водосховища використовують для рибного господарства, рекреаційних цілей, для водопостачання цукрових заводів, промислових підприємств. Площі

водного дзеркала і об'єми зменшилися через замулення і заростання водною рослинністю [7, 18].

Площа басейну Південного Бугу в межах *Вінницької області* складає 62% її території. Тут знаходиться 42 водосховища, які займають площу 8604 га, повний об'єм – 269,0 млн м³ (корисний – 117,0 млн м³). Дані про наявність водосховищ об'ємом понад 10 млн м³ на території Вінницької області наведено в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Наявність водосховищ об'ємом понад 10 млн м³ на території Вінницької області [18]

Назва водосховища, річки (басейну)	Місцезнаходження (населений пункт, район)	Площа водної поверхні, га	Об'єм, млн м ³	
			повний	корисний
Ладизинське, р. Південний Буг	м. Ладизин, Тростянецький	2187	150,0	39,0
Глибочанське, р. Південний Буг	с. Глибочок, Тростянецький	338	10,7	4,2
Дмитренківське, р. Соб	с. Дмитренки, Гайсинський	385	11,1	7,1

Водосховища використовуються для потреб енергетики, водопостачання, риборозведення, культурно-побутових цілей. Ладизинське водосховище найбільше в області, яке створене у 1964 році. В цьому ж році середня річна витрата води зменшилась на 4 м³/с внаслідок заповнення водосховища [5, 7]. Об'єкт має комплексне призначення, слугує для охолодження Ладизинської ТЕС і для роботи ГЕС. Також, водосховище може здійснювати деякі регулювання сезонного стоку його накопиченням або ж спрацюванням. Його довжина становить 45 км, максимальна ширина – 1,3 км, площа – 20,8 км², пересічна глибина – 7,2 м, максимальна глибина (біля греблі) – 17,8 м [5]. Водосховище має такі характеристики, при підпорі 177,0 м: повний об'єм – 150,8 млн м³, корисний – 39,0 млн м³. Мінералізація води – 460-710 мг/л [19].

Басейн Південного Бугу займає 45% у межах *Черкаської області*. В області протікають такі річки як Велика Вись (80 км), Гнилий Тікич (115 км), Гірський Тікич (161 км), Ятрань (68 км). В області працює 38 водосховищ з повним об'ємом 118,6 млн м³. Однак, лише Воронянське водосховище має об'єм понад 10 млн м³, яке розташоване на р. Гірський Тікич. З малих річок, в басейні Південного Бугу, забезпечується водою зрошувальні землі площею 11,5 тис. га. У межах Черкаської області на річках басейну Південного Бугу розташовано 2183 ставків, об'ємом – 167,2 млн м³ [18].

Басейну Південного Бугу належить тільки 3% території *Київської області*. На цій території протікає Гнилий Тікич (40 км) і Гірський Тікич (14 км). На р. Гнилий Тікич розташовано 3 водосховища площею – 513 га і повним об'ємом – 7,53 млн м³, на р. Гірський Тікич нараховується 16 ставків, площа яких складає 333 га з об'ємом 3,1 млн м³ [7, 18, 20].

Площа *Кіровоградської області* складає 24,6 тис. км². На басейн Південного Бугу припадає 63% її території. У межах області на р. Південний Буг приходиться лише 84 км з 806 км загальної довжини річки. Однак, в області протікають такі її притоки як Інгул (175 км) та Синюха (90 км) з притоками Велика Вись (169 км), Ятрань (50 км), Чорний Ташлик (96 км). Дані про наявність водосховищ об'ємом понад 10 млн м³ у межах Кіровоградської обл., що розташовані у басейні Південного Бугу наведено у таблиці 1.8.

Басейн річки Південний Буг займає 59,5% території *Миколаївської області*. Гідрографічна мережа Миколаївської області включає річку Південний Буг (257 км у межах області), її притоки Кодима (59 км), Синюха (24 км), Чорний Ташлик (41 км), Чичиклія (86 км), Інгул (179 км). В області розташовано 27 водосховищ з площею 4850 га, з повним об'ємом 276,1 млн м³, з яких 4 водосховища мають об'єм понад 10 млн м³ (табл. 1.8). Переважна більшість водосховищ має комплексне призначення. В межах басейну річки в

області нараховується 792 ставки, загальною площею 5380 га і загальним об'ємом 53,6 млн м³.

Таблиця 1.8 – Водосховища об'ємом понад 10 млн. м³ на території Кіровоградської та Миколаївської областей [18]

Назва водосховища, річки	Місцезнаходження (населений пункт, район)	Площа водної поверхні, га	Об'єм, млн м³	
			повний	корисний
Кіровоградська область				
Гайворонське, р. Південний Буг	м. Гайворон, Гайворонський	496	11,3	9,3
Новоархангельське, р. Синюха	смт Новоархангельськ, Новоархангельський	457	14,8	11,1
Тернівське, р. Синюха	с. Тернівка, Новоархангельський	400	12,2	10,0
Іскрівське, р. Інгулець	с. Іскрівка, Петрівський	1110	40,7	31,0
Миколаївська область				
Олександрівське, р. Південний Буг	с. Олександрівка, Вознесенський	1104	72,1	20,9
Ташлицьке (охолоджувач), балка Ташлик	м. Южноукраїнськ, Арбузинський	860	86,0	34,6
Щербанівське, р. Гнилий Єланець	с. Щербані, Вознесенський	475	15,7	12,0
Софіївське, р. Інгул	с. Софіївка, Новобузький	470	36,0	31,0

Найбільшими водосховищами в області є Олександрівське на р. Південний Буг (Олександрівська ГЕС) з повним об'ємом 72,1 млн. м³ та Ташлицьке (побудоване в балці Ташлик) з повним об'ємом 86,0 млн. м³. Ці водосховища входять до складу Південно-Українського енергокомплексу [18].

У межах Одеської області розташовано 4 водосховища, площа яких складає 669 га і об'єм 11 млн м³, а також 157 ставків з площею – 930 га і

ІНАОб'ємом 16,5 млн м³. На територію басейну Південного Бугу припадає тільки 8% площі одеської області. В області протікають річки Кодима (90 км) і Чичиклія (43 км) [3, 5, 7, 18].

Незважаючи на наявність значної кількості діючих штучних водойм, в деяких частинах басейну відчувається нестача води для забезпечення потреб населення та галузей економіки. Отже, в басейні ще за часів Радянського Союзу було побудовано ряд каналів та водоводів для міжбасейнового перекидання стоку. Перекидання води в басейн здійснюється з річок басейну р. Дніпро [1, 3].

У роботах [10, 22, 27-28, 32, 37-43] показано, що незважаючи на значну зарегульованість річок басейну Південного Бугу водний стік річок не зазнав суттєвих змін. Це пояснюється тим, що побудовані водосховища є переважно руслового типу і здійснюють сезонне регулювання.

1.5 Висновки до розділу 1

1. Фізико-географічні умови басейну р. Південний Буг безпосередньо визначають умови формування його водного стоку. Так, басейн річки розташовано в трьох природних зонах: лісовій, лісостеповій і степовій. Як наслідок, формування водного стоку відбувається у верхній та середній частинах басейну. Нижня частина, що розташовано у степовій зоні суттєво не впливає на величину водного стоку р. Південний Буг.
2. У цілому для басейну Південного Бугу характерним є помірно-континентальний клімат. У нижній частині басейну клімат сухий. Значна протяжність басейну з північного заходу на південний схід викликає помітні відмінності у розподілі температур повітря та атмосферних опадів у різних його частинах.
3. У басейні найбільших змін зазнали температури повітря зимового періоду року, які мають тенденцію до підвищення, середні значення кількості опадів холодного і теплого періодів та за рік знаходяться в межах норми,

так саме, як і величини максимальних снігозапасів на початок весняного водопілля. Разом з цим, в останні десятиліття спостерігається відсутність стійкого снігового покриву та суттєве зменшення глибин промерзання ґрунтів. Кліматичні чинники умов формування весняного водопілля характеризуються циклічними коливаннями.

4. Показано, що у минулому водний стік р. Південний Буг мав суттєву мінливість, яка залежала від метеорологічних умов кожного року. За період інструментальних спостережень 1932 р. був самим багатоводним, 1921 р. – самим маловодним. Сучасні тенденції водного стоку р. Південний Буг показують, що починаючи з 80-х років XX сторіччя відбувається зменшення максимального стоку весняного водопілля та збільшення мінімального стоку літньо-осінньої межені, що призводить до внутрішньорічного перерозподілу стоку. Отже, середній багаторічний стік річок басейну Південного Бугу не змінюється. Такі тенденції характерні і для інших рівнинних річок України.
5. Весняне водопілля є основною фазою водного режиму р. Південний Буг. У середньому за період 1914-2019 рр. весною формується до 45,8% річного стоку, зимою – 22,2% та влітку і восени по 16%. Отже, незважаючи на внутрішньорічний перерозподіл стоку, який відбувається останніми десятиліттями у зв'язку з кліматичними змінами, весняне водопілля залишається основною багатоводною фазою водного режиму річки.
6. У басейні Південного Бугу надзвичайно високе антропогенне навантаження. Вода річки широко використовується для гідроенергетики, промислового та комунального водопостачання, сільського господарства, зрошення, судноплавства, туризму тощо. У басейні річки розташовано 186 водосховищ. Разом з цим, водний стік річок має природні тенденції, оскільки водосховища переважно руслового типу і здійснюють сезонне регулювання.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

2.1 Основні методи та результати

Дослідження максимального стоку весняного водопілля річок має важливе наукове і практичне значення. Знання щодо умов формування екстремальних значень максимального стоку води, частоти їхньої появи, багаторічних тенденцій тощо є одними із найголовніших у практиці гідрологічних розрахунків. Недостатньо надійні розрахунки, прогнозування максимального стоку весняного водопілля річок можуть не тільки привести до матеріальних втрат у результаті руйнування гідротехнічних споруд, але й спричинити несподівані катастрофічні наслідки для населених пунктів, які можуть призводити і до людських жертв. У світі такі явища наносять значні матеріальні збитки, які складають мільярди доларів [10, 27, 50-55]. Зазначимо, що за прогнозами багатьох вчених небезпечні водопілля та паводки стануть більш звичайним явищем у майбутньому, у теплішому кліматі [56-60]. Отже, відомості щодо тенденцій і характеристик максимального стоку річок є дуже важливими для будь якої території, в першу чергу, з метою інформування відповідних органів управління та запобігання негативних наслідків.

Дослідження водного стоку річки Південний Буг мають досить довгу історію. Так, згадки про річку можна знайти у греків, де вона мала назву Гіпаніс (Іпаніс), у творах Геродота (найбільш значних річок Скіфії), Старбона, Плінія Старшого, Арріана Флавія. Османи називали її Ак-су, а слов'яни Богом. Геродот визначив довжину річки, як дев'ять днів плавання вниз по річці.

Інженер і військовий картограф французького походження Гійом Левассер де Боплан позначив річку, як Бог Руський. Однак, гідрологічні спостереження на річці Південний Буг розпочалися пізніше ніж на річці Дніпро [61-63].

Перші гідрометричні спостереження на річці Південний Буг було розпочато наприкінці 19 століття. У роботі Манукало В.О. [64] зазначено, що у 1898 р. біля сіл Новогригоріївка, Ракова, Кантакузіно та Олександрівка було виміряно витрати води. Однак, тільки з 1910 року розпочинаються систематичні гідрометричні спостереження на річці. У цей час відкрито гідрологічні пости на Південному Бузі біля населених пунктів Вінниця та Хашувата, на річках Рів біля с. Демідівки, Згар біля с. Мізяків, Гірський Тікич біля с. Тальне [64, 65].

У середині 20-х років 20 століття інженерами В. Філатовим і В. Поповим вперше виконано узагальнення матеріалів гідрологічних спостережень на р. Південний Буг [66]. Зазначимо, що перші наукові дослідження були викликані інтересом щодо можливого використання річки Південний Буг для виробітку електроенергії [64]. Як зазначено у розділі 1, п. 1.4, у подальшому в басейні р. Південний Буг було побудовано чимала кількість малих та середніх гідроелектростанцій. Деякі з них працюють до цього часу.

Багато наукових праць присвячено дослідженню максимального стоку весняного водопілля річок України і їхніх розрахункових характеристик, зокрема, і басейну річки Південний Буг. Упродовж 20 століття було виконано ґрунтовні дослідження такими вченими як Є.В. Оппоков [65], А.В. Огієвський [63], В.О. Назаров [67, 68], В.І. Мокляк [69], Г.І. Швець [33], А.Н. Бефані [70], Я.А. Фоменко [71] та ін. У цих дослідженнях обґрунтовано основні чинники формування весняного водопілля, розроблено методи та методики розрахунків, прогнозування, узагальнення, районування максимального стоку, тощо. Зазначимо, що наприкінці 60-х років XX століття вийшла з друку фундаментальна монографія «Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия» [1]. У томі 6, Вип. 1 увійшли відомості щодо басейну р. Південний

Буг. У цій праці виконано ґрунтовне узагальнення та статистичний аналіз даних спостережень, зокрема, і для максимального стоку води весняного водопілля річок. На той час у Ресурсах емпірична ймовірність розраховувалась за формулою Н.Н. Чегодаєва. Зазначимо, що за цією формулою відбувається завищення забезпеченостей найбільших витрат води та заниження низьких витрат води у порівнянні з формулою С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля. Статистичні параметри кривих забезпеченостей визначались виключно за графоаналітичним методом Г.А. Алексєєва для біноміального закону розподілу [72]. У розрахунках для визначення максимальної витрати води весняного водопілля певної забезпеченості за відсутності гідрометричних спостережень використовувались редуційна формула та регіональна формула граничної інтенсивності стоку В.І. Мокляка. Незважаючи на тривалий час, який пройшов з моменту опублікування Ресурсів багато науковців, інженерів гідрологів, проектувальників і досі користуються відомостями цієї праці, оскільки за весь цей період більш ґрунтовної та узагальнюючої праці так і не було створено. У подальшому, коли у 1983 році увійшов у дію нормативний документ «Определение расчетных гидрологических характеристик СНиП 2.01.14-83» та у 1984 році було опубліковано Посібник до нього [73, 74], відбулося оновлення методичних підходів щодо розрахунків максимального стоку весняного водопілля як при наявності, так і за відсутності гідрометричних спостережень. Так, емпірична ймовірність розраховується за формулою С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля, основними ймовірнісними розподілами є трипараметричний гама-розподіл (розподіл С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля) та розподіл Пірсона III типу (біноміальний розподіл), редуційна формула стає основною, а при належному обґрунтуванні допускається використання інших формул. Оновлення статистичних розрахунків та побудова картографічного матеріалу виконано за даними спостережень по 1975 р.

У нашій роботі [38] зазначено, що, на превеликий жаль, в Україні, оновлення нормативного документа, який регламентує визначення розрахункових гідрологічних характеристик не відбулося. Отже, сьогодні чинним нормативним документом є СНиП 2.01.14-83, який було розроблено ще за часів Радянського Союзу. У науковому середовищі ведуться дискусії щодо оновлення нормативного документа. Фахівці Одеського державного екологічного університету пропонують методичні розробки щодо визначення максимальних витрат води за відсутності гідрометричних спостережень на основі єдиного структурного рівняння. Таке рівняння може застосовуватися для розрахунку максимальних витрат води незалежно від їхнього генезису, тобто весняної повені або дощових паводків для всього діапазону водозбірних площ (від окремих схилів до великих розгалужених річкових систем). Також пропонуються приклади визначення характеристик річного стоку в природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах на базі метеорологічних даних, а також норм підземного живлення за відсутності даних спостережень. Розробниками цих підходів є А.Н. Бефані [70], Є.Д. Гопченко [53, 75, 76, 80, 81], Н.С. Лобода [77, 78], В.А. Овчарук [27, 53, 75, 79-83], Ж.Р. Шакірзанова [22, 80, 83] та їхні учні.

Фахівці Українського гідрометеорологічного інституту, враховуючи методичні рекомендації ВМО, а також власні розробки пропонують використати у нормативному документі гідролого-генетичний аналіз рядів спостережень [50, 84]. Як зазначено у нашій праці [38] при застосуванні нових формул, методики для розрахунку максимальних ймовірних витрат води необхідно проводити аналіз їхніх переваг та недоліків щодо діючих підходів, а саме точності розрахунків, простоти структури; кількості параметрів та можливості їхнього легкого та швидкого визначення, витрати часу на один розрахунок та його вартості, тощо. Перш за все, для такого порівняння необхідно оновити параметри редукційної формули (рекомендується

нормативним документом) та допоміжний картографічний матеріал за сучасними даними.

Останнє ґрунтовне оновлення параметрів редукційної формули для всіх річок України було виконано у роботі Я.А. Фоменко [71]. Однак, з того часу ряди спостережень значно подовжились, що, без сумніву, призвело до змін у параметрах. Зазначимо також, що у роботі Я.А. Фоменко оновлення було виконано не для всіх параметрів. У наших роботах [38, 85] для басейну р. Південний Буг було виконано оновлення таких параметрів редукційної формули як μ , n та b за сучасними даними. Отримані нами результати більш детально представлено у розділі 4.

Сучасні дослідження максимального стоку весняного водопілля р. Південний Буг присвячено виявленню його багаторічних тенденцій, коливань, визначенню статистичних характеристик, коротко- та довгостроковому прогнозуванню, районуванню, тощо.

У роботі Гребеня В.В. [21] виконано дослідження багаторічних тенденцій водного стоку річок України, визначено та обґрунтовано часові межі періоду зміненого гідрологічного режиму річок під впливом кліматичних змін (підвищення температури повітря). Басейн р. Південний Буг за ландшафтно-гідрологічним районуванням віднесено до *Дністровсько-Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції (ЛГП)* (верхня та середня течія Південного Бугу) та *Нижньобузько-Дніпровської ЛГП* (нижня течія – від впадіння р. Савранки). Показано, що зміни характеристик максимального стоку весняного водопілля розпочалися з 1989 р. Так, впродовж останніх десятиліть суттєво змінилися характеристики весняного водопілля. Спостерігається зміщення весняних максимумів на більш ранні терміни та відбулось суттєвого зменшення величин максимальних витрат весняного водопілля в межах рівнинної частини території України. Зазначимо, що робота Гребеня В.В. є узагальнюючою для всієї території України.

Горбачовою Л.О. у роботі [72] показано, що максимальні витрати води весняного водопілля 1% забезпеченості, які отримано на основі розрахунків з початку спостережень по 2008 р. включно для рівнинних річок України, зокрема, і для р. Південний Буг зменшилися в середньому в 1,3 рази у порівняльні з даними, що наводяться в монографіях «Ресурсы поверхностных вод». Статистичні параметри також зазнали змін (розрахунки виконано згідно СНиП 2.01.14-83). Так, середні багаторічні значення максимальних витрат води весняного водопілля зменшились в середньому в 1,5 рази, коефіцієнти варіації майже не змінилися, разом з цим, як коефіцієнти асиметрії для деяких річок зросли майже вдвічі. Такі зміни, пояснюються тим, що на момент розрахунків, які було виконано у монографіях у рядах спостережень максимального стоку весняного водопілля річок була відсутня маловодна фаза довготривалих циклічних коливань. Для всіх рівнинних річок України у період 1967-1970 рр. відбувся перехід від багато- до маловодної фази гідрологічного циклу. Ряди спостережень не мають повного циклу довготривалих циклічних коливань і були віднесені до квазістаціонарних.

Робота Гопченко Є.Д., Станкевич А.А. [76] присвячена дослідженню максимального стоку весняного водопілля саме в басейні р. Південний Буг. Для нормування розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг була використана структура, яка спирається на теорію руслових ізохрон і, яка реалізована Є.Д.Гопченком у вигляді операторної структури «схилловий приплив – русловий стік». Отримано розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля та показано, що розрахункові шари стоку змінюються по території басейну р. Південний Буг від 60 до 160 мм в напрямку з південного сходу на північний захід і представлено картою ізоліній. Зазначимо, що дана карта побудована на паперовому носії. Статистична обробка виконувалась за рекомендаціями СНиП 2.01.14-83. Розрахунки виконано для 28 гідрологічних постів за період з початку спостережень по 2000 р. включно. Зазначається, що

запропонована методика розрахунку за операторною структурою надає цілком задовільні результати, оскільки розрахункові значення мають похибки у межах точності вихідної інформації.

У роботі Горбачової Л.О. [50] виконано дослідження просторово-часової мінливості максимального стоку води весняного водопілля та визначено їхні статистичні характеристики для річок України на основі гідролого-генетичного аналізу. Для басейну р. Південний Буг використано 22 гідрологічних поста для дослідження мінливості стоку і 15 постів – для визначення статистичних характеристик за даними від початку спостережень по 2010 р. включно. Показано, що ряди спостережень максимальних витрат води весняного водопілля можна віднести до квазіоднорідних та квазістаціонарних, що пояснюється наявністю в рядах тільки багатоводної і маловодної фаз циклічних коливань, їхньою значною тривалістю, а також істотною мінливістю максимального стоку води. Квазіоднорідність і квазістаціонарність спостережень має тимчасовий характер і виникає тільки при суміщеному аналізі різних фаз водності (багато- і маловодної). Зменшення максимальних витрат води весняного водопілля обумовлюються спадаючою фазою циклічних коливань максимальних запасів води в снігу та сумою від’ємних температур повітря за зимовий період починаючи з 70-х років ХХ століття. Просторово-часові коливання максимального стоку води весняного водопілля характеризуються синхронністю та синфазністю. Виконано просторовий розподіл середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля, а також його коефіцієнту варіації з застосуванням принципу неперекривання водозборів річок у ГІС MapInfo. Статистична обробка виконувалась за рекомендаціями СНиП 2.01.14-83.

Грунтовна робота з дослідження максимального стоку весняного водопілля річок України було виконано Овчарук В.А. [27]. У роботі розглянуто катастрофічні водопілля, фактори їхнього формування, методи і методики, які застосовуються у світі та в Україні, досліджено просторово-

часові закономірності, визначено статистичні характеристики при наявності та відсутності даних спостережень, використано операторну модель формування максимального стоку весняного водопілля, виконано районування рівнинної території України за синхронністю коливань характеристик максимального стоку весняного водопілля, побудовано карти просторового розподілу характеристик, розроблено та верифіковано методику для визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля в умовах змін клімату. Для р. Південний Буг у дослідженні використано 28 гідрологічних постів за даними від початку спостережень по 2010 р. Досліджено багаторічні коливання максимальних витрат і шарів стоку весняного водопілля, показана їхня циклічність, наявність статистично значущих трендів, певна кількість неоднорідних рядів, синхронність, тощо. Доведено, що висновки про наявність трендів у рядах не можуть бути остаточними і повинні уточнюватись з накопиченням нових даних спостережень. За синхронністю коливань максимального стоку весняного водопілля, яке було виконано за кластерним аналізом, басейн р. Південний Буг віднесено до двох районів. До району I (західний район) увійшло верхів'я Південного Бугу. Відповідно, до району II (східний район) – середня та нижня частини басейну. Показано, що в басейні р. Південний Буг величини стоку під час весняного водопілля у майбутньому можуть суттєво змінитись (прогнозується зменшення максимальних витрат води до 40%, а у нижній частині – до 60%). Зазначено, що за сценарієм RCP 4.5 в динаміці клімату спостерігається певна циклічність.

У роботі Горбачової та Христюка [40] для басейну р. Південний Буг визначено статистичні характеристики максимальних витрат води весняного водопілля та виконано оновлення параметрів редуційної формули, а також параметрів формули граничної інтенсивності стоку В.І. Мокляка. Використано дані спостережень 21 гідрологічного поста за період від початку спостережень по 2010 р. Короткі ряди спостережень було подовжено на основі застосування методу парної регресії по даним річок-аналогів. Показано, що

для басейну р. Південний Буг визначені сучасні параметри редукційної формули μ , n та b суттєво відрізняються від рекомендованих чинним нормативним документом [73].

Географічне узагальнення шарів та модулів максимального стоку весняного водопілля для басейну р. Південний Буг виконано у роботі Бурлуцької М.Е. та Мартинюка М.О. [86]. Для дослідження використано дані спостережень 21 гідрологічного поста за період від початку спостережень по 2010 р. Для статистичної обробки використовувалась програма StokStat. Географічне узагальнення 1% шарів та модулів максимального стоку весняного водопілля виконано шляхом побудови ізоліній та визначено середню похибку карти згідно СНиП 2.01.14-83.

Багаторічна мінливість максимального стоку річок України розглянуто у роботі Лук'янець О.І. та Москаленко С.О. [46]. Дослідження виконано за даними від початку спостережень по 2015 р. Результати для басейну р. Південний Буг узагальнено з ув'язкою для всіх інших річок України.

Зазначимо, що є і інші роботи [22, 51, 88-90], які мають узагальнюючий характер для рівнинної території України або для території України в цілому, або для європейської частини Євразії, і, у яких показано тенденції максимального стоку весняного водопілля, зокрема, і для басейну р. Південний Буг.

Останні дослідження за сучасними даними щодо максимального стоку весняного водопілля саме у басейні р. Південний Буг виконано у роботах Докус А.О. [28, 66, 80, 87, 87], а також у наших роботах [10, 35, 37-39, 85, 91, 92]. Зазначимо, що дослідження Докус А.О., загалом, присвячено розробленню довгострокового прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. Отже, відповідно до цієї мети виконувались і дослідження. У роботі на основі гідрологічного районування за умовами формування весняного водопілля з використанням факторного та кластерного аналізів виділено два гідрологічних райони: І – від витoku до

гідрологічного поста р. Південний Буг – с. Тростянчик, II – нижче за течією від с. Тростянчик. Окрім досліджень кліматичних чинників, про які ми вже писали у розділі 1, пп. 1.2 виконано статистичну обробку даних за період від початку спостережень по 2015 р. включно. Для невивчених у гідрологічному відношенні річок басейну використовувалась операторна модель нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля. Розглянуто вплив кліматичних змін на формування весняного водопілля у басейні. Створено та верифіковано методику довгострокового прогнозування характеристик весняного водопілля.

Більш детально результати наших досліджень, які спрямовано на вивчення особливостей максимального стоку весняного водопілля та отриманню їхніх розрахункових характеристик наведено в розділах 3 і 4.

Аналіз методологічних підходів та методів, які найчастіше застосовуються для дослідження тенденцій та розрахунків максимального стоку весняного водопілля у басейні р. Південний Буг показує, що найчастіше використовуються підходи нормативного документа СНиП 2.01.14-83 [73, 74]. Разом з тим, у закордонних публікаціях використовуються підходи, що запропоновано Керівництвом з гідрологічної практики ВМО [93]. Зазначимо, що національний нормативний документ України потребує оновлення, а документ ВМО, хоча, і об'єднує найбільш вагомні наукові підходи у світі, але, все ж таки, не в змозі охопити всю різноманітність нових методологічних розробок. Отже, у наших дослідженнях застосовано підходи цих двох нормативних документів, а також розробки, які набули широкого використання у світі, але з тих чи інших причин не використовувались в Україні. Окрім того, використовувались нові підходи, які останнім часом розвиваються у дослідженнях як закордонних, так і вітчизняних вчених. Більш детально методологічні підходи нашого дослідження наведено у наступному пункті.

2.2 Алгоритм та методи досліджень

Відповідно до аналізу досліджень, методичних підходів і методів щодо максимального стоку весняного водопілля, який було виконано у попередньому пункті, а також мети і завдань цієї роботи у табл. 2.1 наведено алгоритм дослідження.

Таблиця 2.1 – Алгоритм дослідження

ЗАВДАННЯ	МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ
<i>Просторово-часові закономірності максимального стоку весняного водопілля</i>	
Оцінювання однорідності і стаціонарності рядів спостережень	Сумарна крива, інтегральна крива відхилень, суміщені графіки
Дослідження циклічних і періодичних коливань водного стоку	Інтегральна крива відхилень, суміщені графіки, метод α
Класифікація гідрографів весняного водопілля р. Південний Буг	Фасетний метод
Аналіз змін максимального стоку	Метод Indicators of Hydrologic Alteration (США)
<i>Оновлення параметрів редуційної формули для розрахунків максимального стоку води весняного водопілля</i>	
Розрахунок характеристик максимального стоку весняного водопілля різної ймовірності перевищення	Методи математичної статистики та теорії ймовірності, Grapher
Визначення параметрів редуційної формули	Метод кореляції
Побудова карт просторового розподілу ймовірнісних характеристик	Географічна інформаційна система MapInfo, принцип неперекривання водозборів річок, інтерполяційна поверхня TIN

Концептуально виконані в роботі дослідження спираються на методологічно-прикладні розробки, які обґрунтовано і розроблено науковим керівником роботи д-р геогр. наук, старш. наук. співроб. Л.О. Горбачової [32, 40-43, 50, 84, 94-96], а також канд. геогр. наук Б.Ф. Христюка [40, 95-97].

Окрім цього, у роботі використано нароби і інших вчених, посилання на роботи яких наведено у відповідних розділах дисертації за їх змістом.

Оцінювання однорідності та стаціонарності рядів спостережень є початковим, але не менш важливим етапом дослідження. Від його результатів залежить розуміння процесів та умов формування водного стоку річок як у часі, так і просторі, а також і вибір подальших методів дослідження. Зараз такі дослідження дуже актуальні, оскільки різні вчені довели, що глобальні та регіональні зміни клімату впливають не тільки на кількісні показники водних ресурсів країн, але й спричиняють порушення однорідності та стаціонарні процеси формування річкового стоку [14, 21, 22, 27-31, 43, 45, 51, 75, 78, 96, 98-100].

У світі широко використовуються два методичних підходи для виявлення змін у гідрологічних рядах спостережень: детермінований та статистичний. Кожен з них відображає уявлення про механізми формування водного стоку річок. Так, статистичний підхід, заснований на використанні методів математичної статистики і обумовлюється уявленнями щодо багатфакторності умов формування водного стоку. Статистичні методи надають лише кількісне оцінювання параметрів, рангів, на основі яких і робляться подальші висновки у дослідженні. Аналіз гідрологічних рядів на основі детермінованих (генетичних) підходів, дозволяє вивчати закономірності умов формування водного стоку і, відповідно, їхні зміни у часі та просторі. Детермінований підхід використовує переважно графічні методи, які в основному включають різні кореляційні графіки, гістограми, сумарну криву, подвійну сумарну криву, інтегральну криву відхилень, хронологічні графіки, тощо [50, 93, 94, 84, 101-104].

Вагомий вклад щодо застосування статистичних критеріїв для оцінювання однорідності і стаціонарності рядів спостережень внесли такі вчені як Госсет В. (Стьюдент) [105], Фішер Р. [93, 106], Андерсон [107], Спірмен Ч. [108, 109], Ельдертон В. [110], Террі М. [111], Вальд-Вульфовітц

[109], Граббс Ф. [112], Манн Г., Кендалл М., Уїтні Д. [93, 113, 114], Вілкоксон Ф. [115], Колмогоров А., Смірнов Н. [116- 118] та ін.

Розвитком методичних підходів, які засновано на використанні графічних методів займалися такі вчені як Ріппл У. [119], Меріам С. [120], Серси Ю. і Хардісон К. [121], Вайс і Вілсон [122], Ехлерт К. [123] та ін. Останні ґрунтовні дослідження у цьому напрямку виконано Горбачовою Л.О. [50].

Гідрологічні дані характеризуються деякими особливостями, а саме вони є залежними, мають закони розподілу, які відрізняються від нормального і мають довготривалі циклічні коливання [43, 94, 102, 124]. У роботах Кундцевича і Робсона [102, 103] показано, що статистичні критерії (параметричні та непараметричні) можуть використовуватися для аналізу гідрологічних рядів спостережень лише після їхньої трансформації за допомогою методів повторної вибірки (методи передискретизації, перестановок тощо). Ці методи є гнучкими і можуть бути адаптовані до широкого спектру різних типів даних, включаючи і гідрологічні дані. У Керівництві з гідрологічної практики ВМО [93] зазначено, що важливо результати випробувань за статистичними тестами перевіряти та підтверджувати за допомогою графічних методів та історичних даних. Отже, саме тому, в цій роботі оцінювання однорідності і стаціонарності рядів спостережень виконано за гідролого-генетичними методами на основі методологічного підходу розробленого Горбачовою Л.О. [94]. Згідно цього підходу оцінювання однорідності і стаціонарності рядів спостережень виконується на основі застосування таких графічних методів як сумарна крива, інтегральна крива відхилень і суміщені графіки. Разом з цим, дослідження необхідно виконувати наступним чином:

- у часових рядах необхідно відновлювати пропуски в спостереженнях та приводити їх до багаторічного періоду, що дозволяє простежити мінливість гідрологічної характеристики за більш тривалий часовий інтервал;

- за сумарною кривою дослідити однорідність гідрологічної характеристики з часом;
- за інтегральною кривою відхилень визначити наявність репрезентативного періоду (маловодну та багатоводну фази довготривалих циклічних коливань) і зробити висновок про стаціонарність спостережень або навпаки;
- за суміщеними графіками (хронологічними, інтегральною кривою відхилень) визначити синхроність/асинхроність (синфазність/асинфазність) коливань гідрологічної характеристики на різних гідрологічних постах і річках.

За необхідності, для уточнення результатів можна застосувати і інші графічні методи.

При виконанні аналізу необхідно розуміти такі поняття як «зміна», «мінливість», «однорідність» і «стаціонарність» гідрологічної характеристики з точки зору гідрого-генетичного аналізу, тобто застосування саме графічних методів [50].

Зміна у часовому ряді – однонаправлене відхилення від прямої лінії гідрологічної характеристики. Отже, в такому стані гідрологічна характеристика переходить на нову якість, що обумовлюється станом чинників, які її формують або антропогенною діяльністю.

Мінливість часового ряду – тимчасове відхилення від прямої лінії гідрологічної характеристики (гідрологічна характеристика набуває нової якості тільки на якийсь проміжок часу).

Однорідність часового ряду – відсутність однонаправлених змін гідрологічної характеристики, яка відноситься до однієї генетичної вибірки (водопілля, паводки, межень тощо) з часом на фоні її тимчасової зміни (мінливості) внаслідок довготривалих циклічних коливань.

Стаціонарність часового ряду – сталість середнього значення гідрологічної характеристики з часом за наявності хоча б одного повного

замкнутого циклу (маловодна та багатоводна фази) довготривалих циклічних коливань. Ці два визначення є тотожними поняттями, у разі, якщо ряд має репрезентативний період для визначення сталого середнього значення (норми). За відсутності репрезентативного періоду ряд може бути квазістаціонарним при умові, що він є однорідним.

Сумарна крива – графік накопичувальних величин гідрологічної характеристики за незмінних умов її формування, який наближається до вигляду прямої лінії, нахил якої щодо осі абсцис є постійним з часом коефіцієнтом. Такий графік будується на основі розрахунку за формулою [119]:

$$A = \sum_{t=1}^T A(t) \quad (2.1)$$

де A – сумарна величина гідрологічної характеристики за період часу T ;
 $A(t)$ – гідрологічна характеристика t -го року.

У 1883 р. сумарну криву винайшов Ріпл У. [119]. Вона дозволяє виявити вплив на водний стік річок антропогенних чинників (гідротехнічні споруди, канали) та зміни клімату (наявність трендів у рядах спостережень). Якщо «стрибків», «викидів» або односпрямованого відхилення на сумарній кривій не виявлено, то процес формування водного стоку є однорідним.

Інтегральна крива відхилень дозволяє визначати стаціонарність рядів спостережень, а саме стійкість середнього значення гідрологічної характеристики з часом. Цю криву також винайшов Ріпл У. [119], але пізніше вона була удосконалена радянським вченим Андріяновим В.Г. [125], який запропонував розраховані значення гідрологічної характеристики поділити на коефіцієнт варіації. Такий прийом, так саме, як і використання модульних коефіцієнтів, надає можливість співставляти результати розрахунків для різних річок шляхом побудови суміщених графіків. Отже, середнє значення часового ряду є стабільним у часі за наявності у ряду спостережень,

принаймні, одного повного замкнутого циклу (маловодна і багатоводна фази) довготривалих циклічних коливань. Інтегральна крива відхилень визначається за формулою [125]:

$$A_f = \frac{\sum_{t=1}^T (k(t)-1)}{c_v}, \quad (2.2)$$

де A_f – інтегральна величина відхилень від середнього значення гідрологічної характеристики (A_0) за період часу T ;

C_v – коефіцієнт варіації гідрологічної характеристики;

$k(t) = A(t)/A_0$ – модульний коефіцієнт;

$A(t)$ – значення гідрологічної характеристики в t -й рік.

Суміщені хронологічні графіки гідрологічної характеристики дозволяють визначити синхронні/асинхронні коливання водного стоку на різних річках. У свою чергу, синхронні коливання вказують на однорідні кліматичні умови формування водного стоку річок [96].

Водному стоку річок притаманні коливання різної тривалості: вікові, багаторічні, внутрішньорічні (сезонні) та короткочасні. Коливання, які відображають вікові зміни кліматичних умов і, відповідно, відбиваються на гідрологічному режимі річок із тривалістю сотні і тисячі років називаються віковими. Тривалість багаторічних коливань складає десятки років. Вікові та багаторічні коливання відносять до довготривалих. Короткочасні коливання виникають у наслідок відлиг, злив, згонів-нагонів, попусків води з водосховищ [126-128].

Сучасні знання переважно пояснюють коливання водного стоку річок різної тривалості впливом фізико-географічних і метеорологічних чинників, а також гідроморфологічних характеристик річкової мережі. Разом з цим, врахування в дослідженнях тільки цих чинників не надають науковцям чітких результатів, оскільки довготривалі і короткотривалі коливання мають різну тривалість, амплітуду та строки настання тощо. Отже, сьогодні у науковому

світі питання природи виникнення циклічних коливань є дискусійним та невирішеним [129].

У слід за німецьким вченим Едуардом Брюкнером (Eduard Brückner), який ще в кінці XIX століття досліджував циклічні коливання клімату, розпочалося вивчення циклічних коливань стоку річок та рівнів озер. Численні автори, використовуючи спектральний аналіз, візуально-графічні, кореляційні та інші методи, виявили у часових рядах гідрологічних показників цикли різної тривалості [27, 50, 129]. Отже, такі коливань водного стоку річок характеризуються чергуванням маловодних та багатоводних угруповань різної тривалості. При дослідженні багаторічних коливань стоку виконують не лише аналіз їхньої циклічності, але й таких важливих сторін як: синхронність або асинхронність та синфазність або асинфазність [27, 50, 130]. Дослідити загальні тенденції водного стоку можна при дослідженні саме вікових та багаторічних коливань і, відповідно, за тривалими рядами спостережень. У нашій роботі для дослідження циклічності водного стоку в басейні р. Південний Буг використано метод інтегральної кривої відхилень (формула 2.2), який знайшов широке використання у дослідженнях [21, 27-29, 50, 131-134].

Сьогодні більшість фахівців пояснюють циклічність водного стоку річок періодичним та циклічним впливом геофізичних сил глобального та космічного походження на іоносферу, атмосферу, гідросферу та літосферу Землі [126-129]. Вплив кліматичних чинників на річковий стік є найбільш вивченим. Разом з цим, космічні та земні фізичні процеси, а також їхня взаємодія і вплив на формування як метеорологічних так, і гідрологічних явищ залишаються майже невивченими. Наукових досліджень відповідного спрямування вкрай мало [92]. Зазначимо, що такі дослідження дозволяють розширити знання відносно уявлень механізмів формування водного стоку річок. Виявлення циклів підвищеної та пониженої водності, а також можливих періодичних коливань водного стоку річок дозволило б вирішувати багато

практичних та наукових завдань, зокрема, оптимізувати роботу гідротехнічних споруд, виконувати довгострокове прогнозування водного стоку з більш високою справджуваністю тощо.

Серед космічних процесів, які можуть впливати на формування водного стоку річок вивчають сонячну активність, спалахи на Сонці, вплив Місяця, планет сонячної системи, комет, метеоритів тощо. У роботі Леонова Є.А. [129] показано, що у роки максимумів сонячної активності, на наступний рік після екстремальних спалахів на Сонці, проходженні комет, в роки Великих протистоянь Марса та Юпітера на річках Європи, Африки, Південної Америки та Російської Федерації відбуваються певні зміни водного стоку. Отже, у цьому дослідженні вивчався вплив таких явищ на водний стік р. Південний Буг. Окрім того, Леоновим Є.А. була визначено 15-річна періодичність коливань водного стоку річок у світі. Чітка періодичність водного стоку річок на відміну від циклічності, яка характеризується чередуванням циклів різної тривалості, дозволяє виконувати певне прогнозування водного стоку з більш якісною справджуваністю. Саме тому, у роботі виконано дослідження періодичності у коливаннях водного стоку р. Південний Буг та виконано його довгострокове прогнозування за методом α , який використано у роботі [129]. Результати наведено у розділі 3.

Застосування методу α можливе лише у тому випадку, коли у часовому ряді відбувається послідовне чергування періодів з підвищеною та пониженою водністю при строго заданому періоді осереднення $T = 9, 10, 11, \dots, n$ років. Вибір оптимального значення T відбувається наступним чином [129]:

– Увесь ряд спостережень розділяється на періоди тривалістю 9 років та визначаються середні витрати води кожного періоду. Якщо не відбувається послідовного чергування підвищених та понижених значень витрат води від періоду до періоду, тоді знову увесь ряд спостережень, за винятком першого члена ряду, розділяється на 9-ти річні періоди та визначаються середні витрати води для кожного періоду. Знову здійснюється перевірка на наявність

послідовного чергування підвищених та понижених значень витрат води від періоду до періоду.

– При незадовільному результаті, розрахунок повторюється з новими періодами, до яких не входять 1 та 2 члени ряду і т.п. Якщо задовільного результату не буде після розгляду усіх можливих періодів при $T = 9$ років, розрахунки повторюються для $T = 10, 11, \dots, n$ років.

Після знаходження періодів з оптимальним значенням осереднення T , для кожного такого періоду визначаються середні ($Q_{сер}$), найбільші (Q_{max}) та найменші (Q_{min}) значення витрат води, а також коефіцієнти α , Δ_{max} та Δ_{min} за формулами:

$$\alpha = Q_i / Q_{i+1}, \quad (2.3)$$

де Q_i та Q_{i+1} – середні витрати води за суміжні T -річні періоди.

$$\Delta_{max} = Q_{max} / Q_{сер}, \quad (2.4)$$

$$\Delta_{min} = Q_{min} / Q_{сер} \quad (2.5)$$

Прогноз середньої витрати води ($Q_{сер}^{np}$) за T -річний період і найбільшої (Q_{max}^{np}) та найменшої (Q_{min}^{np}) середньої річної витрати води в цей прогнозний інтервал часу відбувається за формулами:

$$Q_{сер}^{np} = Q_{сер} / \alpha_{np}, \quad (2.6)$$

де $Q_{сер}$ – середня витрата води за попередній T -річний період;

α_{np} – середнє значення коефіцієнтів α за періоди підвищеної або пониженої водності.

$$Q_{max}^{np} = Q_{сер}^{np} \cdot \Delta_{max}^{np}, \quad (2.7)$$

де Δ^{np}_{max} – середнє значення коефіцієнтів Δ_{max} за періоди підвищеної або пониженої водності.

$$Q^{np}_{min} = Q^{np}_{сер} \cdot \Delta^{np}_{min}, \quad (2.8)$$

де Δ^{np}_{min} – середнє значення коефіцієнтів Δ_{min} за періоди підвищеної або пониженої водності.

Коефіцієнти α_{np} , Δ^{np}_{max} та Δ^{np}_{min} вибираються в залежності від того, яка водність очікується.

Прогнозування водного стоку річок методом α на період T та $2T$ можливе за умови відсутності або несуттєвого антропогенного впливу на природний режим річки як за увесь період спостережень, так і на період прогнозу. У випадку, коли очікується поява або зростання безповоротних втрат стоку за господарчі потреби, тоді їхнє значення вираховується з прогнозного значення стоку.

Гідрограф річки надає графічне уявлення про розподіл коливань водного стоку впродовж року, тобто, він є основним джерелом інформації для дослідження фаз водного режиму річки [135, 136]. Весняне водопілля на рівнинних річках є основною фазою гідрологічного режиму, в яку спостерігаються найбільші впродовж року витрати води. Формування весняного водопілля із року в рік визначається мінливістю кліматичних чинників, що призводить до утворення досить різноманітних форм гідрографів. Зазвичай, у гідрологічному прогнозуванні та розрахунках найбільша увага приділяється визначенню таких характеристик весняного водопілля як найбільша витрати води, об'єм та шар стоку. Однак ці характеристики не можуть надати уявлення саме про форму гідрографу. Разом з цим, у світі в останні 20 років суттєво зросла увага науковців щодо досліджень різноманітних форм гідрографів, які відбивають різні водні режими річки та їхній прояв на гідрологічні, гідробіологічні, гідроморфологічні, гідрохімічні процеси тощо [136-141]. Основою таких

досліджень є класифікація гідрографів річки. Групування гідрографів з однаковими формами за класами призводить до кращого розуміння різних гідрологічних режимів річки, особливо у періоди повеней та посухи [136]. В Україні такі дослідження залишаються поза увагою науковців, окрім робіт Христюка [95, 97], а також наших робіт [35, 91].

Зазвичай класифікація будь-яких об'єктів відбувається за двома системами: ієрархічною та фасетною. Ієрархічна система є найбільш поширеною не тільки в гідрології, але і в інших сферах. Ієрархічна система встановлює відношення підпорядкування між різними угрупованнями, які утворюються за певними ознаками. При цьому, сукупність одержаних угруповань утворює ієрархічну деревоподібну структуру. Фасетна система класифікації передбачає, що вихідна інформація розбивається на угруповання за незалежними між собою ознаками класифікації – фасетами [142]. Найбільш розповсюдженими методами класифікації гідрографів річки є багатомірний та функціональний аналізи [136, 143, 144]. При використанні багатомірного підходу гідрографи річки описуються різними параметрами, кількість яких визначається дослідниками. Зрозуміло, що чим більше параметрів тим, краще можна описати форми гідрографів річки, але, разом з цим, значно ускладнюється процес класифікації. При функціональному підході гідрографи річки описуються у вигляді кривої, яка задається формулою, тобто функцією. Зазначимо, що класифікація може бути контрольованою або не контрольованою [145]. У першому випадку кількість класів відома заздалегідь або вибирається відповідно до обмежень дослідження. В іншому випадку кількість класів є не відомою. Фасетний метод класифікації винайшов у 1933 році індійський вчений Ш. Р. Ранганатан [146]. Цей метод вирізняється гнучкістю структури, що дозволяє з легкістю вносити будь які зміни. Саме це й обумовило його широке використання у багатьох сферах.

У наших роботах [35, 91] розроблено методичний підхід для фасетної класифікації гідрографів весняного водопілля. Такий підхід полягає у

паралельному розділенні заданих гідрографів (об'єктах класифікації) на незалежні групи (класи) за різними ознаками класифікації (фасетами). Кожна фасета містить певні значення характеристик гідрографів весняного водопілля. В якості характеристик гідрографів весняного водопілля річки доцільно вибирати ті, що дозволяють найбільш детально охарактеризувати форму різноманітних гідрографів. Окрім того, бажано, щоб такі характеристики можна легко було отримати з архівних матеріалів. До найбільш вагомих характеристик відноситься найбільша строкова витрата води весняного водопілля та дата її настання. Не менш важливими відомостями є дати початку та закінчення весняного водопілля. Отже, можна сформувати чотири фасети, кожна з яких може набувати по три значення (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Схема побудови фасетної класифікації гідрографів весняного водопілля [35, 91]

Дати			Найбільша строкова витрата води
початку весняного водопілля	найбільшої витрати	закінчення весняного водопілля	
рання (Р)	рання (Р)	рання (Р)	висока (В)
середня (С)	середня (С)	середня (С)	середня (С)
пізня (П)	пізня (П)	пізня (П)	низька (Н)

Виходячи зі схеми, тобто комбінування ознак з чотирьох фасет маємо 81 клас гідрографів. Такий спосіб класифікації відноситься до контрольованого. Діапазон значень для кожної фасети визначається після статистичної обробки відповідних дат та найбільших строкових витрат води (визначення закону розподілу, середніх значень, середнього квадратичного відхилення, коефіцієнту варіації).

Реалізація та результати дослідження за вище наведеним підходом виконано для гідрографів весняного водопілля р. Південний Буг і наведено у розділі 3, п.3.3.

У світі для дослідження коливань та змін гідрологічних характеристик набув широкого вжитку метод Indicators of Hydrologic Alteration (ІНА), який було розроблено наприкінці ХХ століття в США [147-149]. За цим методом розраховують кількісні статистичні характеристики для оцінювання водного стоку річок, озер та водосховищ, а також ступінь змін їхнього гідрологічного режиму. Нажаль, в Україні метод ІНА поки що майже не використовується, на його основі дуже швидко можна обробляти значні масиви гідрологічної інформації, оскільки для розрахунків використовується програмне забезпечення, яке є у вільному доступі для дослідників. Зазначимо, що підходи застосування ІНА постійно удосконалюються і сьогодні програмне забезпечення дозволяє розраховувати 67 статистичних показників [150].

В ІНА використовуються щоденні рівні, витрати річок, озер і підземних вод. Це дозволяє визначати статистичні показники природного та порушеного гідрологічного режиму водних об'єктів. Отже, за цим методом водний стік річки умовно розкладається на п'ять складових [150]:

- «*надзвичайно низький стік*» (extreme low flows) – маловоддя, яке спостерігається на річках у періоди посухи;
- «*низький стік*» (low flows) – спостерігається на річках у періоди після весняного водопілля, зимових та дощових паводків, коли живлення річки відбувається тільки за рахунок надходження ґрунтових вод;
- «*пульсації високого стоку*» (high-flow pulses) – спостерігаються на річках під час злив влітку або відлиг узимку, а також з інших причин (попуски водосховищ, тощо). При такому різновиді стоку річка не виходить з берегів;
- «*невеликі повені*» (small floods) – теж саме, що і «пульсації високого стоку», але з виходом річки на заплаву без катастрофічних наслідків;
- «*великі повені*» (large floods) – надзвичайно високі повені, які трапляються нечасто та спричиняють катастрофічні наслідки.

Для розділення масивів щоденних витрат води на складові ІНА рекомендує наступні положення [150]. Щоденні витрати води, які

перевищують 75-й перцентиль середніх добових витрат води за увесь період спостережень, відносяться до високого стоку. Витрати води, які нижче 50-го перцентилля – до низького стоку. Високий стік розпочинається тоді, коли щоденні витрати води зростають більше ніж на 25% за день і закінчується, коли відбувається зниження витрат води менше ніж на 10% за добу. Невеликі повені відносяться до високого стоку з максимальною витратою, яка спостерігається не частіше 1 разу на 2 роки. Великі повені це високий стік з максимальною витратою, яка спостерігається не частіше 1 разу на 10 років. До пульсацій високого стоку відносяться усі високі витрати води, які не увійшли до великих та невеликих повеней. Надзвичайно низький стік визначають витрати води, які менші 10-го перцентилля. Відповідно, низький стік – витрати води, що перебувають в межах 10-50-го перцентилів.

У цьому дослідженні використано програмне забезпечення «Indicators of Hydrologic Alteration» (ІНА), версії 7.1.0.10, яке розроблено The Nature Conservancy (TNC) впродовж 1996-2009 рр. Розраховувались наступні статистичні показники:

- порогові значення витрат води, $\text{м}^3/\text{с}$;
- середні значення витрат води при проходженні піка, $\text{м}^3/\text{с}$;
- середня тривалість повеней, доба;
- середня частота повеней, кількість випадків/рік;
- середня дата (юліанська) настання піку;
- середні значення інтенсивності росту витрат води на підйомі, $(\text{м}^3/\text{с})/\text{доба}$;
- середні значення інтенсивності зниження витрат води на спаді, $(\text{м}^3/\text{с})/\text{доба}$.

Зазначимо, що термін «юліанські дати» в ІНА має інше тлумачення ніж звичний для нас термін, що стосується Юліанського календаря. Отже, «юліанські дати» в ІНА це технічний прийом, що враховує різницю в одну добу між тривалістю високосного і невисокосного року, а саме в «юліанському

календарі» ІНА тривалість кожного року становить 366 днів. У високосний рік «юліанська дата» 60 відповідає даті 29 лютого, а у невисокосний рік «юліанська дата» 60 залишається порожньою. Завдяки цьому, кожна дата звичайного календаря відповідає одній і тій же даті «юліанського календаря» ІНА.

У роботі за підходами ІНА також було проаналізовано зміни характеристик високого стоку вздовж річки Південний Буг та з часом (розділ 3, п. 3.4).

Для отримання надійних і достовірних результатів необхідно використовувати ряди спостережень, які мають тривалість 100 років і більше, а також не мають пропусків. Особливо це важливо при отриманні ймовірнісних характеристик гідрологічної величини [73, 74, 93, 151]. Отже, для виконання розрахунків необхідно здійснити відновлення та подовження рядів спостережень. Для цього використовується метод парної регресії за даними річок-аналогів. Цей метод рекомендується використовувати як «Керівництвом з гідрологічної практики» ВМО (2009), так і національним нормативним документом України СНиП 2.01.14-83 [37]. Цей метод застосовується за умов [73]:

$$n' \geq 10; \quad r \geq 0,7; \quad k/\sigma_k \geq 2, \quad (2.9)$$

де n' – кількість спільних років спостережень основної річки та річки-аналога;

r – коефіцієнт парної кореляції між значеннями характеристики стоку основної річки і значеннями характеристики стоку річки-аналога;

k – коефіцієнт регресії;

σ_k – середня квадратична похибка коефіцієнта регресії.

Основні вимоги щодо використання цього методу наведено у документах [73, 74, 93].

Визначення розрахункових характеристик при наявності гідрометричних спостережень ґрунтується на застосуванні методів математичної статистики (криві ймовірнісного розподілу) [73, 74, 93]. Криві забезпеченості або криві ймовірності перевищення можуть бути побудовані у вигляді емпіричних і аналітичних (теоретичних) кривих. Емпіричні криві будуються за даними гідрометричних спостережень і відображають закономірності, які характерні для даного (обмеженого) ряду спостережень, тобто не є закономірними по відношенню до дуже тривалого ряду або генеральної сукупності [151-153]. Саме тому, в практиці гідрологічних розрахунків емпіричні криві завжди згладжуються аналітичними кривими, які дозволяють отримувати загальні закономірності формування річкового стоку [151, 154]. У наших роботах [37-39, 85] побудова емпіричних і аналітичних кривих розподілу максимального стоку води весняного водопілля для басейну р. Південний Буг виконано на основі нормативних документів [73, 74], а також з урахуванням рекомендацій згідно [93].

Для ймовірнісного аналізу використано статистичні розподіли Крицького-Менкеля, Пірсона III та Гамбела [73, 93, 154, 155]. Емпіричний розподіл ймовірностей визначається за формулою [73, 154]:

$$P_m = (m|n + 1)100\%, \quad (2.10)$$

де m – порядковий номер членів гідрологічного ряду, які розташовано у порядку зменшення;

n – загальна кількість членів гідрологічного ряду.

Статистичні параметри аналітичного розподілу ймовірностей, а саме середнє значення ряду даних, коефіцієнти варіація та асиметрії визначаються методом моментів та методом максимальної правдоподібності згідно з методичними підходами, які наведено в [73, 93, 151]. Окрім того, для перевірки результатів апроксимації аналітичною кривою емпіричних точок використано критерій згоди χ^2 [151]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^v x_i^2, \quad (2.11)$$

де x_i – незалежна випадкова величина;

v – кількість ступенів свободи.

Як вже було зазначено вище у пункті 2.1 діючий картографічний матеріал, який наведено у нормативному документі СНиП 2.01.14-83 був створений за даними спостережень до 1975 р. Разом з цим, такі карти широко застосовується у гідрологічних розрахунках і сьогодні, оскільки їхнього оновлення не відбулось. Зазначимо, що ці карти також є генералізованими, а іноді, схематичними, що не дозволяє забезпечити необхідну точність розрахунків. Отже, у наших роботах [37-39, 156] виконано оновлення як розрахункових характеристик за сучасними даними, так і карт, а саме середньобогаторічного шару стоку води весняного водопілля та його коефіцієнту варіації для басейну р. Південний Буг. При цьому, використовувались методологічні нароби щодо побудови цифрових карт гідрологічних характеристик, які викладено у роботах Горбачової Л.О. [50, 157]. Отже, для побудови карт просторового розподілу використано географічну інформаційну систему MapInfo, цифрові шари Бази даних розрахункової гідрологічної інформації (РГІ) відділу гідрологічних досліджень УкрГМІ [157], принцип неперекривання водозборів річок, TIN-інтерполяцію.

Визначення розрахункових характеристик при відсутності гідрометричних спостережень ґрунтується на застосуванні редукційної формули, яка рекомендується нормативним документом СНиП 2.01.14-83. Давно вже назріла необхідність в уточненні параметрів цієї формули на основі подовжених рядів спостережень, що й було виконано у наших роботах для басейну р. Південний Буг [38, 85].

Розрахована максимальна витрата води весняного водопілля $Q_{p\%}$ (м³/с) заданої щорічної ймовірності перевищення $p\%$ за редуційною формулою визначається за виразом [73, 74]:

$$Q_{p\%} = K_o h_{p\%} \mu \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3 F / (F + b)^n, \quad (2.12)$$

де K_o – параметр, який характеризує одночасність настання весняного водопілля у різних частинах басейну і, який визначається за даними річок-аналогів зворотнім шляхом за формулою:

$$K_o = [Q_{p\%} (F + b)^n] / (h_{p\%} \mu F \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3), \quad (2.13)$$

де $h_{p\%}$ – розрахований шар сумарного весняного стоку (без зрізки підземного живлення) щорічної ймовірності перевищення $p\%$ (мм), який визначається в залежності від коефіцієнта варіації C_v та співвідношення C_s/C_v цієї величини, а також середнього багаторічного шару стоку h_0 , що отримують за річками-аналогами або по карті;

μ – коефіцієнт, який враховує нерівність статистичних параметрів шару стоку та максимальних витрат води;

δ – коефіцієнт, який враховує вплив водосховищ, ставків та протічних озер;

δ_1 – коефіцієнт, який враховує зниження максимальної витрати води у залісених басейнах;

δ_2 – коефіцієнт, який враховує зниження максимальної витрати води у заболочених басейнах;

δ_3 – коефіцієнт, який враховує зниження максимальної витрати води у під впливом агротехнічних заходів на річках з $F < 200$ км²;

F – площа водозбору, яка досліджується до замикального створу, км²;

b – емпіричний параметр, який враховує зниження інтенсивності редуції модуля максимального стоку зі зменшенням площі водозбору (км^2);
 n – показник ступеня редуції.

У даному дослідженні приналежність водозбору річки до відповідної природної зони визначалась згідно сучасного фізико-географічного районування території України [159]. Показник ступеня редуції n визначається для окремих басейнів річок шляхом побудови залежності:

$$q_{1\%}/(h_{1\%}\delta_1\delta_2)=f(F+I) \quad (2.14)$$

де $q_{1\%}$ – модуль максимальної витрати води весняного водопілля ймовірністю перевищення 1% ;

$h_{1\%}$ – шар сумарного стоку весняного водопілля (без зрізки ґрунтового живлення) ймовірністю перевищення 1% .

Коефіцієнт μ визначався як співвідношення:

$$(q_{p\%}h_{1\%})/(q_{1\%}h_{p\%}). \quad (2.15)$$

2.3 Вихідні матеріали

У роботі використано матеріали спостережень за гідрологічним режимом річок басейну р. Південний Буг, що містяться у різних опублікованих довідкових матеріалах, підготовлених Центральною геофізичною обсерваторією ім. Бориса Срезневського ДСНС України (м. Київ). Як зазначено у табл. 1.3 розділу 1, у басейні р. Південний Буг гідрометричні спостереження виконуються на 24 постах. Разом з цим, для дослідження було використано дані спостережень лише 21 гідрологічного поста (рис. 2.1 та табл. 2.3), оскільки на гідрологічних постах р. Південний Буг – с. Прибужани та р. Південний Буг – м. Миколаїв спостереження проводяться тільки за рівнями води, а гідрологічний пост р. Південний Буг – м. Первомайськ знаходиться під впливом попусків води Первомайської ГЕС.

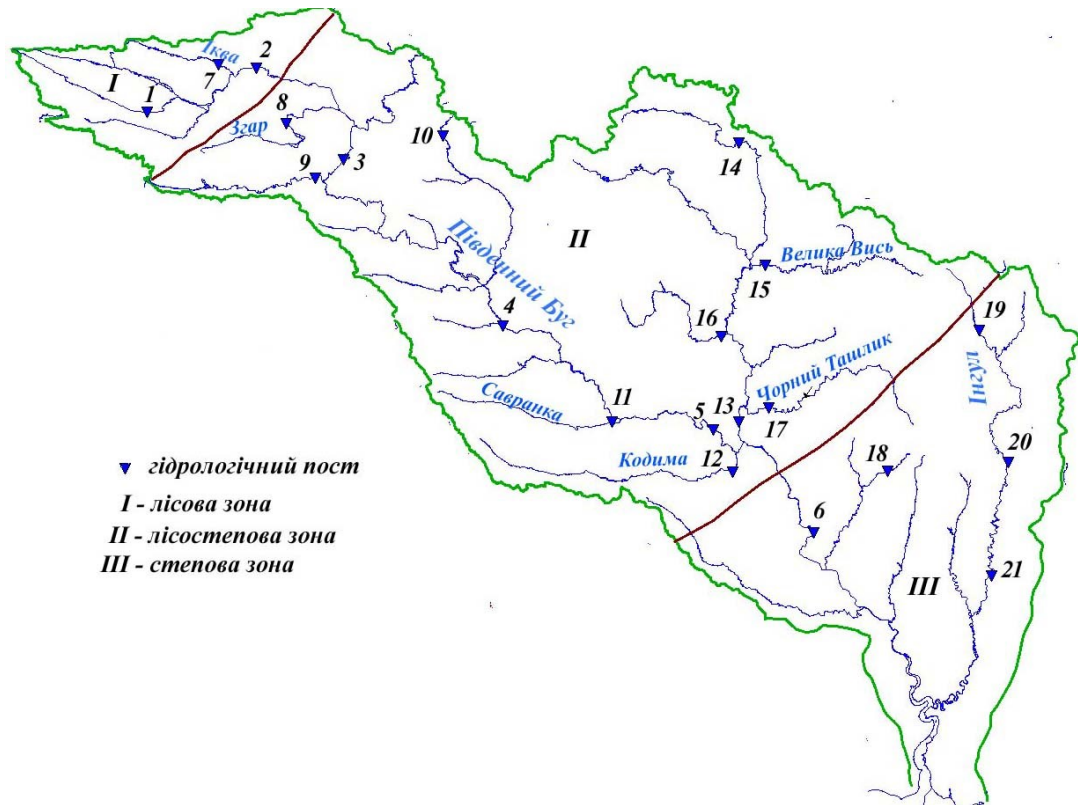


Рисунок 2.1 – Схема розташування гідрологічних постів, які використано для дослідження (відповідно до табл. 2.3)

У роботі у переважній більшості розрахунки виконувались за період від початку спостережень по 2015 рік включно (табл. 2.3). Разом з цим, дослідження періодичних коливань, а також визначення статистичних параметрів за методом Indicators of Hydrologic Alteration виконано за період від початку спостережень по 2018 та 2019 рр. Зазначимо, що для методу ІНА використано щоденні витрати води на 5 гідрологічних постах уздовж р. Південний Буг (див. розділ 3, п. 3.4). Різні періоди спостережень, які використано у роботі обумовлюються тим, що для визначення ймовірнісних характеристик максимального стоку весняного водопілля, класифікації гідрографів, параметрів редукційної формули вихідними даними слугували матеріали, які опубліковано у довіднику «Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші. Частина 1. Річки. Випуск 1».

Таблиця 2.3 – Характеристики водозборів в басейні р. Південний Буг [1, 37]

№	Річка- населений пункт	Площа басейну, км ²	Період спостережень та його тривалість, роки	Ліс, %	Розташування лісів у басейні	Болота, %	Тип боліт	Розораність, %	Озера, %
1	Південний Буг – с. Пирогівці	827	1964-2015 / 52	8	<i>A</i>	3	низинні	75	<1
2	Південний Буг – с. Лелітка	4000	1926-43, 1945-46, 1964-2015 / 72	8	<i>A</i>	5	низинні	-	<1
3	Південний Буг – с. Селище	9100	2002-2015 / 14	-	-	-	-	-	-
4	Південний Буг – с. Тростяничик	17400	1930-41, 1946-94, 1996-2015 / 81	11	<i>A</i>	4	низинні	-	<1
5	Південний Буг – с. Підгір'я	24600	1926-43, 1958-2015 / 76	14	<i>A</i>	3	низинні	-	<1
6	Південний Буг – смт Олександрівка	46200	1914-2015 / 102	9	<i>A</i>	2	-	-	<1
7	Іква – смт Стара Синява	439	1946-93, 1996-2015 / 68	5	<i>A</i>	4	низинні	70	1
8	Згар – с. Літин	692	1931-88, 1990-94, 1996-2015 / 82	13	<i>A</i>	11	низинні	65	3
9	Рів – с. Демидівка	1130	1916-18, 1922-41, 1945-88, 1990-94, 1996-2015 / 91	12	<i>A</i>	4	низинні	65	1
10	Соб – с. Зозів	92.5	1945-88, 1990-94, 1996-2006, 2008, 2010-13, 2015 / 66	2		3	низинні	75	2
11	Савранка – с. Осички	1740	1936-39, 1945-2015 / 75	15	<i>A</i>	2	-	65	<1
12	Кодима – с. Катеринка	2390	1931, 1933-41, 1945-88, 1990-2015 / 80	11	<i>B</i>	<1	-	75	<1
13	Синюха – с. Синюхин Брід	16700	1925-31, 1933-89, 1991-2015 / 89	5	<i>A</i>	1	-	-	<1
14	Гнилий Тікач – с. Лисянка	1450	1945-2015 / 71	3	<i>A</i>	2	-	70	<1
15	Велика Вісь – с. Ямпіль	2820	1925-1941, 1943, 1945-91, 1993-2015 / 87	3	<i>A</i>	1	-	70	<1
16	Ятрань – с. Покотилове	2140	1955-2010 / 61	7	<i>A</i>	<1	-	75	<1
17	Чорний Ташлик – с. Тарасівка	2230	1933-43, 1945-88, 1990-2015 / 81	2		1	-	75	<1
18	Мертвовід – с. Крива Пустош	252	1949-88, 1991-94, 1996-2015 / 64	<1		<1	-	70	<1
19	Інгул – м. Кропивницький	840	1945-81, 1983-88, 1992-2006, 2008-12, 2014-15 / 65	2		1	-	75	<1
20	Інгул – с. Седнівка	4770	1954-2015 / 62	2		<1	-	-	<1
21	Інгул – с. Новогорожене	6670	1931-1941, 1945-2015 / 82	1		<1	-	-	<1

Примітка: Розташування лісів у басейні: *A* – рівномірно, *B* – у верхній частині басейну, *C* – у нижній частині басейну

Такі матеріали оновлюються кожні п'ять років. Отже, останнє оновлення вийшло друком у 2017 році за період 2011-2015 рр. Для інших досліджень використано інформацію, яка міститься у довідниках «Щорічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші. Частина 1. Річки і канали. Випуск 1». Останній випуск цих матеріалів вийшов друком у 2021 році і містить інформацію за 2019 р. Отже, у цьому дослідженні використано сучасну доступну інформацію.

Основою для побудови карт просторового розподілу гідрологічних характеристик з використанням ГІС MapInfo є бази цифрових географічних даних електронної карти України масштабу 1:200 000 (розробник інститут географії НАН України) та цифрові шари Баз даних РГІ (відділ гідрологічних досліджень УкрГМІ). Отже, у роботі використано наступні цифрові тематично-картографічні шари електронної карти України:

- гідрографія;
- населені пункти;

Разом з цим, з Баз даних РГІ використано такі цифрові шари як:

- гідропости;
- центри тяжіння водозборів;
- водозбори басейнів річок;
- водозбори гідропостів.

Для побудови цифрових карт також використано розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля у басейні р. Південний Буг (див. розділ 4, п. 4.2). Разом з цим, для зменшення похибок інтерполяції на вододілах, тобто у місцях де басейн р. Південний Буг межує з іншими басейнами використовувалась інформація гідрологічних постів суміжних басейнів. Отже, додатково використано дані 14 гідрологічних постів, характеристики яких наведено у табл. 2.4. Побудова цифрових карт здійснювалась переважно за даними середніх річок згідно класифікації Водної рамкової директиви ЕС 2000 [160]. Виключенням є тільки декілька

гідрологічних постів у суміжних басейнах, площі яких перевищили градацію середніх річок. Такий крок був вимушеним, оскільки іншої інформації не можливо було залучити.

Таблиця 2.4 – Характеристики гідрологічних постів суміжних басейнів

№	Річка	Населений пункт	Площа, км ²	Період спостережень та його тривалість, роки
<i>басейн р. Дністер</i>				
1	р. Збруч	м. Волочиськ	712	1957-87, 1988-2015 / 57
2	р. Смотрич	с. Купин	799	1937-41, 1943, 1945-88, 1991-94, 1996-98, 2000-07, 2009-15 / 72
3	р. Студениця	с. Голозубинці	296	1971-88, 1991-94, 1996-99, 2001-03, 2005-07, 2009-15 / 39
4	р. Ушиця	с. Зіньків	525	1937-43, 1946-88, 1991-94, 1996-2015 / 74
5	р. Калюс	смт Нова Ушиця	259	1951-82, 1984-88, 1991-94, 1996-97, 1999, 2001-03, 2005-07, 2009-15 / 57
6	р. Лядова	с. Жеребилівка	652	1964-88, 1991-93, 1995-99, 2001-03, 2005-07, 2009-15 / 46
7	р. Марківка	с. Підлісівка	615	1961-88, 1991-93, 1996-99, 2001, 2003, 2005-15 / 57
<i>річки Причорномор'я</i>				
8	р. Тилігул	с. Березівка	3170	1953-71, 1973, 1978-93, 1995-97, 2001-2007, 2009-15 / 53
<i>басейн р. Дніпро</i>				
9	р. Случ	с. Громада	2480	1926-41, 1945-2015 / 87
10	р. Тетерів	с. Троща	227	1948-89, 1991-96, 1999-2007, 2009-15 / 64
11	р. Гуйва	с. Городівка	312	1941-41, 1944, 1946-94, 1996, 1998-2015 / 71
12	р. Рось	с. Крупнодеринці	618	1950-2015 / 66
13	р. Серебрянка	с. Балаклія	126	1947-50, 1955, 1957-88, 1990-96, 1998-99, 2001, 2003-06, 2009-15 / 59
14	р. Тясьмин	с. Велика-Яблунівка	1780	1946-2015 / 70

2.4 Висновки до розділу 2

1. Більшість робіт, у яких досліджується максимальний стік весняного водопілля у басейні р. Південний Буг мають узагальнюючий характер для усіх басейнів річок України, а у деяких роботах і Європи в цілому.
2. Розрахункові статистичні характеристики максимального стоку весняного водопілля повинні оновлюватися кожні 5 років. Разом з цим, оновлення параметрів редуційної формули, яка використовується при розрахунках на річках за відсутності на них гідрометричних спостережень не виконано за сучасними даними.
3. Потребує оновлення і картографічний матеріал щодо максимального стоку весняного водопілля у відповідності до сучасних тенденцій картування на основі ГІС.
4. Обґрунтовано алгоритм і методологічні підходи дослідження, які використовують підходи національного і міжнародного нормативних документів, розробки, які набули широкого використання у світі, але з тих чи інших причин не використовуються в Україні, а також нові підходи, які останнім часом розвиваються у дослідженнях як закордонних, так і вітчизняних вчених.

РОЗДІЛ 3

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ

3.1 Однорідність і стаціонарність рядів спостережень

Дослідження однорідності і стаціонарності рядів спостережень є першим і важливим етапом дослідження [73, 96]. Отже, у наших роботах [37-39] було виконано дослідження однорідності і стаціонарності максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг за гідролого-генетичними методами (див. розділ 2, п. 2.2).

Відповідно до формули (2.1), у басейні р. Південний Буг для 21 гідрологічного поста було створено графіки сумарних кривих максимальних витрат весняного водопілля, приклади яких наведено на рисунку 3.1.

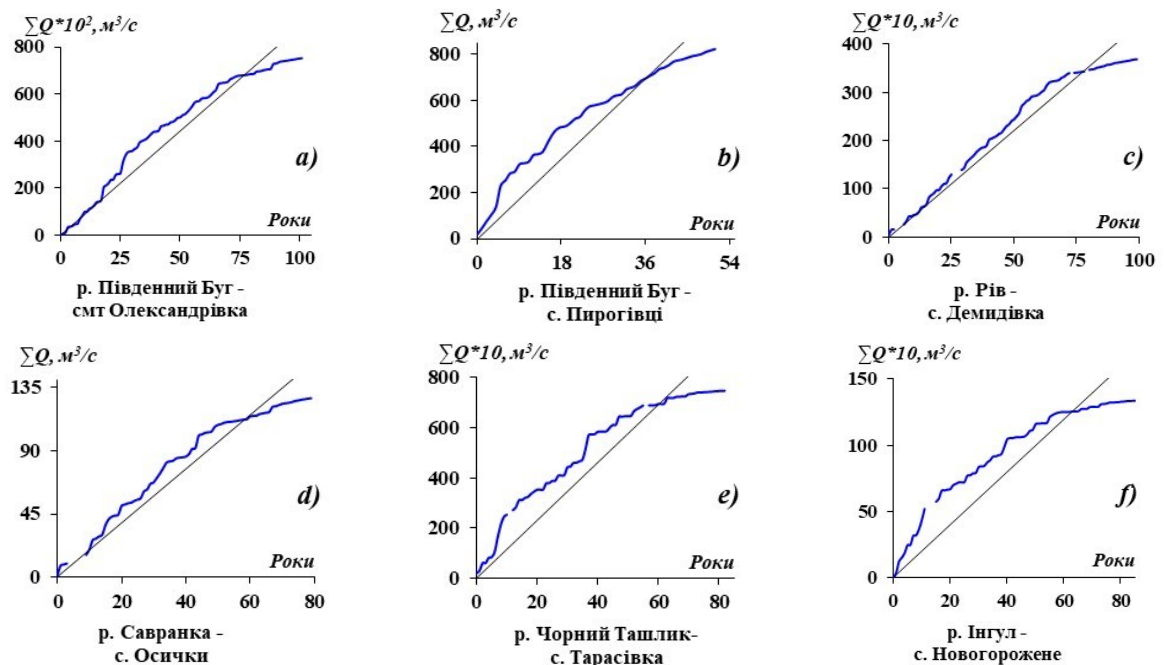


Рисунок 3.1 – Деякі сумарні криві максимальних витрат води весняного водопілля у басейні річки Південний Буг [37]

Аналіз цих графіків показує, що ряди спостережень можна віднести до неоднорідних, оскільки на них знаходиться точка перегину, після якої тенденція максимальних витрат води змінюється. Водночас криві цього типу свідчать про відсутність односпрямованих стійких тенденцій максимальних витрат води весняного водопілля у басейні р. Південний Буг. Такі тенденції характерні і для інших рівнинних річок України [22, 27, 32, 133]. Такі ряди спостережень мають сумарні криві випуклого типу. Інтегральні криві відхилень було створено відповідно до формули (2.2) та для виявлення причин такої тенденції максимальних витрат води весняного водопілля річок (рис. 3.2).

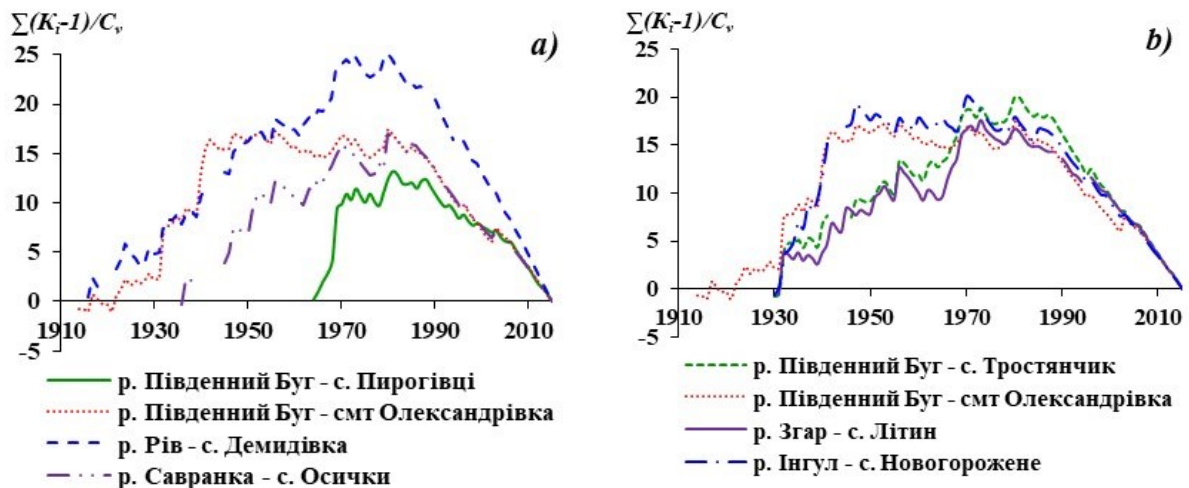


Рисунок 3.2 – Деякі інтегральні криві відхилень максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Південний Буг [37]

Їхній аналіз показав, що у період 1970-1980 рр. для всіх річок відбувся перехід від фази зростання до фази зниження довготривалих циклічних коливань [37-39]. Фаза зменшення триває донині і її завершення не можна передбачити. Різні фази циклічних коливань спостерігаються при різних змінах напрямку водного стоку. Також ці фази мають значну різницю в середніх значеннях [41, 161]. Разом з цим, максимальний стік річок має значну мінливість (його значення в кілька разів перевищують значення середньорічного і мінімального стоку). Особливістю максимального стоку

весняного водопілля рівнинних річок є велика тривалість фаз циклічних коливань. Наприклад, на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка ряд спостережень максимального стоку весняного водопілля (спостереження проводяться з 1914 р.) фаза спаду ще не завершена, яка почалася в 1970 (рис. 3.2). У цьому ряду спостережень також відсутня повна фаза зростання, оскільки спостереження розпочалися у той час, коли фаза зростання вже тривала. Отже, на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка максимальний стік весняного водопілля з тривалістю спостережень 102 року (1914-2015 рр.) не має повного циклу багаторічних коливань.

Наявність у рядах спостережень максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок лише фаз збільшення та зменшення довготривалих циклічних коливань, їхня значна тривалість, а також значна мінливість максимального стоку формують випуклий тип сумарних кривих. Отже, такий тип сумарної кривої носить тимчасовий характер і виникає при аналізі різних фаз довготривалих циклічних коливань, а саме фаз, що зростають і зменшуються. Такі ряди спостережень можна класифікувати як квазіоднорідні. Висновки опосередковано підтверджуються аналізом максимального стоку весняного водопілля або паводків холодного періоду року гірських річок. У роботах Горбачової Л.О., Заболотньої Т.О. та ін. [50, 133] показано, що фази циклічних коливань гірських річок мають набагато меншу тривалість, ніж рівнинних річок. Сумарні криві гірських річок мають звивистий тип. У дослідженнях Шакірзанової Ж.Р., Докус А.О. [22, 28] показано, що в басейні річки Південний Буг кліматичні чинники весняного водопілля мають довготривалі циклічні коливання. Циклічні коливання кліматичних чинників формування весняного водопілля річок також показано в роботах Христиюка Б.Ф. [95, 97]. У цих дослідженнях виконано класифікацію гідрографів за подібними формами і показано, що наявність у часових рядах класів гідрографів, подібних за формою, свідчить про те, що час

від часу на водозборі річки повторюються подібні умови формування стоку води за рахунок циклічності кліматичних і, як наслідок, гідрологічних процесів.

Відсутність повного циклу довготривалих циклічних коливань у рядах спостережень за максимальним стоком весняного водопілля річок робить такі дані нерепрезентативними для коректного визначення стабільного середнього значення [125]. Багато вчених відносять такі ряди до нестационарних. Особливо, коли для аналізу однорідності та стаціонарності рядів використовуються лише статистичні критерії [103, 124]. Приклад зміни середнього значення ряду спостережень залежно від наявності або відсутності репрезентативного періоду було показано в роботі Горбачової Л.О [41]. На сьогодні у басейні річки Південний Буг ряди спостережень за максимальним стоком весняного водопілля можна віднести до тимчасово квазістаціонарних. Саме тому, важливо оновлювати статистичні характеристики кожні 5 років.

У басейні р. Південний Буг умови формування максимального стоку весняного водопілля є однорідними, оскільки на всіх гідрологічних постах коливання максимального стоку відбуваються синхронно і синфазно (рис. 3.2 та рис. 3.3) [37-39].

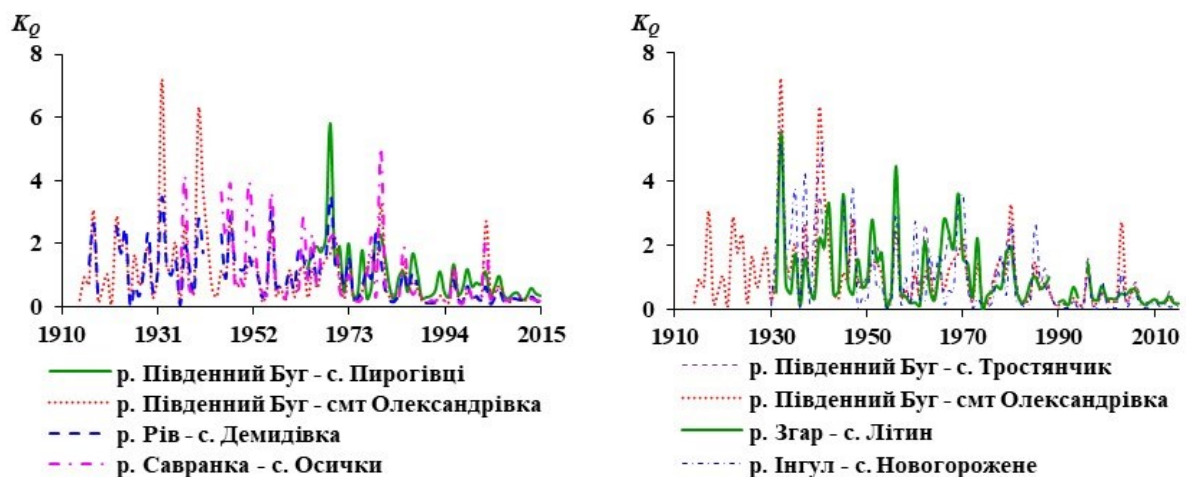


Рисунок 3.3 – Хронологічні графіки максимального стоку весняного водопілля для деяких річок басейну р. Південний Буг

Примітка: K_Q – модульний коефіцієнт максимальних витрат води весняного водопілля

Це також показує, що антропогенне навантаження не має значного впливу на максимальний стік весняного водопілля, оскільки річки з природним стоком мають такі самі тенденції, як і річки, на яких розташовано гідротехнічні споруди. Це також полегшує відбір річок-аналогів. Для коротких рядів спостережень необхідно (якщо це можливо) проводити збільшення їхньої тривалості. Це дозволить таким рядам мати інформацію про екстремальні водопілля, які спостерігались у фазу зростання довготривалих циклічних коливань у басейні річки Південний Буг. Наприклад, це такі ряди спостережень, як на гідрологічних постах р. Південний Буг – с. Пирогівці (рис. 3.2 а) та р. Південний Буг – с. Селище (див. розділ 2, табл. 2.3).

3.2 Циклічні і періодичні коливання водного стоку

Сьогодні наукові знання щодо причин і чинників довготривалих циклічних коливаннях річкового стоку є досить обмеженими. Існують судження, що такі коливання викликаються впливом не тільки кліматичних чинників, але й процесами, які відбуваються в планетарному масштабі, в ближньому і далекому космосі. Отже, на режим вод суходолу безпосередньо або опосередковано впливають гравітаційні та електромагнітні сили Сонця, Місяця та планет Сонячної системи, океанічні течії та загальна циркуляція атмосфери, коливання сонячної активності, комети та метеоритні потоки, біосфера та антропогенні чинники [129]. Саме для розширення уявлень щодо впливу деяких з цих процесів на водний стік річок у нашій роботі [92] виконано дослідження впливу сонячної активності, спалахів на Сонці, комет, Великих протистоянь Марса та Юпітера на водний стік р. Південний Буг, а також його довгострокове прогнозування з урахуванням його періодичних коливань за методом α .

Сонячна активність змінюється у часі та має велику кількість циклів різної тривалості. Найбільш відомими та достовірно підтвердженими

спостереженнями є цикли тривалістю 11 та 22 роки. Кореляція між сонячною активністю, вираженою числами Вольфа, та середніми річними витратами води р. Південний Буг – смт Олександрівка статистично незначима, але у роки максимумів сонячної активності середні річні витрати води в середньому у 1,3 рази вищі, ніж у роки мінімумів сонячної активності (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Середні річні витрати води р. Південний Буг – смт Олександрівка у роки максимумів та мінімумів сонячної активності

Роки максимумів сонячної активності	Середня річна витрата води, м ³ /с	Роки мінімумів сонячної активності	Середня річна витрата води, м ³ /с
1917	118		
1928	69,2	1933	108
1937	111	1944	74,3
1947	128	1954	42,6
1957	45	1964	45,9
1968	100	1976	88,0
1979	145	1986	76,3
1989	73,2	1996	121
2000	88,7	2008	69,6
2014	55,1	2019	34,0
Середнє значення	93,3	Середнє значення	73,3

Окрім плавних коливань активності, час від часу на Сонці відбуваються спалахи різної потужності. Ці спалахи спричиняють полярні сйва, магнітні бурі, порушення радіозв'язку та електропостачання. Вперше сонячний спалах спостерігали ще у 1859 році, але тільки у 1956 році потужний спалах був зареєстрований інструментально. Розпочинаючи з 1975 року виміри потужності спалахів на Сонці у рентгенівському діапазоні ведуться супутниками GOES (США) [162]. Після спалаху 1956 року було зафіксовано ще три потужні спалахи, які відбулися у 1989, 2001 та 2003 роках. У наступні роки після потужних спалахів на річках Європи, Африки, Південної Америки та Російської Федерації спостерігалися переважно різкі зростання водного стоку, тоді як на річках США, Канади та Австралії відбувається зниження

водного стоку [129]. Зниження водного стоку у наступний рік після екстремальних спалахів на Сонці також відбувається і на р. Південний Буг – смт Олександрівка (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Середні річні витрати води р. Південний Буг – смт Олександрівка ($\text{м}^3/\text{с}$) у роки потужних сонячних спалахів 1956, 1989, 2001 та 2003 років та у наступний рік

Рік сонячного спалаху	Середня річна витрата води у рік сонячного спалаху, Q_i	Середня річна витрата води у наступний рік, Q_{i+1}	Коефіцієнт зниження $\Delta Q = Q_{i+1}/Q_i$
1956	127	45,0	0,35
1989	73,2	55,4	0,76
2001	94,7	80,5	0,85
2004	121	81,6	0,67
$\Delta Q_{\text{серед}} =$			0,66

Отже, середня річна витрата води р. Південний Буг – смт Олександрівка на наступний рік ($Q_{\text{прог}}$) після потужного сонячного спалаху може бути спрогнозована за формулою:

$$Q_{\text{прог}} = \Delta Q_{\text{серед}} \cdot Q_i \quad (3.1)$$

Вплив комет при зближенні з Землею проявляється у зміні електроенергетики навколоземного простору, зростанні запиленості атмосфери, що, у свою чергу, призводить до зниженню її прозорості та збільшення кількості опадів. На наступний рік після проходження комет поблизу Землі спостерігається зростання водного стоку р. Південний Буг – смт Олександрівка (табл. 3.3). Середня річна витрата води р. Південний Буг – смт Олександрівка на наступний рік ($Q_{\text{прог}}$) після проходження комети, як і у випадку з сонячними спалахами, може бути спрогнозована за формулою (3.1).

Планети Сонячної системи перебувають у постійному русі. Вони обертаються навкруги своїх осей та рухаються навкруги Сонця. Сама Сонячна

система також рухається навкруги центра галактики, здійснюючи повний оберт за майже 200 млн. років.

Таблиця 3.3 – Середні річні витрати води р. Південний Буг – смт Олександрівка у роки проходження комет та у наступний рік

Рік проходження комети	Назва комети	Середня річна витрата води у рік проходження комети, Q_i , м ³ /с	Середня річна витрата води у наступний рік, Q_{i+1} , м ³ /с	Коефіцієнт зростання $\Delta Q = Q_{i+1}/Q_i$
1927	Скьеллерупа-Марістані	56,6	68,4	1,21
1957	Аренда-Ролана	45,0	73,6	1,64
1962	Секі – Лайнса	84,7	93,8	1,11
1965	Ікея – Секі	96,1	98,0	1,02
1976	Уеста	88,0	119,6	1,36
1986	Галлея	76,2	77,9	1,02
1997	Хейла – Боппа	97,9	108,8	1,11
2007	Макнота	58,0	69,5	1,20
$\Delta Q_{\text{серед}} =$				1,21

Рухаючись по своїй орбіті Земля приблизно раз у два роки, а точніше – в середньому через 780 діб наближається до свого космічного сусіди Марса. Такі події називають протистояннями. Кожні 15 або 17 років відстань між Землею та Марсом стає мінімальною і такі протистояння називають Великими протистояннями. Протистояння Землі та Юпітера, найбільшої планети Сонячної системи, відбуваються кожні 13 місяців, а Великі протистояння – кожні 11 або 12 років.

Норма стоку р. Південний Буг – смт Олександрівка, розрахована за період 1914-2019 рр., становить 83,7 м³/с. У роки Великих протистоянь Марса середні річні витрати води в середньому перевищують норму стоку у 1,12 раз, а в роки Великих протистоянь Юпітера – становлять тільки 0,91 норми стоку (табл. 3.4). Наступне Велике протистояння Марса відбудеться у 2035 році, а

Велике протистояння Юпітера – у 2022 році. Прогнозні значення середніх річних витрат води у ці роки 94,1 та 76,0 м³/с, відповідно.

Таблиця 3.4 – Середні річні витрати води р. Південний Буг – смт Олександрівка у роки Великих протистоянь Марса та Юпітера

Роки Великих протистоянь Марса	Середня річна витрата води, м ³ /с	Роки Великих протистоянь Юпітера	Середня річна витрата води, м ³ /с
1924	109	1916	72,5
1939	58,8	1927	56,5
1956	127	1939	58,8
1971	113	1951	74,3
1988	92,6	1963	93,8
2003	121	1975	68,6
2018	37,1	1987	77,9
		1999	93,7
		2010	88,1
Середнє значення	94,1	Середнє значення	76,0
Прогноз на 2035 рік	94,1	Прогноз на 2022 рік	76,0

Спостереження за водним стоком на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка розпочалися у 1914 році та тривають понині. Дані спостережень за 1941-42 та 1944 роки відсутні. Лінійний тренд, побудований за даними спостережень 1914-2019 рр. є статистично незначимим, що вказує на стаціонарність ряду (рис. 3.4).

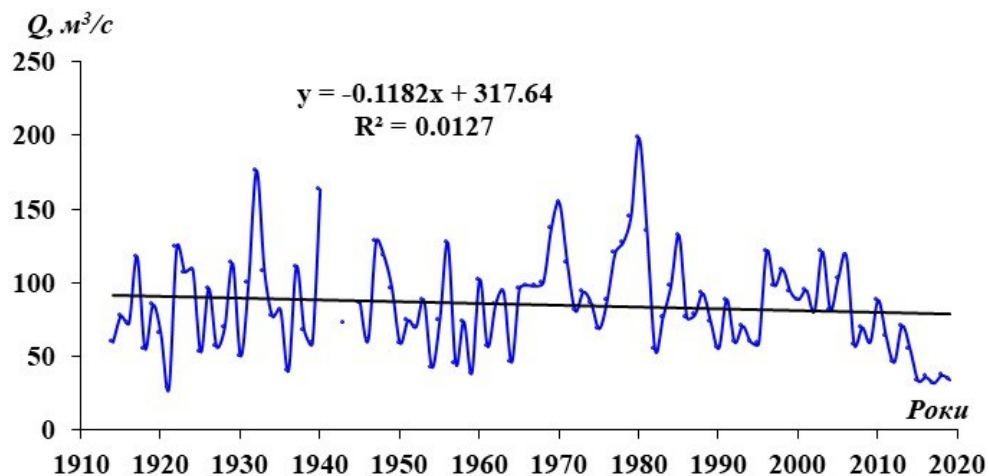


Рисунок 3.4 – Середні річні витрати води р. Південний Буг – смт Олександрівка, 1914-2019 рр.

Оптимальне значення періоду осереднення T , яке було визначено за даними спостережень на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка становить 15 років (табл. 3.5). Таке ж значення T було визначене Леоновим Є.А. у роботі [129] для багатьох річок світу, але на відміну від річок Російської Федерації (рр. Волга, Нева, Північна Двіна та ін.), Африки (р. Конго), Південної Америки (р. Парана), Австралії (р. Муррей) та Індії (р. Годоварі), чергування періодів підвищеної та пониженої водності р. Південний Буг – смт Олександрівка відбуваються у протифазі так само, як і на річках Європи (рр. Дунай, Лаба) та Північної Америки (рр. Ніагара, Міссурі).

Виявлене послідовне чергування 15-річних періодів підвищеної та пониженої водності р. Південний Буг біля смт Олександрівка, розпочинаючи з 1922 року, дозволило скласти прогноз на періоди 2012-2026 та 2027-2041 рр. за методом α згідно формул (2.3-2.8). Результат наведено у табл. 3.6 та на рис. 3.5. Згідно прогнозу у період 2020-2041 рр. слід очікувати значного зростання середніх річних витрат води, у порівнянні з 2015-2019 рр. Враховуючи те, що весняне водопілля є основною багатоводною фазою водного режиму р. Південний Буг слід очікувати і зростання максимальних витрат у прогнозовані періоди.

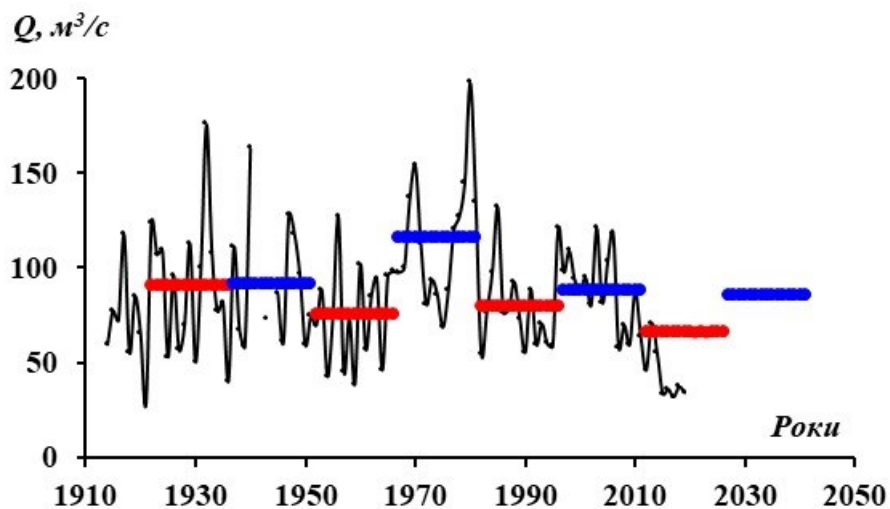


Рисунок 3.5 – Чергування 15-ти річних періодів водності р. Південний Буг – смт Олександрівка і прогноз водності річки на 2012-2026 та 2027-2041 рр. [92]

Таблиця 3.5 – Матриця середніх річних витрат води на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка за 15-ти річні періоди

Період	Порядковий номер кожного 15-ти річного періоду															$Q_{серед}$	α
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1922-1936	124	107	109	52,9	96,1	56,5	69,2	113	50,2	99,9	176	108	77,0	81,7	40,0	90,7	
1937-1951	111	67,4	58,8	163			72,6		86,3	60,7	128	118	96,2	59,1	74,3	91,3	0,99
1952-1966	69,8	88,1	42,6	74,7	127	45,0	73,6	38,4	102	56,7	85,0	93,8	45,9	96,1	98,0	75,8	1,20
1967-1981	97,6	100	137	154	113	80,8	93,6	85,9	68,6	88,0	120	127	145	198	135	116	0,65
1982-1996	54,7	76,3	97,7	132	76,3	77,9	92,6	73,2	55,4	88,5	59,5	70,5	59,9	58,5	121	79,6	1,46
1997-2011	97,9	109	93,7	88,5	94,7	80,5	121	81,6	103	118	57,9	69,6	59,5	88,1	63,5	88,4	0,90

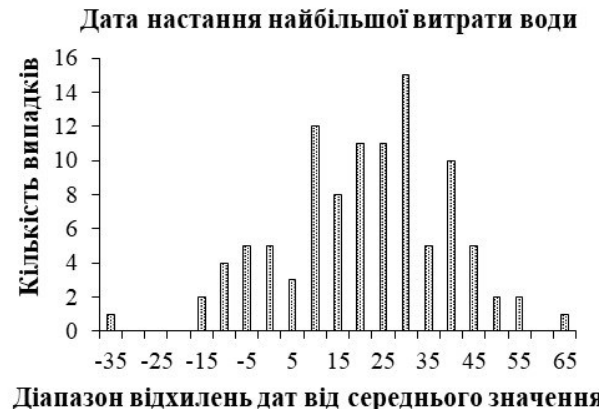
Таблиця 3.6 – Прогноз середніх витрат води за 15-ти річні періоди і найбільших та найменших середніх річних витрат води в прогностному інтервалі часу, р. Південний Буг – смт Олександрівка

Період	$Q_{сер}$	α	Q_{max}	Δ_{max}	Q_{min}	Δ_{min}
1922-1936	90,7		176	1,94	40,0	0,44
1937-1951	91,3	0,99	163	1,79	58,8	0,64
1952-1966	75,8	1,20	127	1,68	38,4	0,51
1967-1981	116	0,65	198	1,70	68,6	0,59
1982-1996	79,6	1,46	132	1,66	54,7	0,69
1997-2011	88,4	0,90	121	1,37	57,9	0,65
Прогноз						
2012-2026	66,5	1,33	117	1,76	36,6	0,53
2027-2041	85,2	0,78	138	1,62	53,7	0,63

3.3 Фасетна класифікація гідрографів

Дослідження різноманітних форм гідрографів має важливе значення, оскільки форми гідрографа відбивають різні водні режими річки та дозволяють простежити їхню циклічність з часом [137-141, 95]. Основою таких досліджень є класифікація гідрографів річки. У наших роботах [35, 91] розроблено методологію класифікації гідрографів весняного водопілля річки та виконано її апробацію для р. Південний Буг. Запропонована методика класифікації гідрографів весняного водопілля річки відноситься до фасетної системи класифікації з використанням багатовимірною статистичного підходу і контрольованою кількістю класів.

Аналіз даних спостережень на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка показав, що дати початку та закінчення весняного водопілля та настання найбільшої витрати води розподілені по закону, що є близьким до нормального, а найбільші строкові витрати води мають асиметричний розподіл (рис. 3.6). Отже, для середнього значення дат початку та закінчення весняного водопілля, настання найбільшої витрати води прийнято діапазон $\pm 0,355\sigma$. Ймовірність знаходження дат у даному діапазоні становить 30%. Дати, які виходять за межі даного діапазону віднесені до ранніх ($< -0,355\sigma$) та пізніх ($> 0,355\sigma$). Середнє квадратичне відхилення (σ) для усіх трьох дат становить 6 діб (табл. 3.7).



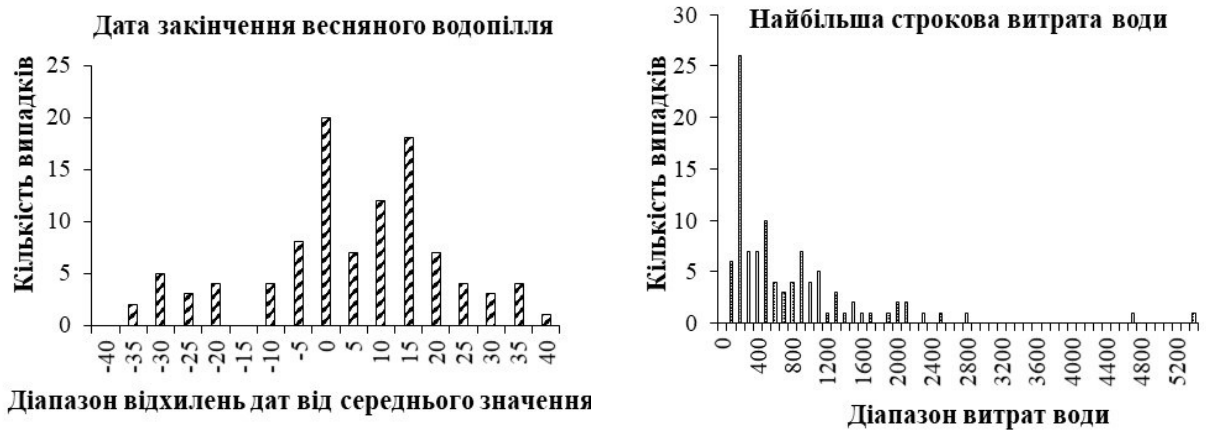


Рисунок 3.6 – Гістограми дат початку та закінчення весняного водопілля, настання найбільшої витрати води та найбільших строкових витрат води, р. Південний Буг – смт Олександрівка, 1914-2015 рр. [35]

Таблиця 3.7 – Дати початку та закінчення весняного водопілля і настання найбільшої витрати води на р. Південний Буг – смт Олександрівка (1914-2015 рр.) [35]

Дати			σ	Дата з ймовірністю	
середня	рання	пізня		- 0,355σ	+0,355σ
Початок весняного водопілля					
25 лютого	11 січня	27 березня	6	19 лютого	3 березня
Настання найбільшої витрати води					
19 березня	25 січня	2 травня	6	13 березня	25 березня
Закінчення весняного водопілля					
3 травня	23 березня	6 червня	6	27 квітня	9 травня

Для середнього значення найбільшої строкової витрати води прийнято діапазон забезпечностей 33,3-66,7%. Витрати води, які виходять за межі даного діапазону віднесено до високих (< 33,3%) та низьких (> 66,7%) (табл. 3.8).

Для фасетної класифікації було використано 102 гідрографи, які наведено на рис. 3.7. Отже, відповідно до фасетної класифікації було отримано 81 клас теоретичних гідрографів з різними характеристиками (табл. 3.9, стовпчик «Значення фасет»). Кожен клас має гідрографи з подібною формою.

Таблиця 3.8 – Найбільші витрати води весняного водопілля, р. Південний Буг – смт Олександрівка за період 1914-2015 рр. [35]

Найбільші витрати води, м ³ /с			Найбільші витрати води з ймовірністю, м ³ /с	
середня	висока	низька	33,3%	66,7%
733	5320	76	736	278

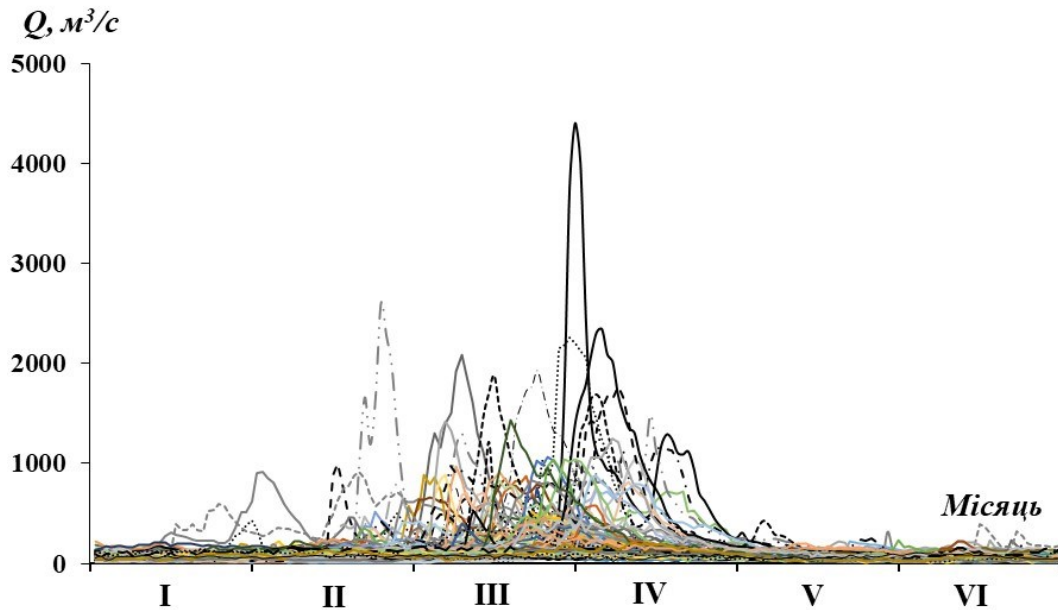


Рисунок 3.7 – Гідрографи весняного водопілля на р. Південний Буг біля смт Олександрівка за період 1914-2015 рр. [35]

Таблиця 3.9 – Результати фасетної класифікації, р. Південний Буг – смт Олександрівка, 1914-2015 рр. [35]

Номер класу	Значення фасет (X ¹ X ² X ³ X ⁴)	Роки, в які спостерігалися гідрографи з подібною формою
1	Р Р Р Н _В	1957, 1974, 1990, 1995, 1997, 2002, 2004, 2014
2	Р Р Р С _В	1938, 1950
3	Р Р Р В _В	1977, 1960
4	Р Р С Н _В	1914, 1930, 2000
5	Р Р С С _В	1948
6	Р Р С В _В	-
7	Р Р П Н _В	1918
8	Р Р П С _В	1958, 1966
9	Р Р П В _В	1941

Номер класу	Значення фасет (X ¹ X ² X ³ X ⁴)	Роки, в які спостерігалися гідрографи з подібною формою
10	Р С Р Н _В	1972
11	Р С Р С _В	-
12	Р С Р В _В	-
13	Р С С Н _В	1961
14	Р С С С _В	1915
15	Р С С В _В	-
16	Р С П Н _В	-
17	Р С П С _В	1949
18	Р С П В _В	-
19	Р П Р Н _В	-
20	Р П Р С _В	-
21	Р П Р В _В	-
22	Р П С Н _В	1925
23	Р П С С _В	1916, 1939
24	Р П С В _В	1928
25	Р П П Н _В	1944, 2013
26	Р П П С _В	-
27	Р П П В _В	1956, 1963, 1973
28	С Р Р Н _В	1959, 1989
29	С Р Р С _В	-
30	С Р Р В _В	1970, 1978
31	С Р С Н _В	2010
32	С Р С С _В	1943, 1986
33	С Р С В _В	1922, 1923, 1934
34	С Р П Н _В	1936
35	С Р П С _В	-
36	С Р П В _В	1935, 1951, 1965
37	С С Р Н _В	1921, 1975, 1992, 1994, 2007
38	С С Р С _В	1999
39	С С Р В _В	1937, 1945
40	С С С Н _В	2015
41	С С С С _В	-
42	С С С В _В	1926, 1967
43	С С П Н _В	1954
44	С С П С _В	1946
45	С С П В _В	1920, 1947, 1979
46	С П Р Н _В	-
47	С П Р С _В	-
48	С П Р В _В	1953
49	С П С Н _В	1998, 2008
50	С П С С _В	1976, 1988

Номер класу	Значення фасет (X ¹ X ² X ³ X ⁴)	Роки, в які спостерігалися гідрографи з подібною формою
51	С П С В _в	1962
52	С П П Н _в	1982
53	С П П С _в	1931
54	С П П В _в	-
55	П Р Р Н _в	-
56	П Р Р С _в	-
57	П Р Р В _в	-
58	П Р С Н _в	-
59	П Р С С _в	-
60	П Р С В _в	-
61	П Р П Н _в	-
62	П Р П С _в	1927
63	П Р П В _в	-
64	П С Р Н _в	2001
65	П С Р С _в	1971
66	П С Р В _в	-
67	П С С Н _в	-
68	П С С С _в	2005
69	П С С В _в	2003
70	П С П Н _в	2012
71	П С П С _в	1955
72	П С П В _в	1933
73	П П Р Н _в	1983, 1991, 2009
74	П П Р С _в	1981
75	П П Р В _в	1968
76	П П С Н _в	1993, 2011
77	П П С С _в	1919, 1984, 1987
78	П П С В _в	1985
79	П П П Н _в	1964
80	П П П С _в	2006
81	П П П В _в	1917, 1924, 1929, 1932, 1940, 1942, 1952, 1969, 1980, 1996

Примітка: X¹ – дата початку весняного водопілля, X² – дата настання найбільшої витрати води, X³ – дата закінчення весняного водопілля, X⁴ – дата найбільшої витрати води, Р – рання дата, С – середня дата, П – пізня дата, В_в – висока витрата води, С_в – середня витрата води, Н_в – низька витрата води

Аналіз отриманих класів гідрографів показав, що вони характеризуються різними формами, які дуже відрізняються між собою (приклад на рис. 3.8).

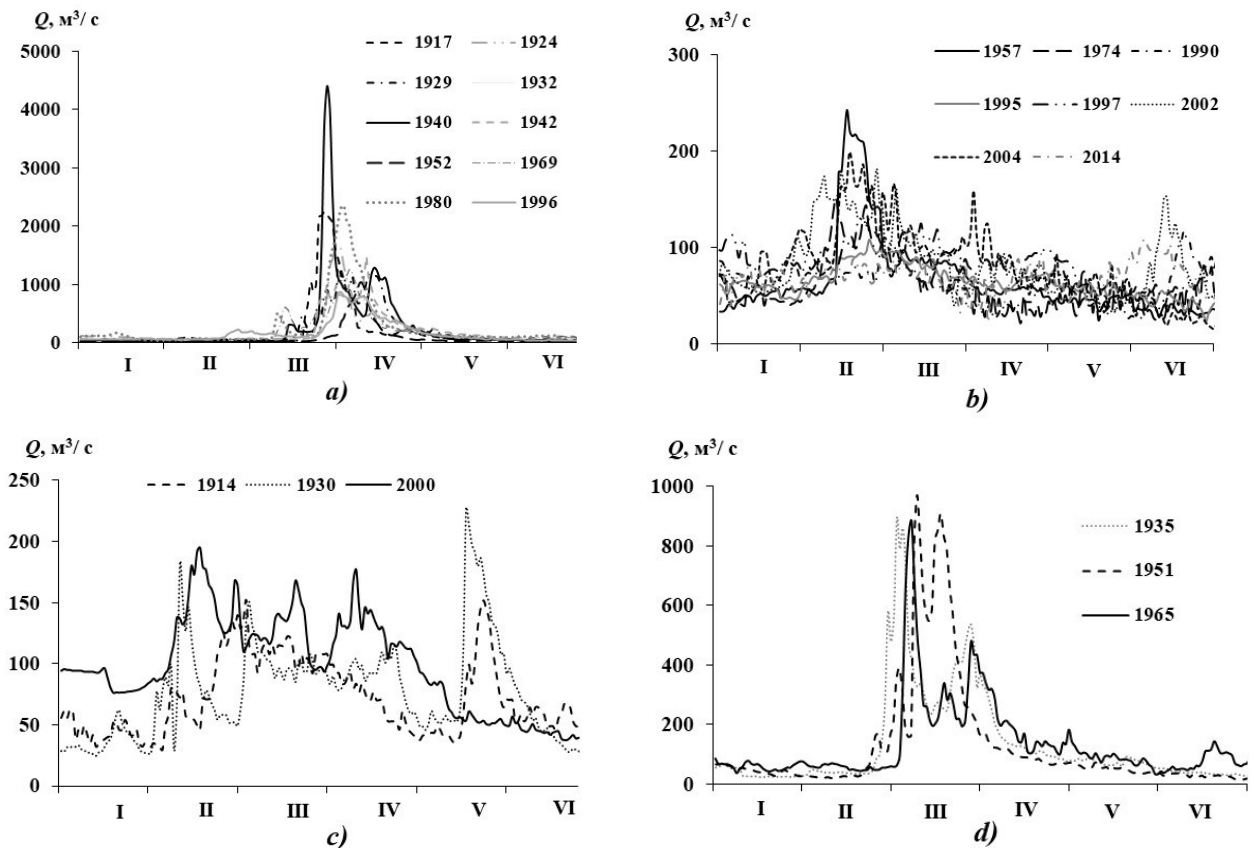


Рисунок 3.8 – Класи гідрографів з подібною формою [35]

Це можна пояснити тим, що водний стік р. Південний Буг формується у трьох фізико-географічних зонах, що і призводить до утворення гідрографів складної та різноманітної форми. Найбільшу чисельність має 81 клас до якого увійшли гідрографи весняного водопілля з пізніми датами початку водопілля, настання найбільшої витрати води та закінчення водопілля, а також високими витратами води. До цього класу увійшло 10 гідрографів, які спостерігались у наступні роки: 1917, 1924, 1929, 1932, 1940, 1942, 1952, 1969, 1980, 1996 (рис. 3.8 *a*). Значну чисельність має група гідрографів весняного водопілля з протилежними характеристиками, тобто з ранніми датами початку водопілля, настання найбільшої витрати води та закінчення водопілля, а також низькими витратами води (1 клас). Цей клас об'єднав 8 гідрографів, а саме 1957, 1974, 1990, 1995, 1997, 2002, 2004, 2014 роки (рис. 3.8 *b*). Тридцять один клас мають лише один гідрограф, а двадцять п'ять – поки що жодного. Таку ситуацію можна пояснити тим, що період спостережень (всього 102 гідрографи) є дуже

коротким і не може охопити різноманіття комбінацій характеристик гідрографів, тобто класифікаційних ознак. У подальшому з подовженням спостережень класи будуть поповнюватися гідрографами з відповідними характеристиками. Разом з тим, такий спосіб класифікації дозволяє отримати уявлення про гідрографи, які ще не спостерігалися за період інструментальних спостережень, але можуть бути притаманними для даної річки. У деякі класи увійшли гідрографи, які спостерігалися як на початку, так і наприкінці ХХ століття (рис. 3.8 с). Так, 4 клас, який складається з гідрографів 1914, 1930 та 2000 років має ранні дати початку весняного водопілля та настання найбільшої витрати води, середні дати закінчення водопілля та низькі витрати води. Отже можна припустити, що подібні форми гідрографів можуть мати однакові умови формування стоку води через циклічність кліматичних та гідрологічних процесів, як це було показано у роботі [95].

В залежності від напрямків та завдань гідрологічних досліджень усі виявлені класи гідрографів можуть бути об'єднані в групи за певними ознаками: за середньою водністю року, за максимальною витратою весняного водопілля, за належністю до мало- або багатоводної фази циклічних коливань тощо. Це легко можна виконати, оскільки, фасетний метод класифікації характеризується гнучкістю, тобто за необхідністю можна використати додаткові ознаки класифікації, що не призведе до повного оновлення та ускладнення розрахунків.

Розроблена методика відноситься до фасетної системи класифікації з використанням багатовимірною статистичного підходу з контрольованою кількістю класів. Хоча це дослідження охоплює класифікацію гідрографів весняного водопілля, проте представлена методологія може бути застосована і до інших гідрологічних подій, наприклад, до класифікації періодів маловоддя, штормових та дощових повеней, внутрішньорічного розподілу потоків. Отже, отримані нами результати дають змогу розширити знання щодо умов формування весняного водопілля на річках та можуть бути важливими

для гідрологічних розрахунків та довгострокового прогнозування, а також управління водними ресурсами тощо.

3.4 Статистичний аналіз максимального стоку за методом Indicators of Hydrologic Alteration

Дослідження коливань та змін гідрологічних характеристик максимального стоку р. Південний Буг виконано у нашій роботі [10] за методом Indicators of Hydrologic Alteration (ІНА). Аналіз виконано вздовж річки Південний Буг. Як відомо, для басейну річки Південний Буг характерне чітко виражене весняне водопілля, під час якого формується від 35 до 60% річного стоку [22, 28]. Формування стоку відбувається в різних частинах басейну, які відрізняються між собою природними умовами. Отже, басейн Південного Бугу можна умовно розділити на три частини (рис. 3.9) [10]:

I) Верхня частина басейну, знаходиться у лісовій зоні. Її може характеризувати гідрологічний пост р. Південний Буг – с. Селище: площа водозбору складає 9100 км², довжина від гирла – 550 км, середня багаторічна витрата води – 28,4 м³/с, найбільша витрата води весняного водопілля – 250 м³/с (21.03.2003). Найбільші витрати води спостерігаються у період весняного водопілля, а найменші – у зимовий період з грудня по лютий.

II) Середня частина басейну, розташована у лісостеповій зоні. Замикальним постом цієї зони, можна вважати гідрологічний пост р. Південний Буг – смт Олександрівка: площа водозбору – 46200 км², довжина від гирла – 132 км, середня багаторічна витрата води – 83,7 м³/с, найбільша витрата води весняного водопілля – 5320 м³/с (08.04.1932). Найбільш багатоводними місяцями цієї частини басейну є лютий, березень та квітень. Найменші витрати спостерігаються у літньо-осінній період.

III) Нижня частина басейну р. Південний Буг, розташована у степовій зоні на Причорноморській низовині. Для цієї зони немає замикального посту

спостережень щодо витрат води. Переважна більшість річок цієї зони пересихає у літній період, а взимку перемерзає. Літні дощі (за винятком сильних) не утворюють поверхневого стоку.

Для дослідження обрано ряди спостережень 5 гідрологічних постів, які розташовано безпосередньо на руслі річки Південний Буг (табл. 3.10, рис. 3.9). Щоденні середньодобові витрати води від початку спостережень по 2018 та 2019 рр. включно використано для дослідження. Зазначимо, що гідрологічний пост, який розташовано біля с. Селище не можна використати для аналізу, оскільки тільки у 2002 році розпочалися спостереження на цьому посту і, відповідно, їхня тривалість є недостатньою. Обрані пости спостережень, характеристики яких наведено у табл. 3.10, досить рівномірно розташовані вздовж річки, що дозволяє простежити розраховані статистичні показники за ІНА та дослідити їхні зміни.



Рисунок 3.9 – Схема басейну річки Південний Буг та розташування основних гідрологічних постів на її руслі (нумерація постів відповідає таблиці 3.10) [10]

Таблиця 3.10 – Список обраних для дослідження гідрологічних постів, які розташовано вздовж річці Південний Буг [10]

№	Назва посту на річці Південний Буг	Відстань від гирла, км	Площа водозбору, км ²	Широта/Довгота	Н, м БС	Щоденні середньодобові витрати води	
						Період	$Q_{сер.}$, м ³ /с
1	с. Пирогівці	712	827	49,22/27,15	274	1964-2019	3,91
2	с. Лелітка	641	4000	49,33/27,54	250	1936-40, 1943, 1964-2019	13,9
3	с. Тросянчик	369	17400	48,30/29,23	156	1931-35, 1950-60, 1964-67, 1969-2018	45,8
4	с. Підгір'я	220	24600	48,05/30,40	78	1926-40, 1943, 1958-2018	57,1
5	смт Олександрівка	132	46200	47,41/31,16	10	1914-22, 1924-31, 1933-40, 1943-2019	83,7

На р. Південний Буг максимальні середньомісячні витрати води спостерігаються у квітні (рис. 3.10 а). Найбільші середньомісячні багаторічні витрати води у верхній та середній течії р. Південний Буг зазвичай спостерігається також у квітні. Аналіз показує, що пост спостережень біля смт Олександрівка є винятком. Для нього така витрата спостерігається у березні (рис. 3.10 б). Отже, таку ситуацію можна пояснити особливостями формування водного стоку, а саме значним впливом р. Синюха на формування витрат води річки Південний Буг біля смт Олександрівка. Річка Синюха є лівою притокою Південного Бугу. Вона впадає у Південний Буг за 0,5 км вище від м. Первомайськ. Річка Синюха є найбільшою за площею і водністю притокою р. Південний Буг [3]. Її середня водність становить близько 40% від загальної водності Південного Бугу у місці впадіння. За відсутності суттєвої приточності після впадіння р. Синюхи до р. Південний Буг витрати води у його замикальному гідрологічному створі біля смт Олександрівка майже не змінюються. Басейн річки Синюха розташовано у лісо-степовій зоні (рис. 3.9). На водозборі Синюхи період сніготанення настає раніше і відбувається більш

інтенсивніше у порівнянні з частиною басейну Південного Бугу, що розташовано від витoku до поста спостережень біля с. Підгір'я.

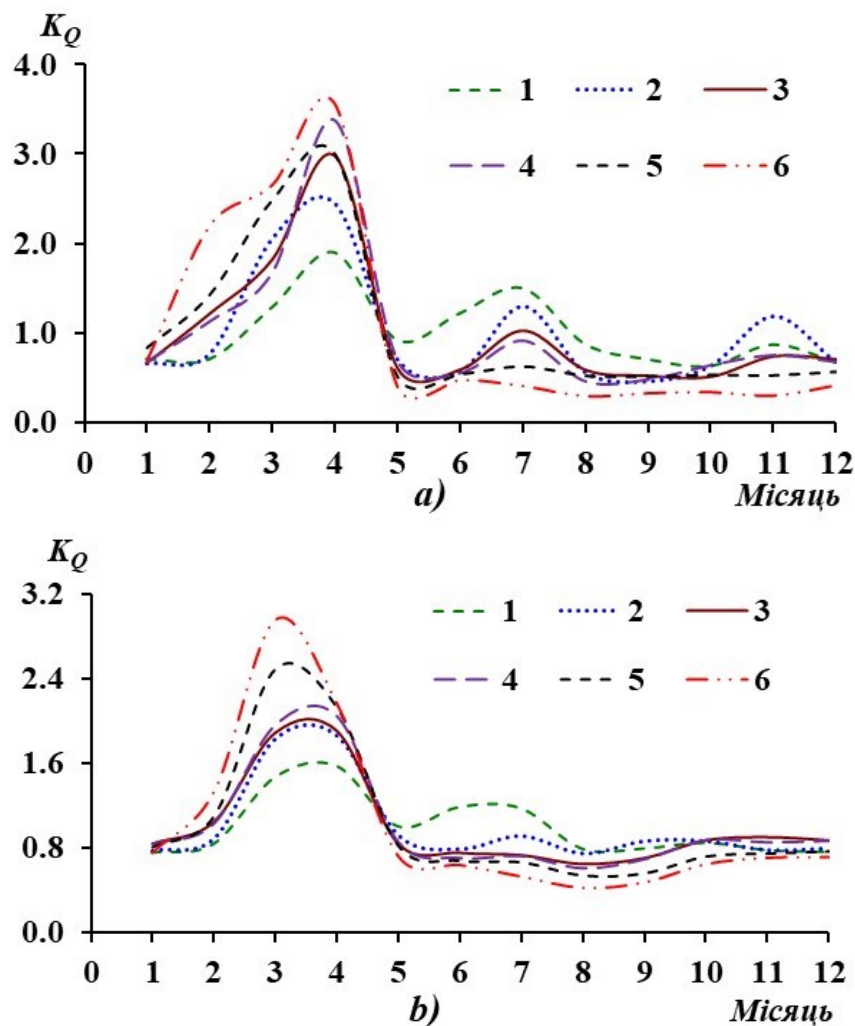


Рисунок 3.10 – Максимальні середньомісячні витрати води (а) та середньомісячні багаторічні витрати води (b) на річці Південний Буг [10]

(1 – р. Південний Буг – с. Пирогівці; 2 – р. Південний Буг – с. Лелітка; 3 – р. Південний Буг – с. Тростяничок; 4 – р. Південний Буг – с. Підгірці; 5 – р. Південний Буг – смт Олександрівка; 6 – р. Синюха – с. Синюхін Брід)

Це відбувається за рахунок більш високих температур повітря та зменшення лісового покриву на водозборі р. Синюха. Все вище перелічене і визначає настання найбільшої водності на річці Синюха саме у березні і обумовлює її досить вагомий вплив на формування водності р. Південний Буг, про що і свідчать дані багаторічних спостережень (рис. 3.10 b).

Розподіл характеристик водного стоку на п'ять складових відбувався за пороговими значеннями витрат води, які наведено у табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Порогові значення витрат води на гідрологічних постах вздовж р. Південний Буг, м³/с [10]

Гідрологічний пост	Великі повені	Невеликі повені	Пульсації високого стоку	Низький стік	Надзвичайно низький стік
Пирогівці	$\leq 30,8$	$\leq 14,8$	$\leq 5,10$	$\geq 3,05$	$\geq 1,01$
Лелітка	≤ 155	$\leq 44,5$	$\leq 16,0$	$\geq 10,6$	$\geq 4,32$
Тростяничик	≤ 685	≤ 194	$\leq 53,6$	$\geq 35,2$	$\geq 13,3$
Підгір'я	≤ 825	≤ 235	$\leq 65,6$	$\geq 44,0$	$\geq 17,4$
Олександрівка	≤ 1400	≤ 394	$\leq 92,0$	$\geq 58,3$	$\geq 22,8$

На рис. 3.11 наведено приклад такого розподілу для гідрологічного поста р. Південний Буг – смт Олександрівка.

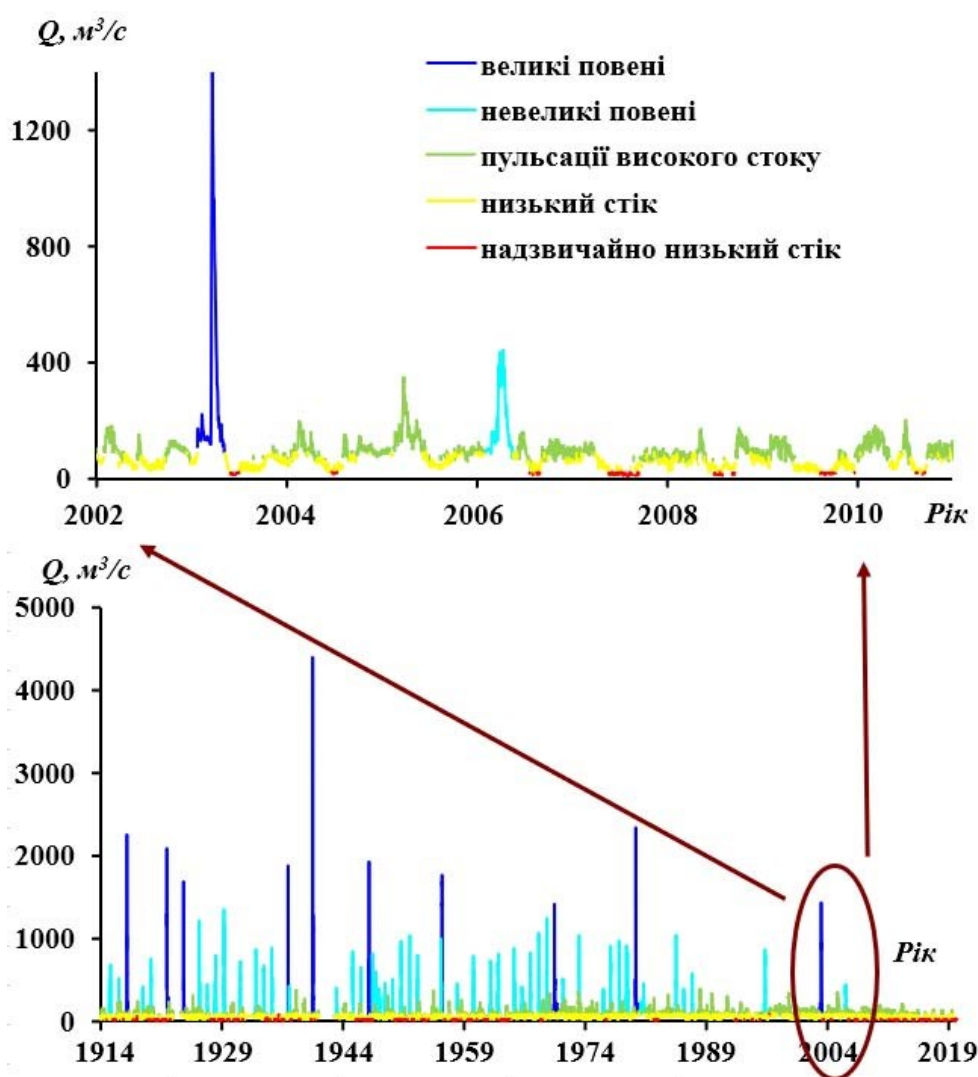


Рисунок 3.11 – Розділення гідрографів за різними характеристиками водного стоку для гідрологічного поста р. Південний Буг – смт Олександрівка (детально за 2002-2010 рр.) [10]

Надалі виконувався аналіз розрахованих статистичних параметрів за ІНА для таких складових водного стоку як великі повені, невеликі повені та пульсації високого стоку. На гідрологічних постах вздовж р. Південний Буг середні багаторічні, порогові та середні пікові значення витрат води зростають у напрямку від витоків до гирла річки (табл. 3.10, 3.11, 3.12, рис. 3.12).

Таблиця 3.12 – Середні пікові значення витрат води на гідрологічних постах вздовж р. Південний Буг, м³/с [10]

Гідрологічний пост	Великі повені	Невеликі повені	Пульсації високого стоку
Пирогівці	42,9	21,1	6,22
Лелітка	212	95,3	19,4
Тростянчик	1019	367	59,4
Підгір'я	1321	453	75,2
Олександрівка	2121	733	110

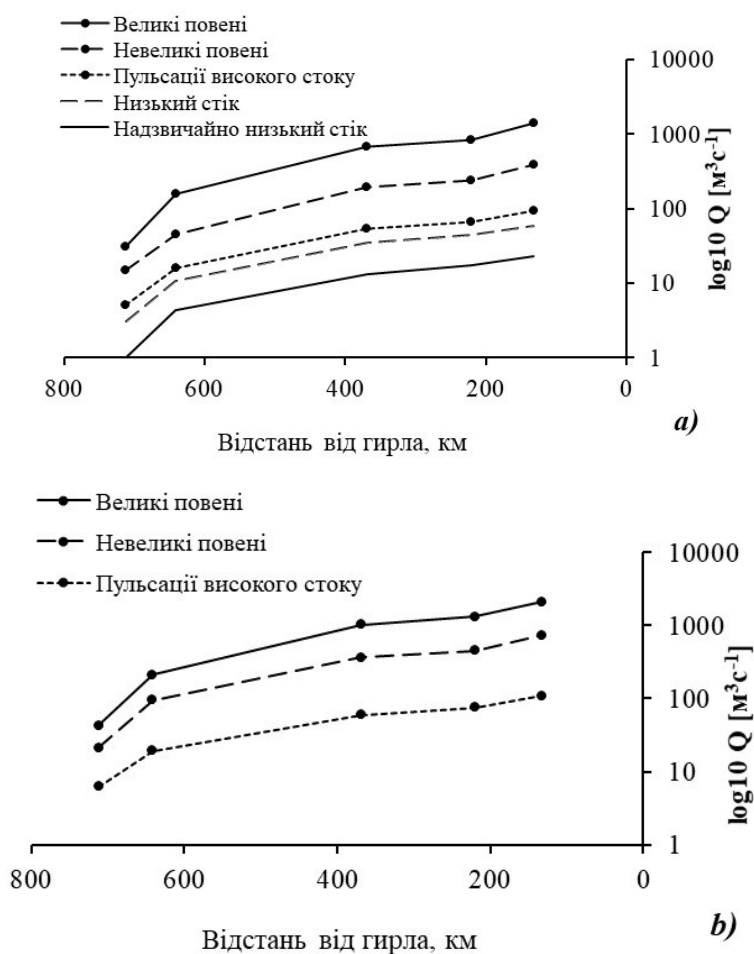
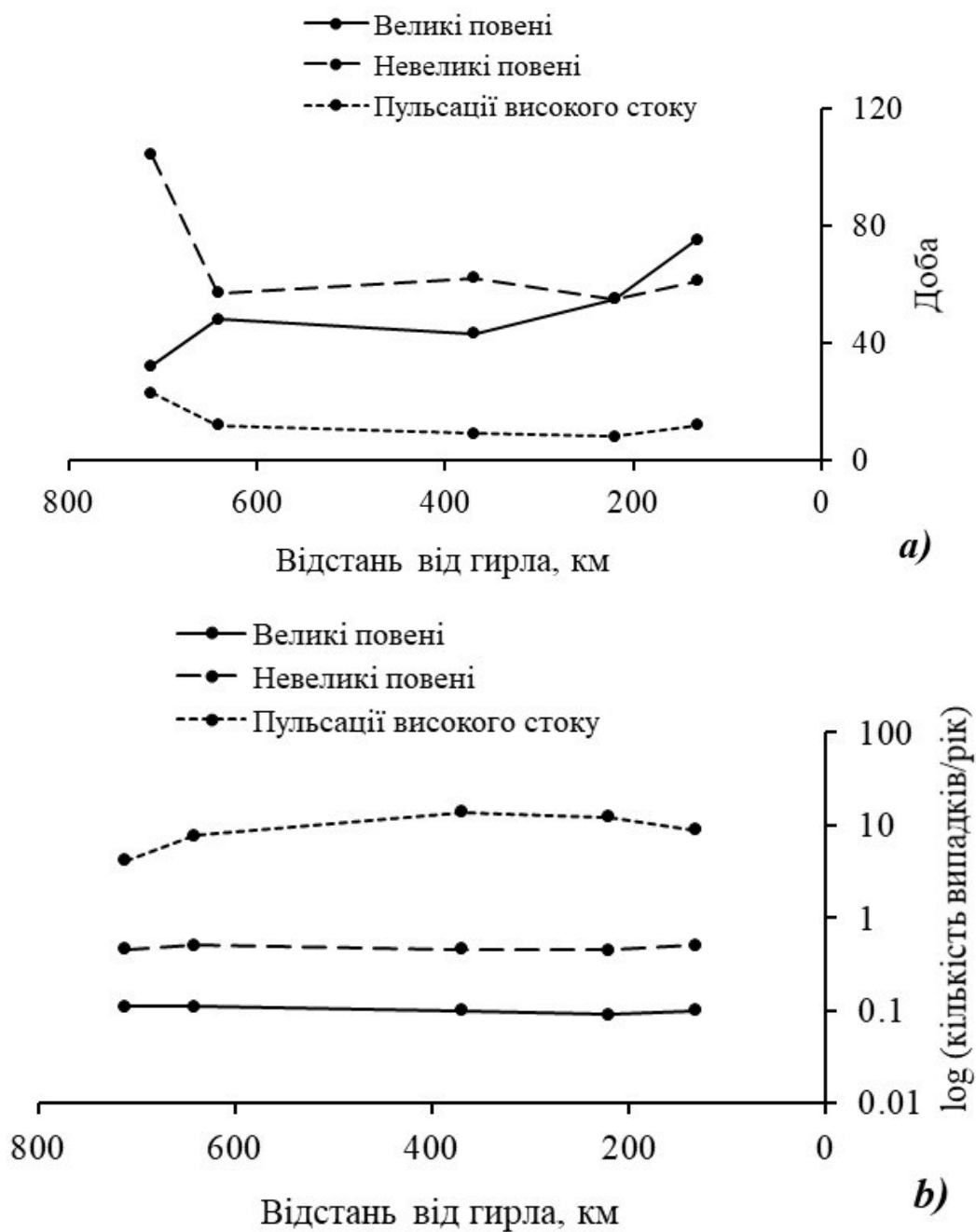


Рисунок 3.12 – Порогові (a) та середні пікові (b) значення витрат води на гідрологічних постах вздовж р. Південний Буг [10]

Середня тривалість великих повеней зростає від 32 до 75 діб у напрямку від витоку р. Південний Буг до гирла. У верхів'ї невеликі повені мають найбільшу тривалість, а на решті річки тривалість перебуває в межах 55-61 діб. У верхів'ї тривалість пульсацій високого стоку також найбільша і зменшується у напрямку до гирла річки (табл. 3.13, рис. 3.13 а).



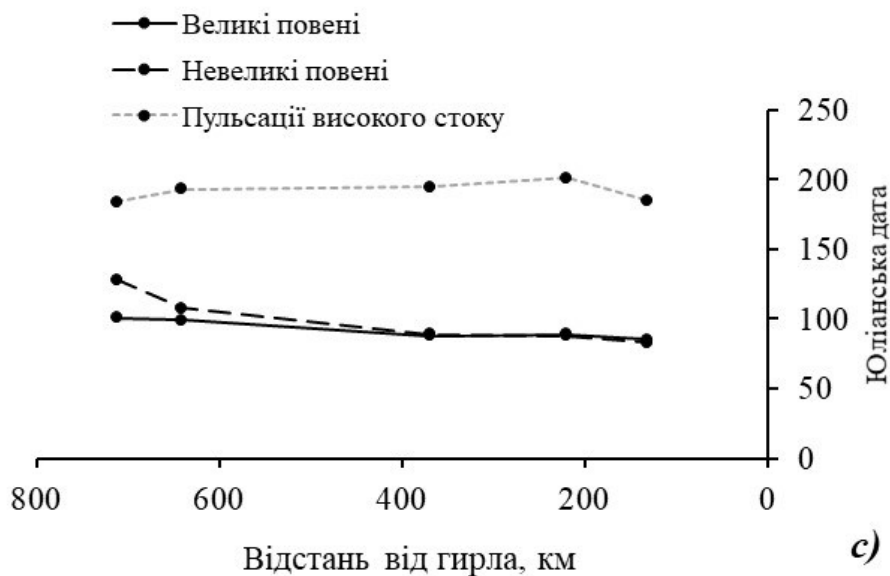


Рисунок 3.13 – Середня тривалість (а), середня частота (б) і середні юліанські дати піків (с) складових водного стоку на гідрологічних постах вздовж р. Південний Буг [10]

Таблиця 3.13 – Середня тривалість (доба) / середня частота (кількість випадків/рік) / середні юліанські дати піків (доба) складових водного стоку на гідрологічних постах вздовж р. Південний Буг [10]

Гідрологічний пост	Великі повені	Невеликі повені	Пульсації високого стоку
Пирогівці	32 / 0,11 / 101	104 / 0,46 / 128	23 / 4,13 / 184
Лелітка	48 / 0,11 / 99	57 / 0,50 / 108	12 / 7,71 / 193
Тростянчик	43 / 0,10 / 88	62 / 0,46 / 89	9 / 13,7 / 195
Підгір'я	55 / 0,09 / 89	55 / 0,45 / 88	8 / 12,3 / 201
Олександрівка	75 / 0,10 / 85	61 / 0,50 / 83	12 / 8,85 / 185

На р. Південний Буг великі повені трапляються в середньому 1 раз на 10 років, а невеликі – 1 раз на 2 роки. У верхів'ях річки пульсації високого стоку спостерігаються 4-8 раз на рік, а в середній течії – 9-14 раз на рік (табл. 3.13, рис. 3.13 б).

У верхів'ях р. Південний Буг середні юліанські дати піків великих та невеликих повеней спостерігаються в перших декадах квітня та травня, відповідно, а в середній течії – у третій декаді березня. Вздовж р. Південний Буг в першій-другій декаді липня спостерігаються пульсації високого стоку (табл. 3.13, рис. 3.13 с).

Інтенсивність росту витрат води на підйомі зростає з наближенням до гирла р. Південний Буг для усіх трьох видів високого стоку. Разом з цим, найбільшими темпами зростання характеризуються високі повені, а найменшими – пульсації високого стоку (табл. 3.14, рис. 3.14 *a*). Такі саме тенденції характерні і для інтенсивності зниження витрат води на спаді високого стоку (табл. 3.14, рис. 3.14 *b*).

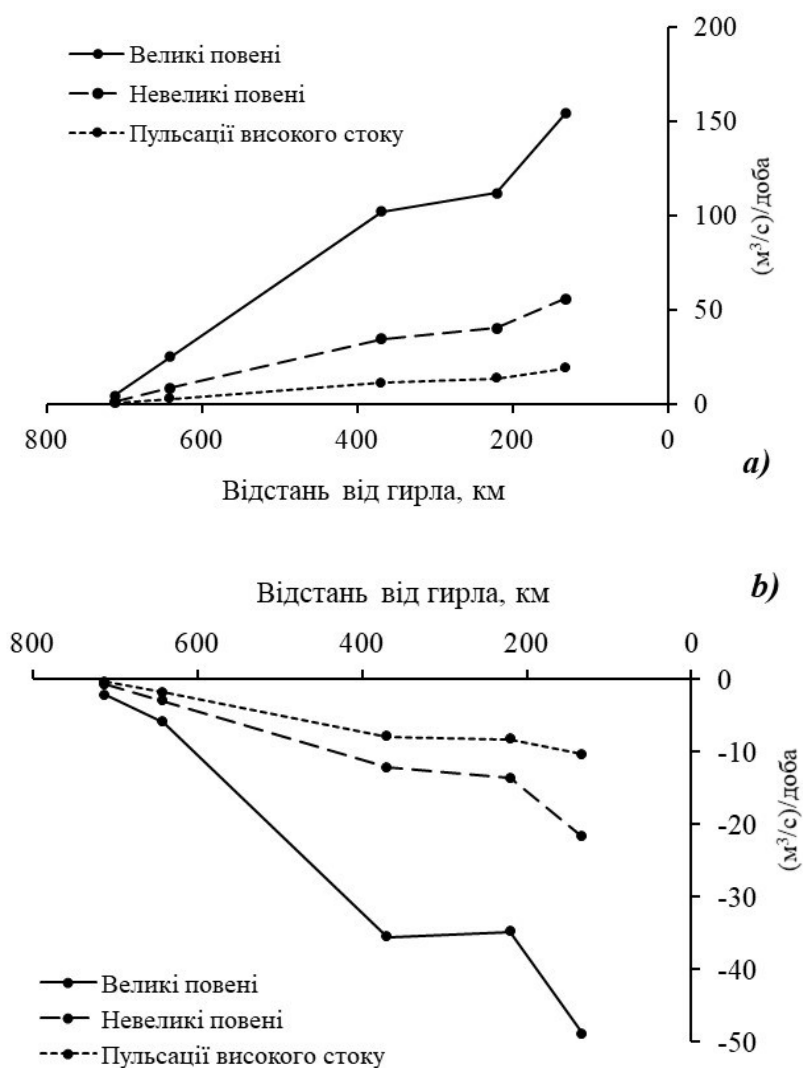


Рисунок 3.14 – Інтенсивність росту витрат води на підйомі (*a*) та інтенсивність зниження витрат води на спаді (*b*) високого стоку на гідрологічних постах вздовж р. Південний Буг [10]

Таблиця 3.14 – Інтенсивність росту витрат води на підйомі (чисельник) та інтенсивність зниження витрат води на спаді (знаменник) високого стоку на гідрологічних постах вздовж р. Південний Буг, (м³/с)/доба [10]

Гідрологічний пост	Великі повені	Невеликі повені	Пульсації високого стоку
Пирогівці	4,39 / -2,20	1,27 / -0,75	0,82 / -0,41
Лелітка	25,3 / -5,92	8,67 / -3,03	2,89 / -1,81
Тростянчик	102 / -35,6	34,5 / -12,2	11,4 / -7,93
Підгір'я	112 / -34,8	40,4 / -13,7	13,5 / -8,28
Олександрівка	154 / -48,9	56,0 / -21,7	18,9 / -1,04

На рис. 3.15 наведено зміни з часом характеристик великих повеней на прикладі спостережень на гідрологічних постах у верхів'ї та середній течії р. Південний Буг.

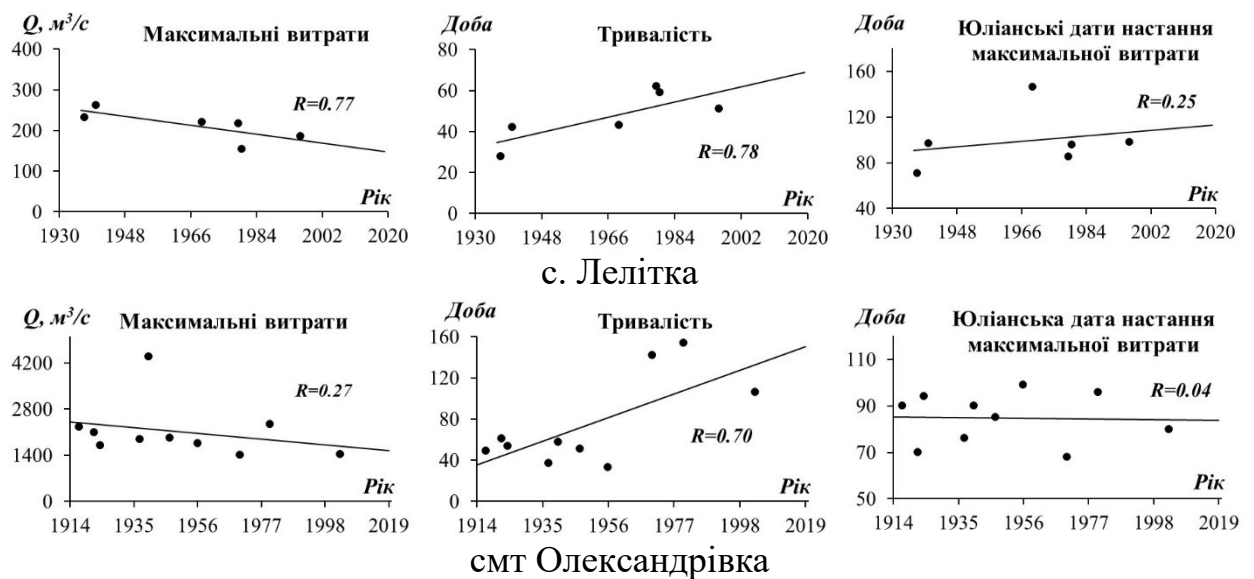


Рисунок 3.15 – Виявлення тенденцій змін характеристик великих повеней вздовж р. Південний Буг [10]

Аналіз отриманих результатів показує, що за період спостережень величини максимальних витрат води великих повеней мають тенденцію до зменшення. Одночасно, їхня тривалість значно збільшилась. У верхів'ї річки максимальні витрати великих повеней почали наставати пізніше. Разом з цим,

у замикальному створі біля смт Олександрівка дати настання максимальних витрат води великих повеней суттєво не змінилися.

Загалом тенденції характеристик невеликих повеней співпадають з тенденціями великих повеней. Виключенням є величини максимальних витрат води біля смт Олександрівка, які з часом не зазнали змін (рис. 3.16).

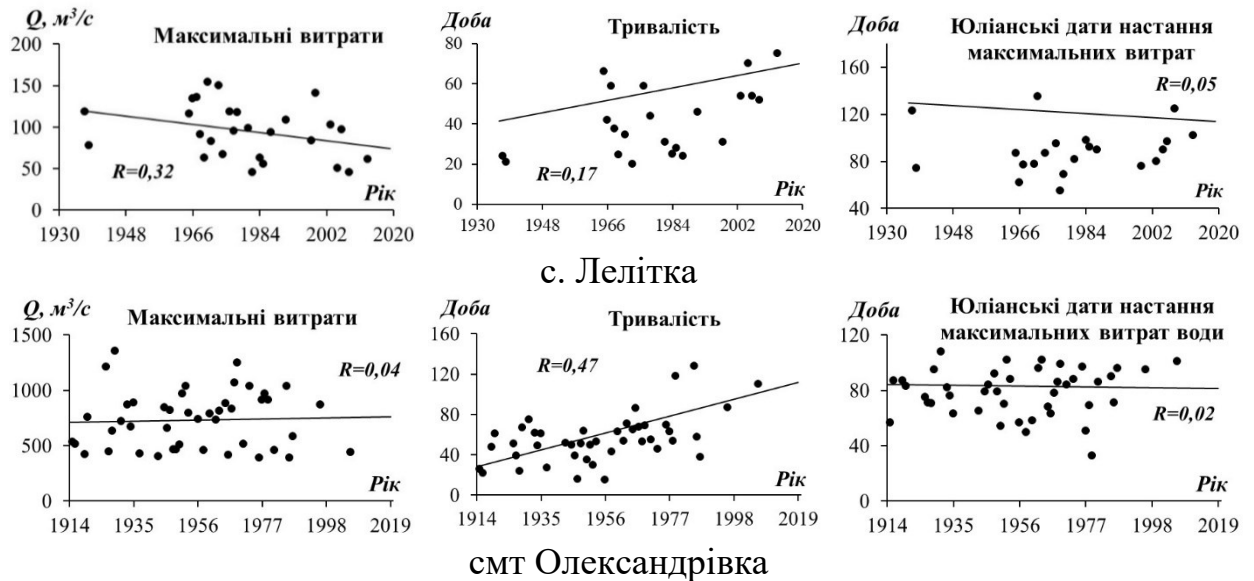


Рисунок 3.16 – Виявлення тенденцій змін характеристик невеликих повеней вздовж р. Південний Буг [10]

Аналіз характеристик пульсацій високого стоку вздовж річки свідчить про відсутність будь яких суттєвих тенденцій з часом (рис. 3.17). Загалом, у басейні р. Південний Буг отримані тенденції максимального стоку співпадають з тенденціями, які отримано у роботах інших вчених як для басейну р. Південний Буг, так і для інших рівнинних річок України [22, 27-29, 50]. Особливо це стосується великих повеней.

Використання методу ІНА дозволяє деталізувати високий стік і виконати розширений аналіз за багатьма показниками. Отже, це значно пришвидшує і спрощує дослідження. Зазначимо, що у даному дослідженні застосування методу ІНА вперше дозволило виявити і деякі особливості змін у різних класах високого стоку. Виявилось, що найбільш значимі зміни

відбуваються для великих повеней, тоді як для пульсацій високого стоку будь-яких суттєвих змін немає.

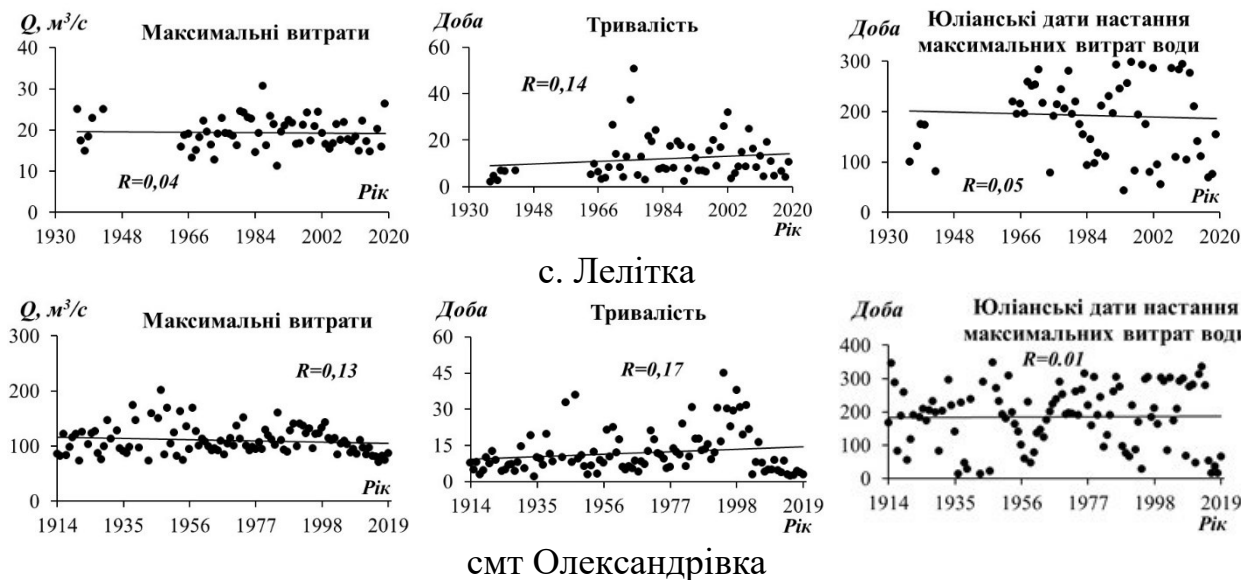


Рисунок 3.17 – Виявлення тенденцій змін характеристик пульсацій високого стоку вздовж р. Південний Буг [10]

Метод Indicators of Hydrologic Alteration знайшов широкого використання у світі для виявлення та аналізу тенденцій у змінах гідрологічного режиму різних водних об'єктів. Велика кількість наукових робіт присвячена таким дослідженням, частина з яких розглядалась і в даній роботі. Застосування цього методу для дослідження вперше дозволило отримати нові знання та розширити уявлення щодо дослідження статистичних показників водного стоку річки Південний Буг.

3.5 Висновки до розділу 3

1. Аналіз однорідності та стаціонарності максимальних витрат весняного водопілля показав, що ряди спостережень є квазіоднорідними та квазістаціонарними. Це пояснюється особливостями максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок, а саме наявністю в рядах

- спостережень лише зростаючої та спадаючої фаз довготривалих циклічних коливань, їхньою значною тривалістю і мінливістю максимального стоку.
2. Врахування впливу на водний стік річок космічних та планетарних чинників значно розширює знання щодо циклічних і періодичних коливань стоку річок. Це також надає можливість довгострокового прогнозування водного стоку річок із завчасністю, яка вимірюється роками та десятиліттями. Так, виявлене послідовне чергування 15-річних періодів підвищеної та пониженої водності р. Південний Буг, розпочинаючи з 1922 року, дозволило скласти прогноз на періоди 2012-2026 та 2027-2041 рр. Згідно прогнозу у період 2020-2041 рр. слід очікувати значного зростання середніх річних витрат води, у порівнянні з 2015-2019 рр. Відповідно, можна очікувати зростання і максимальних витрат весняного водопілля у ці періоди, оскільки саме ця фаза і визначає водність річки кожного року.
 3. Встановлено вплив на водний стік р. Південний Буг сонячної активності, спалахів на Сонці, Великих протистоянь Марса та Юпітера, а також появи поблизу Землі комет.
 4. За методикою фасетної класифікації гідрографів, яка використовує багатовимірний статистичний підхід і має контрольовану кількість класів серед 102 гідрографів весняного водопілля, які спостерігались на р. Південний Буг біля смт Олександрівка за період 1914-2015 рр. отримано 81 клас теоретичних гідрографів з різними характеристиками. Виявилось, що гідрографи весняного водопілля з високими, середніми та низькими витратами води характеризуються різними формами. Це пояснюється різними кліматичними умовами їхнього формування.
 5. Найбільш поширеними формами гідрографів є Р Р Р Н_в (ранній початок водопілля, раннє настання найбільшої витрати та ранній кінець водопілля, низька витрата) та П П П В_в (пізній початок водопілля, пізнє настання найбільшої витрати та пізній кінець водопілля, висока витрата), які містять 8 та 10 гідрографів відповідно.

6. Аналіз середньомісячних багаторічних витрат води показав, що річка Синюха має вагомий вплив на водність р. Південний Буг, а саме вона визначає настання її найбільшої водності біля смт Олександрівка.
7. У роботі розраховано статистичні показники водного стоку за методом ІНА, які поступово зростають у напрямку від витoku до гирла р. Південний Буг, що повністю відповідає фізико-географічним умовам його формування. Окрім цього, виявлено і деякі особливості максимального стоку. Так, у верхів'ї річки найбільшу тривалість мають невеликі повені та пульсації високого стоку.
8. На р. Південний Буг у середньому великі повені повторюються 1 раз на 10 років, невеликі – 1 раз на 2 роки, пульсації високого стоку – 4-8 раз на рік у верхів'ї та 9-14 раз на рік у середній течії.
9. У верхів'ї річки у середньому за юліанськими датами піки великих повеней спостерігаються в першій декаді квітня, невеликих повеней – першій декаді травня, у середній течії – у третій декаді березня, а пульсації високого стоку вздовж річки – в першій-другій декаді липня.
10. З часом величини максимальних витрат води великих та невеликих повеней мають тенденцію до зменшення, а їхня тривалість суттєво збільшилася. Разом з цим, максимальні витрати води невеликих повеней біля смт Олександрівка не зазнали суттєвих змін. За період спостережень для характеристик пульсацій високого стоку вздовж річки не виявлено будь яких суттєвих змін.

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ

4.1 Ймовірнісні характеристики

У розділі 3, п. 3.1 показано, що ряди спостережень максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг є квазіоднорідними та квазістаціонарними. Таке твердження дозволяє використати апарат математичної статистики для визначення розрахункових характеристик максимального стоку води. Разом з цим, для отримання достовірних і надійних статистичних характеристик ряди спостережень повинні містити екстремальні значення [73, 74, 93, 151]. Зазначимо, що в Україні на рівнинних річках, у тому числі, і в басейні Південного Бугу видатні і катастрофічні весняні водопілля переважно спостерігались у першій половині ХХ століття [27-29, 50]. Аналіз даних, які наведено у табл. 2.3 показує, що на багатьох гідрологічних постах спостереження розпочалися у другій половині ХХ століття. Наприклад, це такі ряди спостережень як на гідрологічних постах р. Південний Буг – с. Пирогівці та р. Південний Буг – с. Селище. Отже, такі ряди не є репрезентативними для розрахунків. Окрім цього, майже усі ряди містять пропуски у спостереженнях, які пов'язано з військовими діями, реконструкціями і реорганізаціями мережі спостережень тощо. Винятком є тільки гідрологічний пост р. Південний Буг – смт Олександрівка. Саме тому, у наших роботах [37-39] відповідно до вимог [73, 93] виконано подовження рядів та відновлення пропусків за методом регресії за змінною на основі даних річок аналогів. Аналіз результатів показав, що в часових рядах залишилися деякі пропуски, але їхній відсоток суттєво зменшився (табл. 4.1). Таке становище пояснюється тим, що, як зазначено у

роботі Горбачової Л.О. та Христюка Б.Ф. [40], у басейні річки Південний Буг виникають певні труднощі з вибором річок-аналогів.

Таблиця 4.1 – Відомості щодо подовження рядів та відновлення пропусків спостережень максимальних витрат води весняного водопілля у басейні р. Південний Буг [37]

№	Річка	Пост спостережень	Розрахунковий період, роки	Відсоток у даних	
				Відновлених	пропусків
1	Південний Буг	с. Пирогівці	1916-2015	36	12
2	Південний Буг	с. Лелітка	1917-2015	14	13
3	Південний Буг	с. Селище	1914-2015	85	1
4	Південний Буг	с. Тростянчик	1916-2015	11	8
5	Південний Буг	с. Підгір'я	1915-2015	17	8
6	Південний Буг	смт Олександрівка	1914-2015	0	0
7	Іква	смт Стара Синява	1916-2015	18	14
8	Згар	С. Літин	1916-2015	6	11
9	Рів	с. Демидівка	1916-2015	1	7
10	Соб	с. Зозів	1928-2015	8	17
11	Савранка	с. Осички	1915-2015	17	9
12	Кодима	с. Катеринка	1917-2015	8	11
13	Синюха	с. Синюхин Брід	1915-2015	7	5
14	Гнилий Тікач	с. Лисянка	1917-2015	17	11
15	Велика Вісь	с. Ямпіль	1917-2015	5	7
16	Ятрань	с. Покотилове	1917-2015	25	13
17	Чорний Ташлик	с. Тарасівка	1917-2015	9	9
18	Мертвовід	с. Крива Пустош	1917-2015	20	15
19	Інгул	м. Кропивницький	1917-2015	17	17
20	Інгул	с. Седнівка	1917-2015	24	13
21	Інгул	с. Новогорожене	1917-2015	8	9

Так, на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка ряд спостережень має найдовшу тривалість без пропусків (102 роки). Цей пост є

замикальним на річці Південний Буг, отже, його водозбірний басейн є найбільшим (рис. 2.1, таблиця 2.3). Разом з цим, він не може бути аналогом для рядів спостережень, які отримано із водозборів річок з невеликими площами. Усі інші ряди спостережень мають пропуски. Все ж таки подовжені ряди, хоча і з пропусками дозволяють отримати більш достовірні розрахункові статистичні характеристики максимальних витрат води весняного водопілля у басейні річки Південний Буг, які наведено в таблиці 4.2. Це обґрунтовується тим, що такі ряди спостережень не тільки вже мають відомості про екстремальні значення весняного водопілля, але і містять фазу підвищення довготривалих коливань, що і робить такі ряди репрезентативними для розрахунків.

Для апроксимації емпіричних точок максимальних витрат води весняного водопілля використано аналітичні розподіли Крицького та Менкеля, Пірсона III типу та Гамбеля. Для визначення параметрів аналітичних кривих розподілів, а саме середнього багаторічного значення ($\bar{Q}$), коефіцієнту варіації (C_v), коефіцієнту асиметрії (C_s) використано метод найбільшої правдоподібності та метод моментів [73, 93]. Метод найбільшої правдоподібності знайшов найбільше застосування у розрахунках. Приклад побудови аналітичних кривих за трипараметричним розподілом (Крицького та Менкеля) наведено на рис. 4.1.

У нашій роботі [37] показано, що у басейні річки Південний Буг виникають певні труднощі з підбором аналітичних кривих при апроксимації емпіричних точок максимальних витрат води весняного водопілля. Виявлено, що розподіли Крицького та Менкеля, Пірсона III типу можуть використовуватися для побудови аналітичних кривих розподілу. Разом з цим, розподіл Пірсона III типу не можна використати для деяких рядів спостережень, оскільки нижня частина таких кривих знаходиться в області негативних значень.

Таблиця 4.2 – Максимальні витрати води весняного водопілля різної забезпеченості у басейні р. Південний Буг

№	Річка – пункт та період за який виконано розрахунок	Площа водозбору, м^2	Кількість років	Параметри аналітичної кривої			Метод визначення параметрів	Закон розподілу	Максимальні витрати води різної забезпеченості, $\text{м}^3/\text{с}$					
				$Q_{\text{сер.}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	C_v	$\frac{C_s}{C_v}$			0,1	1	2	5	10	25
1	р. Південний Буг – с. Пирогівці (1916-17, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-35, 1937-38, 1940-42, 1945-53, 1955-2015)	827	88	24,3	0,80	2,31	МНП	ТПГ	139	93,4	79,4	62,4	49,4	32,5
2	р. Південний Буг – с. Лелітка (1917, 1922-24, 1947-49, 1951-53, 1956, 1960, 1962-2015)	4000	86	140	1,15	3,11	МНП	ТПГ	1438	783	620	438	315	177
3	р. Південний Буг – с. Селище (1914-24, 1926-2015)	9100	101	272	1,18	3,80	ММ	БІН	2364	1479	1228	881	631	339
4	р. Південний Буг – с. Тростяничик (1916-17, 1922-24, 1926-42, 1945-94, 1996-2015)	17400	92	418	1,02	2,49	МНП	ТПГ	3318	2036	1673	1244	935	555
5	р. Південний Буг – с. Підгір'я (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926-43, 1945-53, 1956-2015)	24600	93	470	0,99	2,81	ММ	БІН	3337	2265	1842	1356	1017	612
6	р. Південний Буг – смт Олександрівка (1914-2015)	46200	102	737	1,18	2,92	ММ	ТПГ	7350	4400	3540	2430	1650	817
7	р. Іква – смт Стара Синява (1916-17, 1922-24, 1928-29, 1931-35, 1937-38, 1940-42, 1945-93, 1996-2015)	439	86	21,6	1,16	2,84	ММ	БІН	179	115	96,4	70,0	50,9	27,7
8	р. Згар – смт Літин	692	89	23,8	1,05	2,64	МНП	ТПГ	202	120	97,7	71,5	53,2	31,2

№	Річка – пункт та період за який виконано розрахунок	Площа водозбору, m^2	Кількість років	Параметри аналітичної кривої			Метод визначення параметрів	Закон розподілу	Максимальні витрати води різної забезпеченості, m^3/c					
				$Q_{сер}, m^3/c$	C_v	$\frac{C_s}{C_v}$			0,1	1	2	5	10	25
	(1916-17, 1922-24, 1929, 1931-88, 1990-94, 1996-2015)													
9	р. Рів – с. Демидівка (1916-18, 1922-42, 1945-88, 1990-94, 1996-2015)	1130	93	40,9	0,88	2,05	МНП	ТПГ	246	167	142	112	88,0	56,0
10	р. Соб – с. Зозів (1928-29, 1932-33, 1940-42, 1945-89, 1991-94, 1996-2006, 2008, 2010-13, 2015)	92,5	73	6,97	1,39	2,50	МНП	ТПГ	82,8	46,4	36,6	25,3	17,6	8,86
11	р. Савранка – с. Осички (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926-29, 1931-32, 1934-42, 1945-2015)	1740	92	29,3	1,76	2,83	ММ	ТПГ	504	248	185	119	76,4	33,3
12	р. Кодима – с. Катеринка (1917, 1922-24, 1926, 1929, 1931-42, 1945-88, 1990-2015)	2390	88	34,0	1,74	2,50	МНП	ТПГ	551	285	217	142	92,0	39,4
13	р. Синюха – с. Синюхин Брід (1915, 1917, 1920, 1922-89, 1991-2015)	6700	96	413	1,47	3,02	ММ	БІН	4387	2678	2189	1514	1043	518
14	р. Гнилий Тікич – смт Лисянка (1917, 1920, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-35, 1937, 1940-42, 1945-2015)	1450	88	83,8	1,52	2,18	МНП	ТПГ	1055	610	482	329	224	106
15	р. Велика Вись – с. Ямпіль (1917, 1922-24, 1926-43, 1945-91, 1993-2015)	2820	92	75,4	1,60	2,36	МНП	ТПГ	1062	577	452	301	201	91,9

№	Річка – пункт та період за який виконано розрахунок	Площа водозбору, м^2	Кількість років	Параметри аналітичної кривої			Метод визначення параметрів	Закон розподілу	Максимальні витрати води різної забезпеченості, $\text{м}^3/\text{с}$					
				$Q_{\text{сер.}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	C_v	$\frac{C_s}{C_v}$			0,1	1	2	5	10	25
16	р. Ятрань – с. Покотилове (1917, 1920, 1922-24, 1926-29, 1931-35, 1937, 1940-42, 1945-47, 1949, 1951-53, 1955-2015)	2140	86	124	1,53	2,19	МНП	ТПГ	1583	913	720	488	331	156
17	р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка (1917, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-43, 1945-88, 1990-2015)	2230	90	105	1,39	2,16	МНП	ТПГ	1165	696	560	392	273	137
18	р. Мертвовід – с. Крива Пустош (1917, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-35, 1937, 1939-42, 1945-47, 1949-88, 1991-94, 1996-2015)	252	84	21,6	1,51	2,10	МНП	ТПГ	265	156	124	85,0	57,8	27,3
19	р. Інгул – м. Кропивницький (1917, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-35, 1937, 1939-42, 1945-81, 1983-88, 1992-2006, 2008-12, 2014-15)	840	82	52,3	1,37	2,15	МНП	ТПГ	567	341	275	193	135	68,1
20	р. Інгул – с. Седнівка (1917, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-35, 1937, 1939-43, 1945-47, 1951-2015)	4770	86	208	1,36	2,20	МНП	ТПГ	2251	1342	1079	759	533	271
21	р. Інгул – с. Новогорожене (1917, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-42, 1945-2015)	6670	90	188	1,37	2,18	МНП	ТПГ	2055	1228	987	693	485	244

Примітка: ММ – метод моментів; МНП – метод найбільшої правдоподібності; БІН – біноміальний розподіл; ТПГ – трипараметричний гамма-розподіл

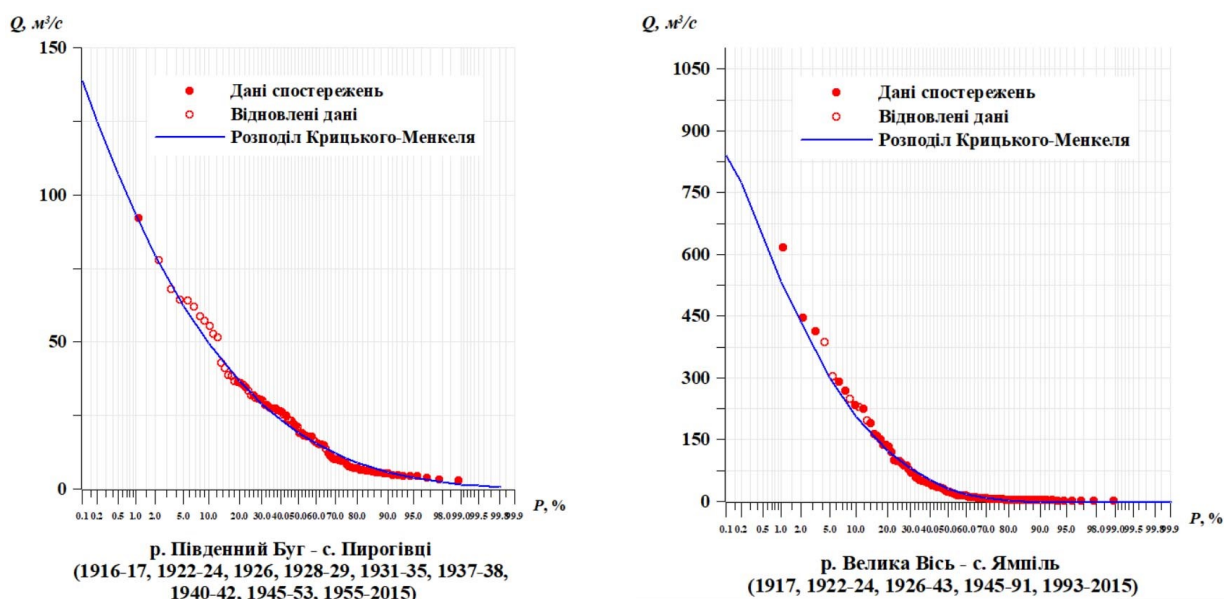


Рисунок 4.1 – Криві ймовірностей максимальних витрат води весняного водопілля у басейні річки Південний Буг, які побудовано у Grapher [37]

Тому, для визначення максимальних витрат води весняного водопілля різних ймовірностей в основному використовувались аналітичні криві розподілу Крицького та Менкеля. Хоча ці криві також не дуже добре відповідають емпіричним точкам згідно аналізу за критерієм χ^2 (табл. 4.3).

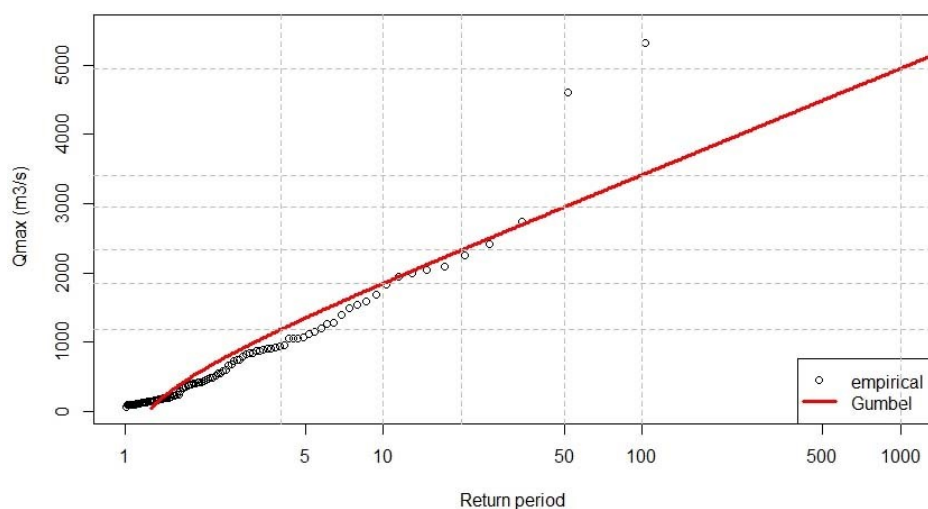
Таблиця 4.3 – Перевірка максимальних витрат води весняного водопілля на відповідність законам розподілу в басейні р. Південний Буг [37]

№	Пост спостереження	$\chi^2(\alpha, \nu)$	χ^2	Відповідність	Закон розподілу
1	р. Південний Буг – с. Пирогівці	12.6	7.91	відповідає	Крицький-Менкел
2	р. Південний Буг – с. Лелітка	12.6	18.9	не відповідає	Крицький-Менкел
3	р. Південний Буг – с. Селище	12.6	11.2	відповідає	Пірсон тип III
4	р. Південний Буг – с. Тростянчик	12.6	21.0	не відповідає	Крицький-Менкел
5	р. Південний Буг – с. Підгір'я	12.6	9,04	відповідає	Пірсон тип III
6	р. Південний Буг – смт Олександрівка	12.6	48.5	не відповідає	Крицький & Менкел
7	р. Іква – смт Стара Синява	12.6	6.56	відповідає	Пірсон тип III

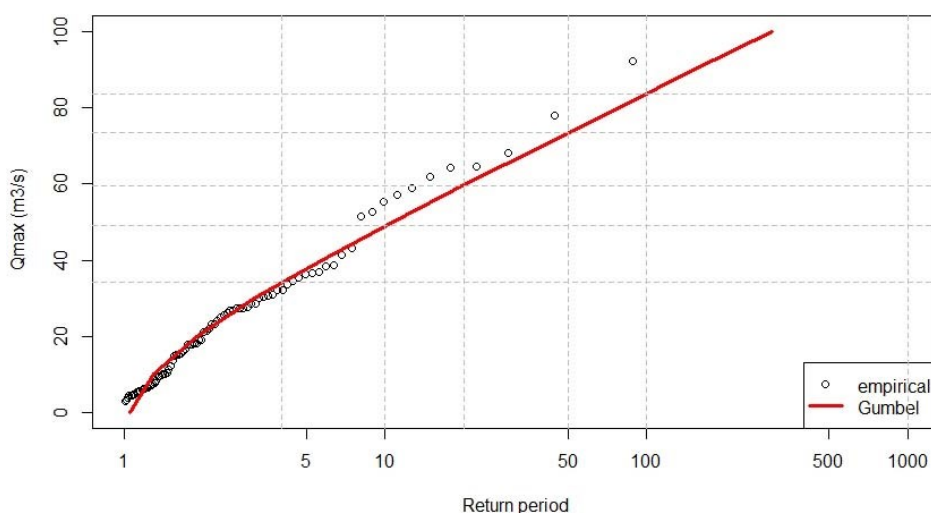
№	Пост спостереження	$\chi^2(\alpha, \nu)$	χ^2	Відповідність	Закон розподілу
8	р. Згар – с. Літин	12.6	9.31	відповідає	Крицький-Менкел
9	р. Рів – с. Демидівка	12.6	11.2	відповідає	Крицький-Менкел
10	р. Соб – с. Зозів	12.6	29.6	не відповідає	Крицький-Менкел
11	р. Савранка – с. Осички	12.6	37.1	не відповідає	Крицький-Менкел
12	р. Кодима – с. Катеринка	12.6	40.4	не відповідає	Крицький-Менкел
13	р. Синюха – с. Синюхин Брід	12.6	10.5	відповідає	Пірсон тип III
14	р. Гнилий Тікич – с. Лисянка	12.6	44.7	не відповідає	Крицький-Менкел
15	р. Велика Вись – с. Ямпіль	12.6	24.5	не відповідає	Крицький-Менкел
16	р. Ятрань – с. Покотилове	12.6	47.5	не відповідає	Крицький-Менкел
17	р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка	12.6	27.8	не відповідає	Крицький-Менкел
18	р. Мертвовід – с. Крива Пустош	12.6	37.2	не відповідає	Крицький-Менкел
19	р. Інгул – м. Кропивницький	12.6	12.1	відповідає	Крицький-Менкел
20	р. Інгул – с. Седнівка	12.6	30.3	не відповідає	Крицький-Менкел
21	р. Інгул – с. Новогорожене	12.6	34.6	не відповідає	Крицький-Менкел

Для більш ґрунтового статистичного аналізу використано узагальнений розподіл крайніх значень, тобто розподіл Гамбеля. Виявилось, що і цей розподіл не зовсім коректно апроксимує емпіричні точки максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. Так, навіть для часового ряду на гідрологічному посту р. Південний Буг – смт Олександрівка, який має найтриваліший період спостережень виникають проблеми з крайніми точками найбільших максимальних витрат води (рис. 4.2). Окрім цього, виявилось, що розраховані значення квантилів різних ймовірностей за розподілом Гамбеля (табл. 4.4) дещо відрізняються від

значень отриманих за розподілами Крицького-Менкеля і Пірсона III типу (табл. 4.2). Значення розраховані за розподілом Гамбеля значно нижчі. Разом з цим, порівняльний аналіз кривих ймовірностей, які добре апроксимують емпіричні точки за розподілом Гамбеля з кривими, що побудовано за розподілом Крицького-Менкеля вказують, що розподіл Крицького-Менкеля зазвичай значно завищує значення квантилів, особливо при інтерполяції ймовірностей, які не часто повторюються, а саме з 0,1% та 1% забезпеченостями (приклад на рис. 4.3).



р. Південний Буг – смт Олександрівка



р. Південний Буг – с. Пирогівці

Рисунок 4.2 – Криві ймовірностей максимальних витрат води весняного водопілля за розподілом Гамбеля у басейні річки Південний Буг, які створено у програмному середовищі *R language*

Таблиця 4.4 – Максимальні витрати води весняного водопілля різної забезпеченості, які визначено за розподілом Гамбеля у басейні р. Південний Буг, які розраховано у програмному середовищі *R language*

№	Пост спостережень	Максимальні витрати води різної забезпеченості, m^3/c					
		0,1	1	2	5	10	25
1	р. Південний Буг – с. Пирогівці	118	83,6	73,3	59,6	49,0	34,2
2	р. Південний Буг – с. Лелітка	890	617	534	424	338	219
3	р. Південний Буг – с. Селище	1753	1213	1050	832	664	429
4	р. Південний Буг – с. Тростянчик	2410	1684	1464	1171	944	628
5	р. Південний Буг – с. Підгір'я	2684	1877	1633	1307	1055	704
6	р. Південний Буг – смт Олександрівка	4946	3412	2948	2328	1850	1182
7	р. Іква – смт Стара Синява	139	96,4	83,4	66,1	52,7	34,0
8	р. Згар – с. Літин	140	98,2	85,3	68,1	54,7	36,1
9	р. Рів – с. Демидівка	210	149	130	105	85,7	58,8
10	р. Соб – с. Зозів	52,6	35,9	30,9	24,2	19,0	11,8
11	р. Савранка – с. Осички	259	176	150	116	90,2	53,7
12	р. Кодима – с. Катеринка	330	221	189	146	112	53,7
13	р. Синюха – с. Синюхин Брід	3134	2142	1842	1442	1132	700
14	р. Гнилий Тікич – с. Лисянка	697	473	406	316	246	149
15	р. Велика Вись – с. Ямпіль	637	432	370	288	224	135
16	р. Ятрань – с. Покотилове	994	677	581	453	354	216
17	р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка	756	519	447	351	277	174
18	р. Мертвовід – с. Крива Пустош	162	111	95,1	74,5	58,6	36,3
19	р. Інгул – м. Кропивницький	370	254	219	172	136	85,8
20	р. Інгул – с. Седнівка	1435	988	852	671	532	337
21	р. Інгул – с. Новогорожене	1240	847	728	570	447	277

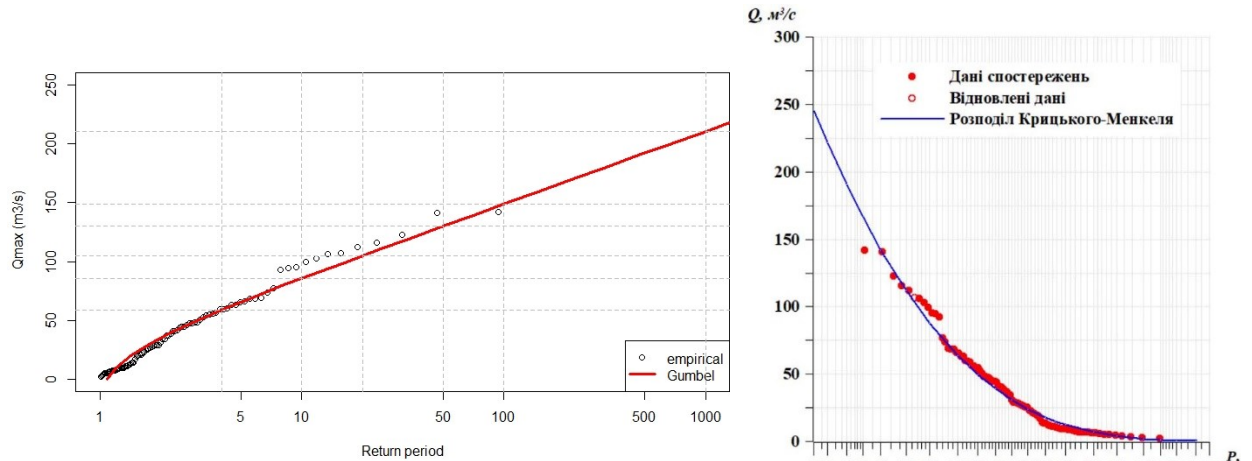
Враховуючи те, що розподіл Крицького-Менкеля є модифікацією розподілу Пірсона III типу, а також той факт, що цей розподіл у світі взагалі не використовується, окрім країн, що колись входили до Радянського Союзу можна зазначити, що застосування розподілу Крицького-Менкеля є не зовсім обґрунтованим. Звичайно, що для більш ґрунтовних суджень необхідно провести більш детальні дослідження із застосуванням і інших розподілів, які рекомендовано у Керівництві з гідрологічної практики ВМО і, які набули широкого використання у світі, а також провести побідні порівняльні розрахунки і для інших басейнів річок та видів стоку.

Взагалі труднощі з підбором аналітичних кривих максимального стоку води весняного водопілля у басейні р. Південний Буг можна пояснити тим, що такі ряди спостережень є дуже асиметричними, оскільки вони містять лише кілька екстремальних значень. Для коротких рядів, які, наприклад, мають лише одне екстремальне значення, як правило, неможливо правильно підібрати аналітичну криву без відновлення історичних даних. Це такі ряди спостережень, як на гідрологічних постах р. Південний Буг – с. Пирогівці та р. Соб – с. Зозів.

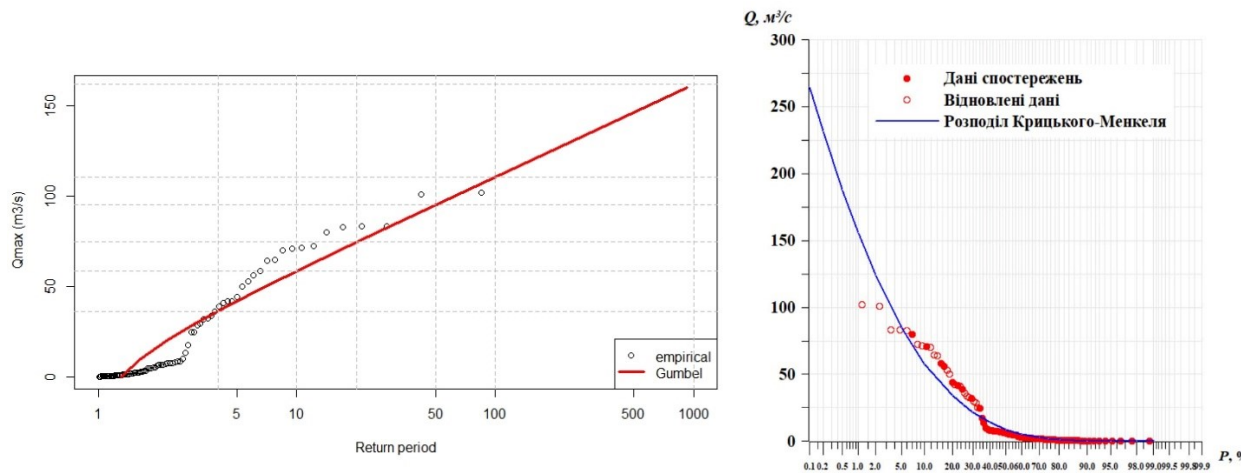
Враховуючи те, що у роботах вітчизняних дослідників, які виконували дослідження ймовірнісних характеристик максимального стоку річок та досліджували параметри редуційної формули використовувалися саме розподіли Крицького-Менкеля і Пірсона III типу надалі у роботі для подальших досліджень і порівняння отриманих результатів використовувались дані з таблиці 4.2.

У басейні р. Південний Буг ймовірнісний аналіз даних спостережень за максимальними витратами весняного водопілля проведено у роботах Горбачової Л.О. та Христюка Б.Ф. [40], Овчарук В.А. [27], Бурлуцької М.Е. та Мартинюка М.О. [86] і Докус А.О. [28]. Разом з цим, в роботах [27, 28, 86] не було виконано відновлення пропусків у спостереженнях. Отже, для коректного порівняння результатів надалі використано результати досліджень

з роботи [40]. У цій роботі розрахунок виконано для даних за період з початку спостережень по 2010 рік включно і було показано, що значення максимальних витрат води весняного водопілля 1% ймовірністю мають тенденцію до зменшення по відношенню до розрахунків, які було виконано за даними до 1980 р. у роботі Фоменка Я.А. [71].



р. Ров – с. Демидівка



р. Мертвовід – с. Крива Пустош

Рисунок 4.3 – Криві ймовірностей максимальних витрат води весняного водопілля за розподілом Гамбеля (зліва) та розподілом Крицького-Менкеля (справа) у басейні річки Південний Буг

Порівняльний аналіз результатів наших досліджень [37-39] з результатами представленими у роботі Горбачової Л.О. та Християка Б.Ф. [40] показав, що значення максимальних витрат води весняного водопілля 1%

імовірністю, а також їхні статистичні характеристики суттєво не змінилися (табл. 4.5). Отже, такий параметр, як середнє значення максимальних витрат води весняного водопілля з часом вже став стабільним, оскільки у розрахунках він відрізняється тільки у межах похибки його визначення [73].

Таблиця 4.5 – Порівняння максимальних витрат води весняного водопілля 1% ймовірністю у басейні річки Південний Буг, які розраховано за різні періоди спостережень

№	Пост спостереження	Статистичні параметри			$Q_{1\%}$ м ³ /с
		$Q_{серед},$ м ³ /с	C_v	C_s/C_v	
1	р. Південний Буг – с. Пирогівці	24.3/25.5	0.80/0.76	2.31/2.30	93.4/92.7
2	р. Південний Буг – с. Лелітка	140/122	1.15/0.85	3.11/2.37	783/687
3	р. Південний Буг – с. Селище	272	1.12	2.51	1479
4	р. Південний Буг – с. Тростянич	418/422	1.02/0.94	2.49/2.25	2036/1877
5	р. Південний Буг – с. Підгір'я	470/442	0.97/0.81	2.42/2.42	2175/2266
6	р. Південний Буг – с.мт Олександрівка	737/767	1.18/1,17	2.92/3.33	4400/4340
7	р. Іква – с.мт Стара Синява	21.6/22.1	1.12/1.00	2.31/2.29	115/105
8	р. Згар – с. Літин	23.8/24.5	1.05/1.02	2.64/2.63	120/121
9	р. Рів – с. Демидівка	40.9/42.0	0.88/0.85	2.05/1.98	167/165
10	р. Соб – с. Зозів	6.97/6.18	1.39/1.50	2.50/3.00	46.4/44.7
11	р. Савранка – с. Осички	29.3/29.0	1.76/1.50	2.83/3.20	248/246
12	р. Кодима – с. Катеринка	34.0/29.1	1.74/1.50	2.50/3.68	285/290
13	р. Синюха – с. Синюхин Брід	413/420	1.35/1.37	2.22/2.82	2678/2768
14	р. Гнилий Тікич – с. Лисянка	83.8/85.6	1,52/1.37	2.18/2.17	610/559
15	р. Велика Вись – с. Ямпіль	75.4/68.0	1.60/1.58	2.36/2.40	577/522
16	р. Ятрань – с. Покотилове	124/129	1.53/1.46	2.19/2.32	913/906
17	р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка	105/110	1.39/1.32	2.16/2.07	696/687
18	р. Мертвовід – с. Крива Пустош	21.6/22.1	1.51/1.50	2.10/2.08	156/158
19	р. Інгул – м. Кропивницький	52.3/51.5	1.37/1.39	2.15/2.12	341/341
20	р. Інгул – с. Седнівка	208/220	1.36/1.28	2.20/2.08	1342/1327
21	р. Інгул – с. Новогорожене	188/195	1.37/1.31	2.18/2.08	1228/1214

Примітка: чисельник показує значення, які було розраховано за даними по 2015 рік у роботі [37], знаменник показує значення, які було розраховано за даними по 2010 рік у роботі [40]

Це забезпечується наявністю у рядах спостережень фаз збільшення та зменшення довготривалих циклічних коливань (розділ 3, рис. 3.2). Зазначимо, що аналіз циклічних коливань максимального стоку та відновлення пропусків у спостереженнях є особливо важливим етапом дослідження при проведенні ймовірнісного аналізу.

Сумарний шар стоку води весняного водопілля є важливою характеристикою яка використовується у багатьох гідрологічних розрахунках. Найбільше практичне значення має картування цієї характеристики, оскільки карти цих характеристик використовуються у нормативному документі [73], який регламентує визначення розрахункових гідрологічних характеристик, у тому числі, і при відсутності гідрометричних спостережень. Зазначимо, що діючий картографічний матеріал, який широко застосовується у гідрологічних розрахунках був складений за даними спостережень до 1975 р. [73, 74]. Отже, такі карти потребують оновлення. Саме тому, у наших роботах [38, 39] виконано оновлення статистичних параметрів сумарного шару стоку води весняного водопілля у басейні річки Південний Буг. Результати розрахунків наведено у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Сумарний шар стоку води весняного водопілля різної забезпеченості у басейні р. Південний Буг

№	Пост спостережень та період за який виконано розрахунок	Площа водозбору, M^2	Кількість років	Параметри аналітичної кривої			Метод визначення параметрів	Закон розподілу	Сумарний шар стоку води різної забезпеченості, мм					
				h , мм	C_v	$\frac{C_s}{C_v}$			0,1	1	2	5	10	25
1	р. Південний Буг – с. Пирогівці (1916-17, 1922-24, 1926-35, 1937-53, 1955-57, 1960, 1962-2015)	827	90	40,0	0,58	2,00	МНП	ТПГ	150	113	101	84,4	71,0	51,2
2	р. Південний Буг – с. Лелітка (1915, 1917, 1920, 1922-53, 1955-58, 1960, 1962-2015)	4000	94	42,6	0,73	2,65	МНП	ТПГ	231	152	130	102	81,8	55,4
3	р. Південний Буг – с. Селище (1914-24, 1926-2015)	9100	101	38,4	0,67	2,93	МНП	ТПГ	196	129	110	87,5	70,6	49,1
4	р. Південний Буг – с. Тросянчик (1914-17, 1919-20, 1922-94, 1996-2015)	17400	99	33,3	0,74	2,61	МНП	ТПГ	182	120	102	80,7	64,4	43,5
5	р. Південний Буг – с. Підгір'я (1914-20, 1922-53, 1955-2015)	24600	100	28,0	0,66	2,70	МНП	ТПГ	137	91,9	79,1	63,4	51,5	36,0
6	р. Південний Буг – смт Олександрівка (1914-2015)	46200	102	26,5	0,70	2,51	МНП	ТПГ	133	90,1	77,7	61,9	50,1	34,6
7	р. Іква – смт Стара Синява (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926-29, 1931-35, 1937-42, 1944-93, 1996-2015)	439	91	46,2	0,84	2,61	МНП	ТПГ	294	188	157	121	94,1	60,5
8	р. Згар – смт Літин (1915, 1917, 1919-20, 1922-88, 1990-94, 1996-2015)	692	96	38,7	0,66	1,63	МНП	ТПГ	153	116	104	87,4	73,6	52,7
9	р. Рів – с. Демидівка	1130	96	34,2	0,77	2,52	МНП	ТПГ	195	129	109	85,4	67,7	45,0

№	Пост спостережень та період за який виконано розрахунок	Площа водозбору, m^2	Кількість років	Параметри аналітичної кривої			Метод визначення параметрів	Закон розподілу	Сумарний шар стоку води різної забезпеченості, mm					
				h , mm	C_v	$\frac{C_s}{C_v}$			0,1	1	2	5	10	25
	(1915-18, 1920, 1922-42, 1944-88, 1990-94, 1996-2015)													
10	р. Соб – с.Зозів (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926-35, 1937-89, 1991-94, 1996-2006, 2008, 2010-13, 2015)	92,5	90	39,5	0,76	2,17	МНП	ТПГ	205	142	122	97,8	78,6	52,9
11	р. Савранка – с. Осички (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-2015)	1740	94	18,8	0,78	2,57	МНП	ТПГ	110	72,0	60,8	47,3	37,4	24,6
12	р. Кодима – с. Катеринка (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-42, 1945-88, 1990-2015)	2390	91	13,6	0,96	3,41	МНП	ТПГ	114	64,1	51,6	37,7	28,3	17,2
13	р. Синюха – с. Синюхин Брід (1915, 1917, 1920, 1922-89, 1991-2015)	6700	96	26,1	0,90	2,75	МНП	ТПГ	186	114	94,3	71,1	54,4	34,1
14	р. Гнилий Тікич – смт Лисянка (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931, 1933-35, 1937, 1939-2015)	1450	91	28,0	0,98	2,26	МНП	ТПГ	202	129	108	82,0	62,6	37,9
15	р. Велика Вись – с. Ямпіль (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926-91, 1993-2015)	2820	95	22,1	0,95	2,70	МНП	ТПГ	167	102	83,5	62,3	47,2	29,0
16	р. Ятрань – с. Покотилове (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926-35, 1937-47, 1949-54, 1955-2015)	2140	94	29,3	0,98	2,93	МНП	ТПГ	239	140	114	83,7	62,7	37,9

№	Пост спостережень та період за який виконано розрахунок	Площа водозбору, m^2	Кількість років	Параметри аналітичної кривої			Метод визначення параметрів	Закон розподілу	Сумарний шар стоку води різної забезпеченості, mm					
				h , mm	C_v	$\frac{C_s}{C_v}$			0,1	1	2	5	10	25
17	р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931, 1933-43, 1945-88, 1990-2015)	2230	91	26,9	1,02	2,41	МНП	ТПГ	211	131	108	80,5	60,6	36,0
18	р. Мертвовід – с. Крива Пустош (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931, 1933-35, 1937, 1939-43, 1945-47, 1949-88, 1991-94, 1996-2015)	252	86	28,4	0,96	2,32	МНП	ТПГ	202	129	108	81,8	62,6	38,2
19	р. Інгул – м. Кропивницький (1915, 1917, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931, 1933-35, 1937, 1939-42, 1945-81, 1983-88, 1992-2006, 2008-12, 2014-15)	840	82	28,0	1,13	2,38	МНП	ТПГ	249	151	123	89,7	65,9	37,1
20	р. Інгул – с. Седнівка (1915, 1917, 1920, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-35, 1937, 1939-49, 1951-2015)	4770	91	25,4	0,99	2,61	МНП	ТПГ	200	121	99,4	73,8	55,6	33,5
21	р. Інгул – с. Новогорожене (1915, 1917, 1922-24, 1926, 1928-29, 1931-43, 1945-2015)	6670	92	22,4	1,11	2,38	МНП	ТПГ	194	118	96,5	70,9	52,3	29,7

Примітка: ММ – метод моментів; МНП – метод найбільшої правдоподібності; БІН – біноміальний розподіл; ТПГ – трипараметричний гамма-розподіл

4.2 Оновлення параметрів редукційної формули

Редукційна формула знайшла широке використання у гідрологічних розрахунках при відсутності гідрометричних спостережень. Як зазначалось вище (розділ 2) її параметри потребують оновлення за сучасними даними. Саме тому, у наших роботах [38, 85] виконано оновлення параметрів редукційної формули для басейна р. Південний Буг, а саме K_0 , n та μ . Розрахунки виконано з урахуванням сучасного фізико-географічного районування України [159].

Редукційна формула має обмеження у використанні. Так, її можна використовувати для площ водозборів від елементарно малих (менше ніж 1 км²) до 20000 км². Отже, аналіз таблиці 2.3 (розділ 2) показав, що для оновлення параметрів редукційної формули у басейні р. Південний Буг можна використати 16 гідрологічних постів, які мають площі водозбору від 92,5 до 17400 км². Для дослідження розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля використано за даними табл. 4.2 та 4.6.

Для річок лісостепової зони у басейні р. Південний Буг параметри залежності $q_{1\%}/(h_{1\%}\delta_1\delta_2)=f(F+I)$ визначалися за даними спостережень 13 гідрологічних постів. Площа водозборів цих постів перебуває в межах від 92,5 до 17400 км², а середня висота над рівнем моря – від 170 до 320 м (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Параметри редукційної формули для річок зони широколистяних лісів та лісостепової зони басейну р. Південний Буг

Річка-пункт	F , км ²	H , м	K_0	n	μ при забезпеченості, $p\%$					
					0,1	1	2	5	10	25
Південний Буг – с. Пирогівці	827	320	0,005	0,15	1,12	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77
Південний Буг – с. Лелітка	4000	320	0,008	0,15	1,21	1,00	0,93	0,83	0,75	0,62
Іква – смт Стара Синява	439	310	0,006	0,15	1,14	1,00	0,96	0,88	0,82	0,71

Річка-пункт	F , км ²	H , м	K_o	n	μ при забезпеченості, $p\%$					
					0,1	1	2	5	10	25
Південний Буг – с. Селище	9100	310	0,009	0,15	1,29	1,00	0,91	0,79	0,70	0,56
Південний Буг – с. Тростянчик	17400	310	0,007	0,15	1,07	1,00	0,97	0,91	0,86	0,75
Згар – смт Літин	692	320	0,008	0,15	1,28	1,00	0,91	0,79	0,70	0,57
Рів – с. Демидівка	1130	310	0,006	0,15	0,97	1,00	1,01	1,01	1,00	0,96
Соб – с. Зозів	92,5	290	0,009	0,15	1,24	1,00	0,92	0,79	0,69	0,51
Савранка – с. Осички	1740	200	0,009	0,15	1,33	1,00	0,88	0,73	0,59	0,39
Кодима – с. Катеринка	2390	170	0,009	0,15	1,09	1,00	0,95	0,85	0,73	0,52
Синюха – с. Синюхин Брід	16700	190	0,009	0,15	1,21	1,00	0,92	0,82	0,73	0,57
Гнилий Тікич – смт Лисянка	1450	210	0,013	0,15	1,10	1,00	0,94	0,85	0,76	0,59
Велика Вись – с. Ямпіль	2820	180	0,008	0,15	1,12	1,00	0,96	0,85	0,75	0,56
Ятрань – с. Покотилове	2140	200	0,013	0,15	1,02	1,00	0,97	0,89	0,81	0,63
Чорний Ташлик – с. Тарасівка	2230	200	0,008	0,15	1,04	1,00	0,98	0,92	0,85	0,72
Інгул – м. Кропивницький	840	170	0,007	0,15	1,01	1,00	0,99	0,95	0,91	0,81

У зоні широколистяних лісів розміщені тільки 3 гідрологічні пости: р. Південний Буг – с. Пирогівці, р. Південний Буг – с. Лелітка та р. Іква – смт Стара Синява. Дані цих гідрологічних постів не відхиляються значно від даних постів лісостепової зони (рис. 4.4). Тому для них прийняті ті ж самі параметри залежності $q_{1\%}/(h_{1\%}\delta_1\delta_2)=f(F+I)$, що і для річок лісостепової зони басейну р. Південний Буг.

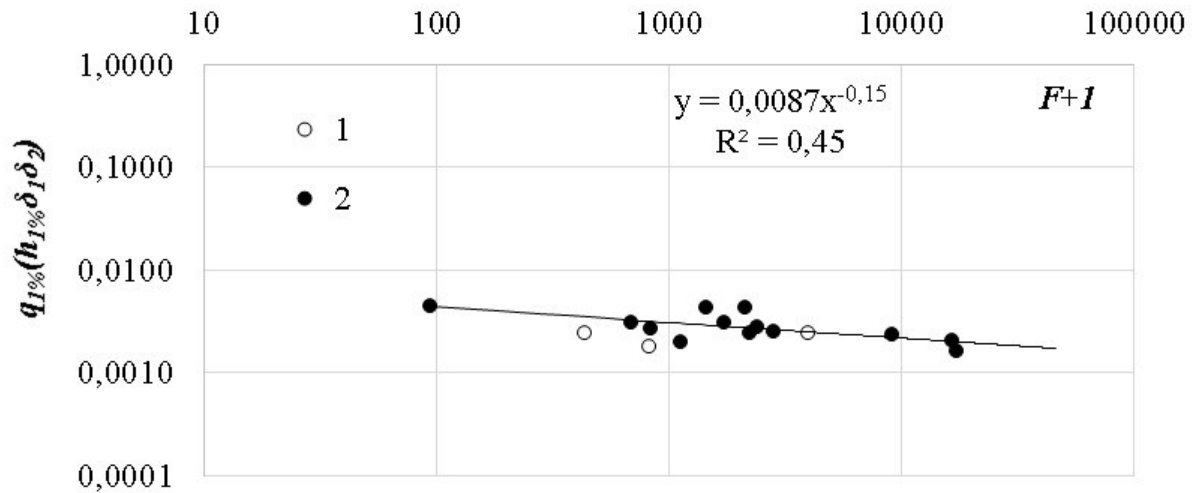


Рисунок 4.4 – Залежність $q_{1\%}/(h_{1\%}\delta_1\delta_2)=f(F+I)$ для річок зони широколистяних лісів та лісостепової зони у басейні р. Південний Буг

Примітка: I – гідрологічні пости на річках зони широколистяних лісів;

2 – гідрологічні пости на річках лісостепової зони

Значення показника редукції n для річок зони широколистяних лісів та лісостепової зони басейну р. Південний Буг прийнято 0,15 (рис. 4.4). Значення параметра $b = 1$ для зони широколистяних лісів та $b = 2$ для лісостепової зони [74]. Параметри K_0 та μ для різних забезпеченостей були розраховані для кожного гідрологічного поста (табл. 4.7).

Для річок степової зони у басейні р. Південний Буг параметри залежності $q_{1\%}/(h_{1\%}\delta_1\delta_2)=f(F+I)$ визначалися за даними спостережень 3 гідрологічних постів (табл. 4.8). Разом з цим, враховуючи таку малу кількість постів цієї зони для розрахунків було залучено дані спостережень гідрологічного поста р. Тилігул – с. Березівка, який знаходиться на Причорноморський низовині. Умови формування водного стоку на водозбірній площі цього поста мають спільні риси з умовами формування стоку річок степової зони басейну р. Південний Буг [47].

Площа водозборів цих постів перебуває в межах від 252 до 6670 км², а середня висота над рівнем моря – від 120 до 190 м (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Параметри редукційної формули для річок степової зони у басейні р. Південний Буг

Річка-пункт	F , км ²	H , м	K_o	n	μ при забезпеченості, $p\%$					
					0,1	1	2	5	10	25
Мертвовід – с. Крива Пустош	252	190	0,036	0,36	1,08	1,00	0,95	0,86	0,76	0,59
Інгул – с. Седнівка	4770	160	0,049	0,36	1,01	1,00	0,98	0,93	0,86	0,73
Інгул – с. Новогорожене	6670	150	0,037	0,36	1,02	1,00	0,98	0,94	0,89	0,79
Тилігул – с. Березівка	3170	120	0,015	0,36	0,99	1,00	1,00	0,99	0,96	0,89

Значення показника редукції n для річок степової зони у басейні р. Південний Буг прийнято 0,36 (рис. 4.5). Значення параметра $b = 10$ [74]. Параметри K_o та μ для різних забезпеченостей розраховано для кожного гідрологічного поста (табл. 4.8).

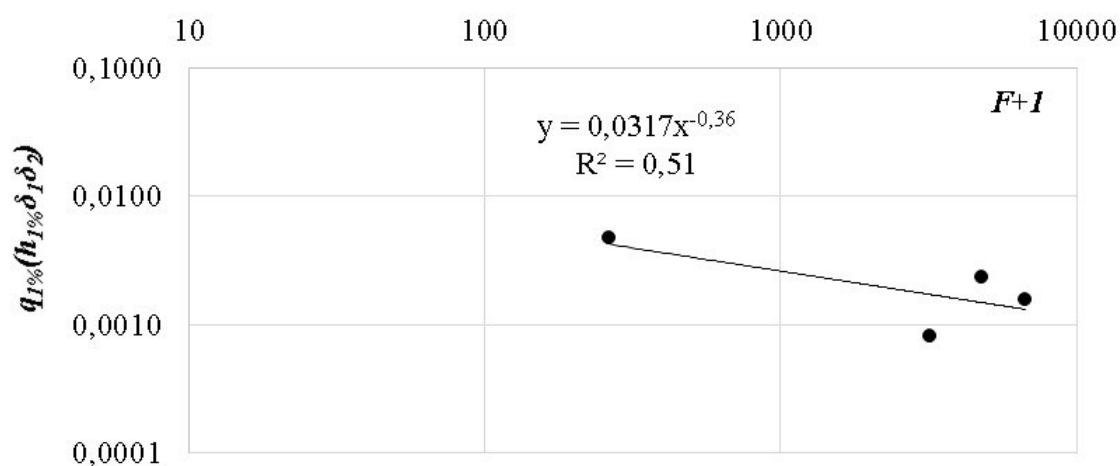


Рисунок 4.5 – Залежність $q_{1\%}/(h_{1\%}\delta_1\delta_2)=f(F+1)$ для річок степової зони у басейні р. Південний Буг

Порівняльний аналіз отриманих результатів та даних, які наведено у [74], показують, що параметри редуційної формули змінилися. Найбільші зміни відбулися для лісової та лісостепової зон басейну. Це можна пояснити тим, що з подовженням рядів спостережень більш чіткіше проявляються циклічні довготривалі коливання максимального стоку весняного водопілля. Отже, сучасні ряди спостережень максимального стоку весняного водопілля мають фазу зниження, тоді як у даних спостережень по 1975 р. ця фаза довготривалих коливань тільки розпочиналась. Разом з цим, необхідно зазначити, що у басейні р. Південний Буг мережа спостережень за водним стоком потребує вдосконалення, оскільки спостереженнями не охоплені тимчасові та постійні водотоки з площею водозборів в межах 0-90 км² та деякі річки-притоки. Це призводить до того, що виникають труднощі при визначенні та оновленні параметрів розрахункових формул. Особливо актуальним це є для лісової та степової зон басейну.

4.3 Просторовий розподіл розрахункових характеристик

При побудові карт просторового розподілу характеристик максимального стоку весняного водопілля у басейні р. Південний Буг застосовано принцип неперекривання водозборів річок. Отже, при побудові карт не враховувалась інформація по гідрологічних постах, які розташовано по руслах головних річок та малих річок (пост р. Соб – с. Зозів). Загалом використано дані спостережень 26 гідрологічних постів, з яких 12 розташовано у басейні р. Південний Буг та 14 – у суміжних басейнах. Центри тяжіння водозборів, до яких відносяться гідрологічні характеристики і, які обрано для дослідження наведено на рис. 4.6.

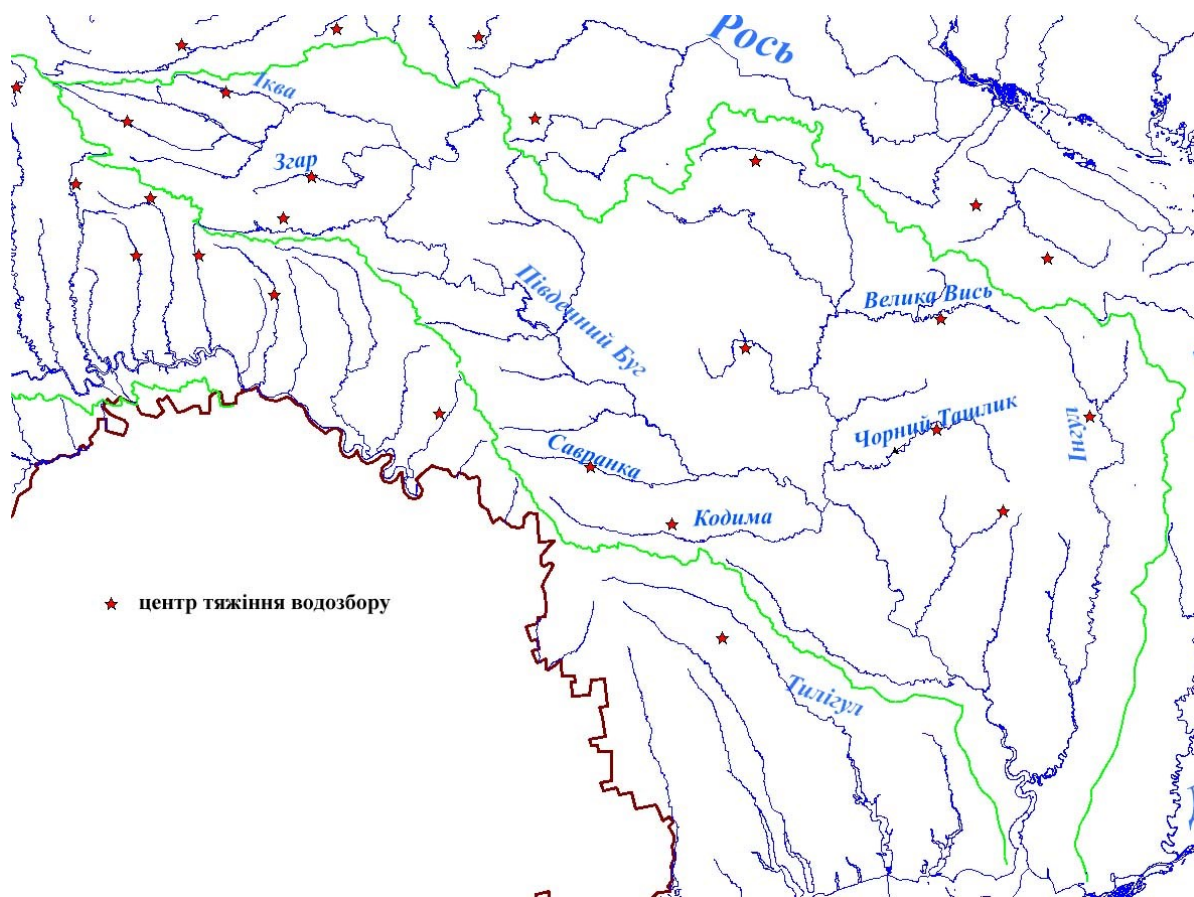


Рисунок 4.6 – Центри тяжіння водозборів, які обрано для побудови цифрових карт характеристик шару стоку води весняного водопілля у басейні р. Південний Буг

Аналіз розташування центрів тяжіння водозборів показує, що нижня частина басейну р. Південний Буг найгірше представлена спостереженнями як у самому басейні, так і за його межами, тобто у суміжних басейнах. Так, в басейні р. Інгулець не можна використати дані спостережень щодо максимального стоку води весняного водопілля, оскільки цей вид стоку зазнає значного антропогенного впливу і повністю є спотвореним. У міжріччі річок Дністер та Південний Буг використати можна спостереження тільки одного поста – р. Тилігул – с. Березівка. На інших річках цього району спостереження відсутні. Нажаль, така ситуація призводить до того, що повністю позбутися залежності

середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля, коефіцієнту його варіації від площ водозборів не вдалося (рис. 4.7). Це також пояснюється і тим, що в басейні р. Південний Буг переважна більшість постів характеризує водозбори річок з площами їхніх водозборів більші за площі, що відносяться до середніх згідно Водної Рамкової Директиви ЄС 2000 [160].

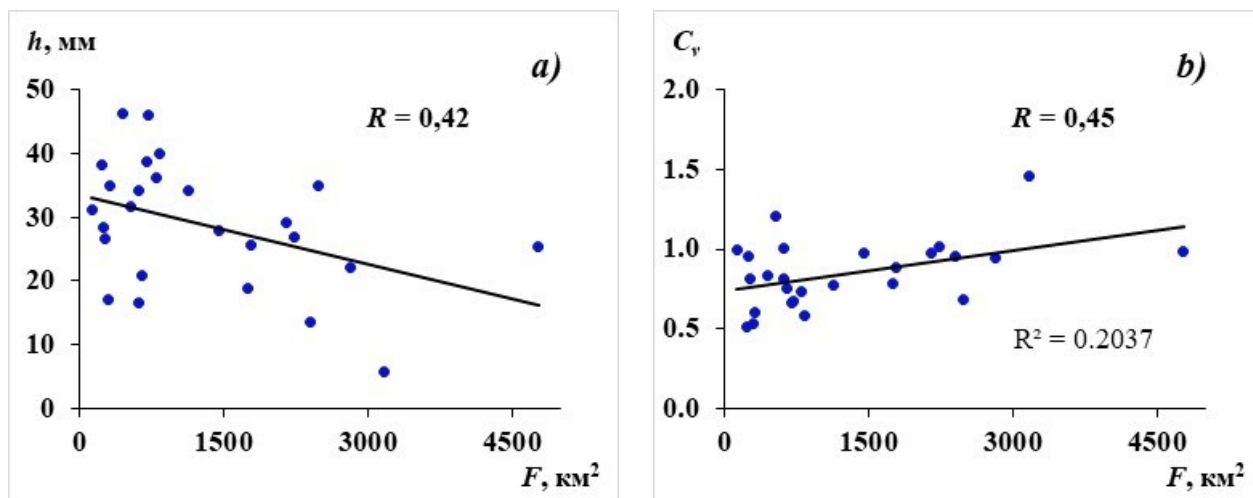


Рисунок 4.7 – Залежність середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля (а), коефіцієнту його варіації (b) від площ водозборів у басейні р. Південний Буг

Отже, отримано помірну міру лінійних кореляційних зв'язків, тобто $0,30 < R < 0,49$ [50]. Це все ж таки дозволяє виконати просторовий розподіл характеристик шару стоку води весняного водопілля. Для цього у ГІС MapInfo побудовано інтерполяційні поверхні за допомогою тріангуляційного методу, який дозволяє отримати результати, що максимально наближаються за значеннями до вихідних даних [163, 157]. Результати наведено на рис. 4.8-4.9. Отже, побудовані інтерполяційні поверхні середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля і коефіцієнту його варіації можуть бути використані для гідрологічних розрахунків, гідрологічного прогнозування, планування

протиаводкових заходів, гідротехнічного будівництва, водокористування тощо. Максимальний стік весняного водопілля підпорядковується фізико-географічній зональності, на яку впливають висотна поясність та індивідуальні особливості водозборів річок і його величини поступово зменшуються від витоків до гирла річки. Величини середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля змінюються від 47 мм у верхів'ї до 7 мм у нижній частині басейну (рис. 4.8).

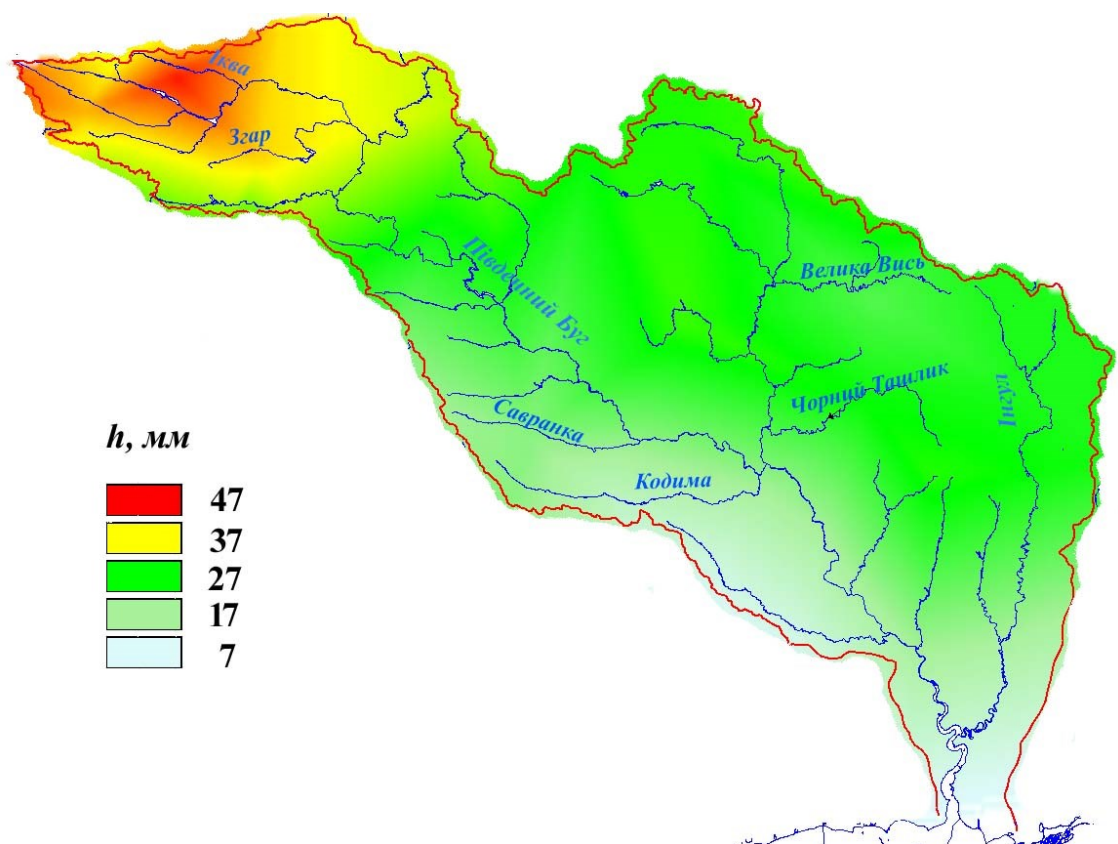


Рисунок 4.8 – Цифрова поверхня середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля у басейні р. Південний Буг, яка створена у ГІС MapInfo

Коефіцієнт варіації середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля, навпаки, має найбільші значення у нижній частині басейну (рис. 4.9). Це повністю відповідає умовам формування весняного водопілля в басейні річки. Переважна більшість річок нижньої частини басейну, яка розташована у степовій

зоні пересихають улітку та перемерзають узимку, не утворюють поверхневого стоку у разі випадіння дощів. Разом з цим, на таких річках час від часу можуть випадати інтенсивні дощові опади в період сніготанення, внаслідок чого утворюється стік, який в декілька разів може перевищувати середні багаторічні значення (норму) [1, 47]. Все це і обумовлює значну мінливість максимального стоку весняного водопілля нижньої частини басейну.

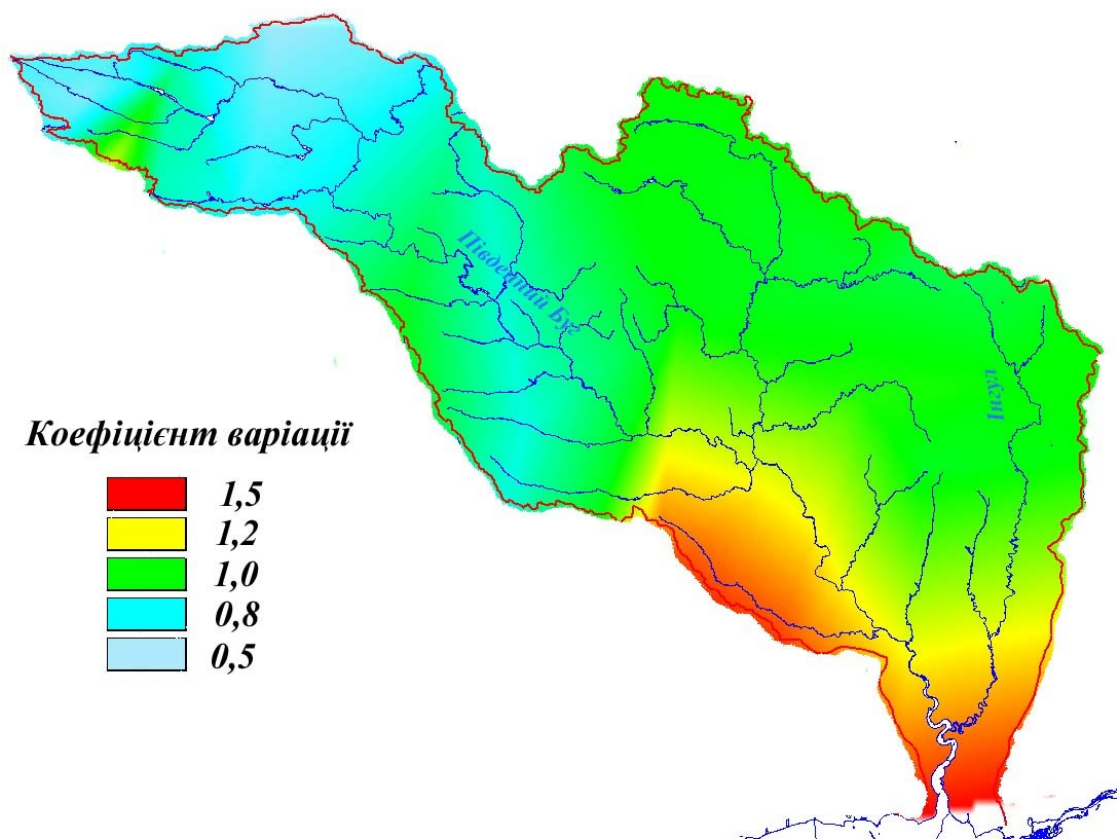


Рисунок 4.9 – Цифрова поверхня коефіцієнту варіації середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля у басейні р. Південний Буг, яка створена у ГІС MapInfo

Отримані карти суттєво деталізують особливості просторового розподілу максимального стоку води весняного водопілля у басейні р. Південний Буг.

4.4 Висновки до розділу 4

1. Відновлення пропусків у рядах спостережень та аналіз довготривалих циклічних коливань є особливо важливим етапом дослідження, оскільки це дозволяє отримати інформацію про екстремальні значення, які спостерігались у фазу зростання довготривалих циклічних коливань у басейні річки Південний Буг. Це сприяє отриманню більш надійних та стабільних у часі статистичних характеристик рядів спостережень.
2. У басейні річки Південний Буг виникають певні труднощі з побудовою аналітичних кривих при апроксимації емпіричних точок максимальних витрат води весняного водопілля. Емпіричні розподіли максимального стоку весняного водопілля є дуже асиметричними завдяки наявності лише декількох екстремальних значень. Розрахункові характеристики максимальних витрат води весняного водопілля з часом стали стабільними. Це забезпечується наявністю у часових рядах фаз збільшення та зменшення довготривалих циклічних коливань.
3. За сучасними даними спостережень виконано оновлення параметрів редукційної формули, а саме K_0 , n , μ . Значення параметрів редукційної формули, які розраховано за сучасними даними спостережень порівняно з раніше отриманими значеннями суттєво змінилися. Це можна пояснити тим, що з подовженням рядів спостережень більш чіткіше проявляються циклічні довготривалі коливання максимального стоку весняного водопілля у басейні р. Південний Буг.
4. Просторовий розподіл середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля, його коефіцієнту варіації у басейн р. Південний Буг виконано з застосуванням принципу непререкривання водозборів річок у ГІС MapInfo з використанням тріангуляційного методу, який дозволяє позбутися

суб'єктивних чинників і автоматично отримувати значення у будь-якій точці карти.

5. Враховуючи сучасну мережу спостережень у басейні р. Південний Буг виконати розрахунки максимальних витрат води весняного водопілля заданої щорічної ймовірності перевищення за будь якими розрахунковими формулами для малих річок, струмків та балок досить проблематично, оскільки на них відсутні гідрометричні спостереження. Окрім цього, недостатньою є мережа спостережень у лісовій та степовій зонах басейну, що також ускладнює розрахунки та знижує їхню достовірність.

ВИСНОВКИ

1. Ряди спостережень максимального стоку весняного водопілля є квазіоднорідними та квазістаціонарними. Це пояснюється особливостями максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок, у тому числі і басейну р. Південний Буг, а саме наявністю у рядах спостережень лише зростаючої та спадаючої фаз довготривалих циклічних коливань, їхньою значною тривалістю і мінливістю максимального стоку.
2. Виявлене послідовне чергування 15-річних періодів підвищеної та пониженої водності р. Південний Буг, розпочинаючи з 1922 року, дозволило скласти прогноз на періоди 2012-2026 та 2027-2041 рр. Згідно прогнозу у період 2020-2041 рр. слід очікувати значного зростання середніх річних витрат води, у порівнянні з 2015-2019 рр. Відповідно, можна очікувати зростання і максимальних витрат весняного водопілля у ці періоди, оскільки саме ця фаза і визначає водність річки кожного року.
3. Встановлено вплив на водний стік р. Південний Буг сонячної активності, спалахів на Сонці, Великих протистоянь Марса та Юпітера, а також появи поблизу Землі комет. Так, встановлено, що
 - у роки максимумів сонячної активності середні річні витрати води в середньому у 1,3 рази вищі, ніж у роки мінімумів сонячної активності;
 - на наступний рік після екстремальних спалахів на Сонці відбувається зниження водного стоку – середній коефіцієнт зниження склав 0,66;
 - на наступний рік після проходження комет поблизу Землі спостерігається зростання водного стоку – середній коефіцієнт зростання склав 1,21;

- у роки Великих протистоянь Марса середні річні витрати води в середньому перевищують норму стоку у 1,12 раз, а в роки Великих протистоянь Юпітера – становлять тільки 0,91 норми стоку.
4. За методикою фасетної класифікації гідрографів, яка використовує багатовимірний статистичний підхід і має контрольовану кількість класів серед 102 гідрографів весняного водопілля, які спостерігались на р. Південний Буг біля смт Олександрівка за період 1914-2015 рр. отримано 81 клас теоретичних гідрографів з різними характеристиками. Виявилось, що гідрографи весняного водопілля з високими, середніми та низькими витратами води характеризуються різними формами. Це пояснюється різними кліматичними умовами їхнього формування. Найбільш поширеними формами гідрографів є Р Р Р Н_в (ранній початок водопілля, раннє настання найбільшої витрати та ранній кінець водопілля, низька витрата) та П П П В_в (пізній початок водопілля, пізнє настання найбільшої витрати та пізній кінець водопілля, висока витрата), які містять 8 та 10 гідрографів відповідно.
 5. Аналіз середньомісячних багаторічних витрат води показав, що річка Синюха має вагомий вплив на водність р. Південний Буг, а саме вона визначає настання її найбільшої водності біля смт Олександрівка.
 6. У роботі розраховано статистичні показники водного стоку за методом ІНА, які поступово зростають у напрямку від витoku до гирла р. Південний Буг, що повністю відповідає фізико-географічним умовам його формування. Окрім цього, виявлено і деякі особливості максимального стоку:
 - у верхів'ї річки найбільшу тривалість мають невеликі повені та пульсації високого стоку;
 - у середньому великі повені повторюються 1 раз на 10 років, невеликі – 1 раз на 2 роки, пульсації високого стоку – 4-8 раз на рік у верхів'ї та 9-14 раз на рік у середній течії;

- у верхів'ї річки у середньому за юліанськими датами піки великих повеней спостерігаються в першій декаді квітня, невеликих повеней – першій декаді травня, у середній течії – у третій декаді березня, а пульсації високого стоку вздовж річки – в першій-другій декаді липня.
7. З часом величини максимальних витрат води великих та невеликих повеней мають тенденцію до зменшення, а їхня тривалість суттєво збільшилася. Разом з цим, максимальні витрати води невеликих повеней біля смт Олександрівка не зазнали суттєвих змін. За період спостережень для характеристик пульсацій високого стоку вздовж річки не виявлено будь яких суттєвих змін.
 8. Відновлення пропусків у рядах спостережень та аналіз довготривалих циклічних коливань є особливо важливим етапом дослідження, оскільки це дозволяє отримати інформацію про екстремальні значення, які спостерігались у фазу зростання довготривалих циклічних коливань у басейні річки Південний Буг. Це сприяє отриманню більш надійних та стабільних у часі статистичних характеристик рядів спостережень.
 9. У басейні річки Південний Буг виникають певні труднощі з побудовою аналітичних кривих при апроксимації емпіричних точок максимальних витрат води весняного водопілля. Емпіричні розподіли максимального стоку весняного водопілля є дуже асиметричними завдяки наявності лише декількох екстремальних значень. Розрахункові характеристики максимальних витрат води весняного водопілля з часом стали стабільними. Це забезпечується наявністю у часових рядах фаз збільшення та зменшення довготривалих циклічних коливань.
 10. За сучасними даними спостережень виконано оновлення параметрів редукційної формули, а саме K_0 , n , μ . Значення параметрів редукційної формули, які розраховано за сучасними даними спостережень порівняно з раніше отриманими значеннями суттєво змінилися. Це можна пояснити тим,

що з подовженням рядів спостережень більш чіткіше проявляються циклічні довготривалі коливання максимального стоку весняного водопілля у басейні р. Південний Буг.

11. Просторовий розподіл середнього багаторічного шару стоку води весняного водопілля, його коефіцієнту варіації у басейні р. Південний Буг виконано з застосуванням принципу непререкривання водозборів річок у ГІС MapInfo з використанням тріангуляційного методу, який дозволяє позбутися суб'єктивних чинників і автоматично отримувати значення у будь-якій точці карти.
12. Враховуючи сучасну мережу спостережень у басейні р. Південний Буг виконати розрахунки максимальних витрат води весняного водопілля заданої щорічної ймовірності перевищення за будь якими розрахунковими формулами для малих річок, струмків та балок досить проблематично, оскільки на них відсутні гідрометричні спостереження. Окрім цього, недостатньою є мережа спостережень у лісовій та степовій зонах басейну, що також ускладнює розрахунки та знижує їхню достовірність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия / Под ред. Каганера М.С. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 293 с.
2. Нежиховский Р.А. Руслловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 474 с.
3. Хільчевський В.К. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу / В.К. Хільчевський [та ін.]. Київ: НікаЦентр, 2009. 184 с.
4. Справочник по водным ресурсам СССР. Украинская ССР / Под ред. М.С. Каганера. К.: Из-во АН УССР. Т. VIII, Часть 2, 1955. 656 с.
5. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. К.: Віпол, 2000. 375 с.
6. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ: Ніка-Центр. 2003. 324 с.
7. Паламарчук М.М., Закорчевна Н.Б.. Водний фонд України. Довідниковий посібник. К.: Ніка-Центр, 2001. 388 с.
8. Екологічний атлас басейну річки Південний Буг / Басейн. упр. водними ресурсами річки Південний Буг, Чорномор. прогр. Ветландс Інтернешнл; [підгот.: В.Б. Мокін, Є.М. Крижановський; ред.: Ю.С. Гавриков, Г.Б. Марушевський]. Вінниця, 2009. 19 с.
9. Географічна енциклопедія України. Том 3 / За ред. О.М. Маринич. К.: Українська енциклопедія ім. М.П. Бажана, 1993., С. 30-31.
10. Горбачова Л. О., Приходькіна В. С., Христюк Б. Ф., Заболотня Т. О., Розлач В. О. Статистичний аналіз максимального стоку води річки Південний Буг за методом «Indicators of Hydrologic Alteration». Український

гідрометеорологічний журнал. 2021. № 27. С. 42-54.
<https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.05>

11. Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР. М.: ГУГК, 1978. 183 с.
12. Атмосфера. Справочник. Л.: Гидрометиздат, 1991. 510 с.
13. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
14. Рахматулліна Е.Р. Гідрологічний режим річок басейну Південного Бугу в зимовий період в умовах змін клімату: дис. ... канд. геогр. наук. К.: 2015. 257 с.
15. Бабіченко В.Н., Барабаш Н.Б. Природа Украинской ССР. Климат. К.: Наукова думка, 1984. 165 с.
16. План управління річковим басейном Південного Бугу: аналіз стану та першочергові заходи / Під заг. ред. С. Афанасьєва, А. Петерс, В. Сташука і О. Ярошевича. К.: НВП «Інтерсервіс», 2014. 188 с.
17. Державний водний кадастр. Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші (за 2011-2015 рр. та весь період спостережень). Частина 1. Річки. Випуск 1. Басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу. Довідкове видання. К.: ПрАТ «ВІПОЛ», 2017. 465 с.
18. Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки: Довідник / [В.В. Гребінь, В.К. Хільчевський, В.А. Сташук, О.В. Чунарьов, О.Є. Ярошевич] / За ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня. К.: «Інтерпрес ЛТД», 2014. 164 с.
19. Коненко Г.С. Гідрохімія ставків і малих водоймищ України. К.: Наукова думка, 1971. 311 с.

20. Річний звіт про діяльність басейнового управління водних ресурсів річки Південний Буг з питань управління водними ресурсами за 2018 рік. Вінниця, 2019. 149 с.
21. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
22. Шакірзанова Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України: монографія. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
23. Балабух В.О., Малицька Л.В. Оцінювання сучасних змін термічного режиму України. Геоінформатика. 2017. 4(64). С. 34-49.
24. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Апостолов О.А. Використання даних наземного та космічного моніторингу для аналізу сучасних змін клімату в Україні. ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України», Київ, Україна, 2014.
25. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: [монографія] / колектив авт.: С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Н.С. Лобода [та ін.]; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: Вид. «ТЕС», 2015. 520 с.
26. Осадчий В.І., Агуїлар Е., Скриник О.А., Бойчук Д.О., Сіденко В.П., Скриник О.Я. Добова асиметрія кліматичних змін температури повітря в Україні. Український географічний журнал. 2018. 3(103). С. 21-30.
<https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.021>
27. Овчарук В.А. Максимальний стік весняного водопілля річок України: розрахункові моделі та їх реалізація: дис... д-ра геогр. наук. Одеса: 2018. 568 с.
28. Докус А.О. Довгострокове прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг: дисертація канд. геогр. наук. Одеса, 2020. 392 с.

29. Кошкіна О.В. Чинники, параметри та сучасні тенденції максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Десна: дисертація канд. геогр. наук. Київ, 2017. 236 с.
30. Василенко Є.В. Гребінь В.В. Аналіз сучасних змін факторів формування та характеристик весняного водопілля річок басейну Прип'яті (в межах України). Фізична географія та геоморфологія. 2012. № 66. С. 161-167.
31. Лобода Н.С., Божок Ю.В., Куза А.М. Зміни кліматичних чинників та характеристик стоку р. Тилігул під впливом глобального потепління. Вісник Одеського державного екологічного університету. 2014. №17. С. 116-127.
32. Горбачова Л.О., Барандіч С.Л. Просторово-часова мінливість максимального стоку води весняного водопілля та паводків змішаного походження річок України. Наук. праці УкрНДГМІ. 2016. Вип. 269. С. 107-114.
33. Швець Г.І. Характеристика водності річок України. К.: Наукова думка, 1964. 190 с.
34. Щорічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші. Частина 1. Річки і канали. Випуск 1. Басейн Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. Київ, 2019.
35. Khrystiuk B., Gorbachova L., Prykhodkina V. Faceted classification of the spring flood hydrographs of the Southern Buh River. Geografický Časopis. 2020. Vol. 72(1). P. 71-80. <https://doi.org/10.31577/geogrcas.2020.72.1.04>
36. Овчарук В.А., Кущенко Л.В. Просторово-часовий аналіз меженного стоку річок зони недостатньої водності України. Publishing House "Baltija Publishing", 2021. С. 223-240.

37. Gorbachova L., Prykhodkina V., Khrystiuk B. Spring Flood Frequency Analysis in the Southern Buh River Basin, Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021. Vol. 30 (2). P. 250-260. <https://doi.org/10.15421/112122>
38. Горбачова Л.О., Христюк Б.Ф., Приходькіна В.С., Заболотня Т.О., Липкань О.А. Розрахунки максимальних витрат води весняної повені і паводків холодного періоду року річок України за відсутності даних гідрометричних вимірювань. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Рельєф, клімат та поверхневі води як об'єкти природничо-географічних досліджень (до 70-річчя кафедр землезнавства та геоморфології, метеорології та кліматології, гідрології та гідроекології)», 2-4 жовтня 2019 р., Київ. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3(54). С. 37-38.
39. Приходькіна В.С. Сучасні ймовірнісні характеристики максимального стоку весняної повені у басейні річки Південний Буг. Матеріали IV-го Всеукраїнського пленеру з питань природничих наук. 19 червня 2020 р. Одеса, С. 66-68.
40. Gorbachova L., Khrystiuk B. Calculation approaches of the probable maximum discharge of spring flood at ungauged sites in the Southern Buh River Basin, Ukraine. *Annals of Valahia University of Targoviste. Geographical Series*. 2018. Vol. 18(2). P. 107-120. <https://doi.org/10.2478/avutgs-2018-0012>
41. Gorbachova L. The intra-annual streamflow distribution of Ukrainian rivers in different phases of long-term cyclical fluctuations. *Energetika*. 2015. T. 61. Nr. 2. P. 71-80. <https://doi.org/10.6001/energetika.v61i2.3134>
42. Горбачова Л.О. Багаторічні тенденції річного стоку води річок України та його кліматичних чинників. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2016. Вип. 269. С. 94-106.

43. Bauzha T., Gorbachova L. The features of the cyclical fluctuations, homogeneity, and stationarity of the average annual flow of the Southern Buh river basin. Annals of Valahia University of Targoviste. Geographical Series. 2017. Vol. 17(1). P. 5-17. <https://doi.org/10.1515/avutgs-2017-0001>
44. Очеретнюк А.І., Лук'янець О.І. Багаторічна мінливість статистичних параметрів розподілу середнього річного стоку води річок України з найдовшими рядами спостережень. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2020. Т. 3(58). С. 39-48. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.4>
45. Больбот Г.В., Гребінь В.В. Сучасна трансформація сезонного розподілу стоку води річок басейну Сіверського Дінця. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2020. Т. 3(58). С. 48-58. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.6>
46. Лук'янець О.І., Москаленко С.О. Узагальнення та багаторічна мінливість максимального річного стоку води річок відповідно до гідрографічного районування України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. Т. 2(53). С. 6-20.
47. Горбачова Л.О. Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України. Український географічний журнал. 2015. № 3. С. 16-23.
48. Магась Н.І., Трохименко А.Г. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг. Екологічна безпека. Вип. 2. 2013. С. 48-52.
49. Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України за басейновим принципом: Монографія / За редакцією В. А. Сташука; [В.А. Сташук, В.Б. Мокін, В.В. Гребінь, О.В. Чунарьов]. Херсон : Грінь Д.С., 2014. 250 с.

50. Горбачова Л.О. Гідролого-генетичний аналіз просторово-часових закономірностей водного стоку річок України: методологія, тенденції, прогноз: дис... д-ра геогр. наук. Київ: 2017. 399 с.
51. Günter Blöschl, Julia Hall, Juraj Parajka, et al. Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. 2017. Vol. 357. Issue 6351. P. 588-590.
<https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
52. Linnerooth-Bayer J., Amendola A. Introduction to Special Issue on Flood Risks in Europe. *Risk Analysis*. 2003. Vol. 23(3). P. 537-543.
<https://doi.org/10.1111/1539-6924.00334>
53. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А. Сучасна методика нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок України. *Український географічний журнал*. 2018. № 2. С. 26-33.
<https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.026>
54. Barroca B. Vulnerability, Urban Design and Resilience Management. *Natural Hazards - Risk Assessment and Vulnerability Reduction / Edited by José Simão Antunes Do Carmo*. London: IntechOpen, 2018. P. 3-16.
<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.78585>
55. Tananaev N.I., Efremova V.A., Gavrilyeva T.N., Parfenova O.T. Assessment of the community vulnerability to extreme spring floods: the case of the Amga River, central Yakutia, Siberia. *Hydrology Research*. 2021. Vol. 52(1). P. 125-141.
<https://doi.org/10.2166/nh.2020.124>
56. Kundzewicz Z.W., Luger N., Dankers R. et al. Assessing river flood risk and adaptation in Europe-review of projections for the future. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2010. Vol. 15(7). P. 641-656.
<https://doi.org/10.1007/s11027-010-9213-6>
57. Merz B., Aerts J., Arnbjerg-Nielsen K. et al. Floods and climate: Emerging perspectives for flood risk assessment and management. *Nat. Hazards Earth Syst.*

- Sci. Discuss. 2014. Vol. 2. P. 1559-1612. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1921-2014>
58. Turkington T., Breinl K., Ettema J. et al. A new flood type classification method for use in climate change impact studies. Weather and Climate Extremes. 2016. Vol. 14. P. 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2016.10.001>
 59. Knighton J., Steinschneider S., Todd Walter M. A Vulnerability-Based, Bottom-up Assessment of Future Riverine Flood Risk Using a Modified Peaks-Over-Threshold Approach and a Physically Based Hydrologic Model. Water Resources Research. 2017. № 53. P. 10,043-10,064. <https://doi.org/10.1002/2017WR021036>
 60. Tabari H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. Nature. Sci. Rep. 2020. Vol. 10(1). P. 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
 61. Денисик Г.І. Поверхневі води: річки та болота. Середнє Побужжя: монографія / Г. І. Денисик, О. М. Гусак / За ред. Г. І. Денисика. Вінниця: Гіпаніс, 2002. С. 67-81.
 62. Енциклопедія історії України: Т. 2: Г-Д / За редакцією В.А. Смолія (голова) та ін. НАН України. Інститут історії України. К.: Наукова думка. 2004. 688 с.
 63. Огиевський А.В. Гидрология суши (общая и инженерная): учебник. М: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. 1952. 515 с.
 64. Манукало В.О. Мережа гідрологічних спостережень у басейні річки Південний Буг: історія розвитку, сучасний стан та можливості. Наук. праці УкрНДГМІ. 2012. Вип. 263. С.165-181.
 65. Оппоков Е.В. Водные богатства Украины. Х.: Гос. изд-во Украины, 1925. С. 160.
 66. Докус А.О., Шакірзанова Ж.Р. Гідрометеорологічна мережа спостережень та вивченість території у межах річкового басейну Південного Бугу. Сучасна

- гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення: Мат: III міжнародної наукової конференції молодих вчених (21-23 березня 2018 р., Одеса). С. 89-90.
67. Назаров В.О. Наслідки довготермінових завбачень висот водопіль рік Дніпра, Прип'яті, Десни і Південного Бугу за 1928 рік. Підсумки 5-річного досвіду завбачень, Київ. 1928.
 68. Назаров В.О. Спроба перевірки та пристосування гідрофізичного методу А. Мейера для визначення річного збігу р. Південний Буг. Вісник метеорологія та гідрологія. 1929. Вип. 3.
 69. Мокляк В.І. Максимальні витрати від талих вод на річках УРСР. АН УРСР, Київ. 1957. С. 163.
 70. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока. Труды ОГМИ. 1958. Ч. 2. Вып.14. С. 302.
 71. Фоменко Я.А. Расчёты максимальных расходов воды весеннего половодья на реках Украины и Молдавии. Тр. УкрНИГМИ. 1986. Вып. 217. С. 20-52.
 72. Горбачова Л.О. Сучасні параметри кривих забезпеченостей максимальних витрат води весняної повені рівнинних річок України. Матеріали п'ятої Всеукраїнської наукової конференції «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія». Чернівці: Чернівецький нац. ун-т. 2011. С.49-52.
 73. Определение расчетных гидрологических характеристик СНиП 2.01.14-83. М.: Государственный комитет СССР по делам строительства. 1983. 97 с.
 74. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат. 1984. 447 с.
 75. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины Е.Д. Гопченко. Одесса: ТЭС, 2002. 110 с.

76. Гопченко Є.Д., Станкевич А.А. Максимальний стік весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. Вісник Одеського державного екологічного університету. 2014. Вип. 18. С. 127-134.
77. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монография. Одесса: Экология, 2005. 208 с.
78. Loboda N.S., Bozhok Yu.V. Application of the “Climate-runoff” model to the assessment of the Danube river basin water resources in the XXI century according to the climate scenarios (A1B). Electronic book with full papers from XXVIII Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. Kyiv, Ukraine, November 6-8, 2019. P. 100-109.
79. Ovcharuk V., Todorova O. Determination of characteristics maximal runoff Mountain Rivers in Crimea. Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2016. Vol. 8(2). P. 525-541.
80. Докус А.О., Овчарук В.А., Шакірзанова Ж.Р. Використання операторної моделі формування стоку для визначення середньобагаторічних величин максимальних витрат води весняного водопілля в басейні річки Південний Буг. Український гідрометеорологічний журнал. 2019. № 24. С. 49-63.
81. Овчарук В.А., Гопченко Є.Д., Гопцій М.В., Тодорова О.І. Методика розрахунку максимального стоку весняного водопілля в районі басейну Дніпра з урахуванням впливу змін клімат. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 3(54). С. 69-71.
82. Овчарук В.А., Гопченко Є.Д., Траскова А.В. Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Дністер: монографія. Одеськ. держ-ний екол-ний ун-т. Х.: ФОП Панов А.М., 2017, 252 с.

83. Romanova Y., Shakirzanova Zh., Ovcharuk V., Todorova O., Medvedieva I., Ivanchenko A. Temporal variation of water discharges in the lower course of the Danube River across the area from Reni to Izmail under the influence of natural and anthropogenic factors. *Energetika*. 2019. № 65(2-3). С. 144-160.
84. Горбачова Л.О. Місце та роль гідролого-генетичного аналізу серед сучасних методів дослідження водного стоку річок. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2016. Вип. 268. С. 73-81.
85. Горбачова Л.О., Христюк Б.Ф., Приходькіна В.С. Оновлення параметрів редуційної формули для розрахунків максимального стоку весняної повені в басейні р. Південний Буг та річок Причорномор'я. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Річки та лимани Причорномор'я на початку ХХІ сторіччя», 17-18 жовтня, Одеса. ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2019. Р. 40-42.
86. Бурлуцька М.Е. Мартинюк М.О. Розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. *Таврійський науковий вісник. Екологія, іхтіологія та аквакультура*. 2019. № 106. С. 249-254.
87. Докус А.О. Районування басейну Південного Бугу за умовами формування весняного водопілля річок. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3(54). С. 42-44.
88. Гребінь В.В., Ободовський О.Г., Жовнір В.В., Мудра К.В., Почаєвець О.О. Оцінювання однорідності рядів стокових характеристик річок районів річкових басейнів та суббасейнів України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 1 (52). С. 36-50.
89. Hall J., Arheimer B., Aronica G. T. et al. A European Flood Database: facilitating comprehensive flood research beyond administrative boundaries. *Proceeding IAHS*. Vol. 370. 2015. P. 89-95.

90. Blöschl G., Hall J., Viglione A. et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*. 2019. Vol. 573(7772). P. 1-4. [DOI: 10.1038/s41586-019-1495-6](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6)
91. Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О., Приходькіна В.С. Фасетна класифікація гідрографів весняної повені річки Південний Буг. Тези доповідей VII Всеукраїнської наукової конференції «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія», присвяченої 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України, 13-14 листопада 2018, м. Київ. К.: Ніка-Центр. 2018. С. 26-27.
92. Gorbachova L., Khrystiuk B., Prykhodkina V. Cyclicity and periodicity of water runoff of the Southern Buh River and the possibility of its forecasting by the method α . Abstracts Book of the International Research-to-Practice Conference «Climate Services: Science and Education», Odessa, Ukraine, September 22-24, 2021. С. 21-22.
93. Guide to Hydrological Practices. Volume II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. 6th edition. – WMO-No. 168, 2009.
94. Горбачова Л.О. Методичні підходи щодо оцінки однорідності та стаціонарності гідрологічних рядів спостережень. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2014. Т. 1 (32). С. 22-31.
95. Khrystiuk B., Gorbachova L., Koshkina O. The impact of climatic conditions of the spring flood formation on hydrograph shape of the Desna River. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*. 2017. Vol. 5(1). P. 63-70. <http://dx.doi.org/10.26491/mhwm/67914>
96. Gorbachova L., Zabolotnia T., Khrystiuk B. Homogeneity and stationarity analysis of the snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2018. Vol. 19. Issue 1. P. 35-41.

97. Христюк Б.Ф. Методика класифікації гідрографів річок за критеріями аналогічності. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2013. Т. 3 (30). С. 15-20.
98. Mimikou M.A., Baltas E., Varanou E. & Pantazis K. Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. Journal of Hydrology. 2000. Vol. 234. P. 95-109. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00244-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00244-4)
99. Dery S.J., Wood E.F. Decreasing river discharge in Northern Canada. Geophysical Research Letters. 2005. Vol. 32. P. 1-4. <https://doi.org/10.1029/2005GL022845>
100. Zhang Q., Xihui G., Vijay P. Singh, Mingzhong X., Chong-Yu X. Stationarity of annual flood peaks during 1951-2010 in the Pearl River basin, China. Journal of Hydrology. 2014. Vol. 519. P. 3263-3274. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.028>
101. Hirsch R.M. & Slack J.R. A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence. Water Resources Research. 1984. Vol. 20/6. P. 727-732.
102. Kundzewicz Z.W. & Robson A.J. Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data. World Climate Programme Data and Monitoring – WCDMP-45. Geneva: WMO/TD-№ 1013, 2000.
103. Kundzewicz Z.W. & Robson A.J. Change detection in hydrological records – a review of the methodology. Hydrological Sciences – Journal – des Sciences Hydrologiques. 2004. Vol. 49/1. P. 7-19. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.7.53993>
104. Yue S. & Pilon P. A comparison of the power of the t -test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection. Hydrological Sciences. 2004. Vol. 49/1. P. 21-37. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.21.53996>
105. “Student” [William Sealy Gosset]. The probable error of a mean. Biometrika journal. 1908. Vol. 6(1). P. 1-25. <https://doi.org/10.1093/biomet/6.1.1>
106. Fisher R. Theory of statistical estimation. Proceedings of the Cambridge. Philosophical Society. 1925. Vol. 22. P. 700-725.

107. Chow V.T. Handbook of Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill, 1964. 1495 p.
108. Natural Environment Research Council (NERC). Flood Studies Report 5 vols. Natural Environment Research Council, London, 1975.
109. Wald A. & Wolfowitz J. An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation. Annual Mathematical Statistics. 1943. Vol. 14. P. 378–388.
110. Elderton W.P. Frequency Curves and Correlation. 4th edition. Cambridge University Press, 1953. 272 p.
111. Terry M.E. Some rank order tests which are most powerful against specific parametric alternatives. Annual Mathematical Statistics. 1952. Vol. 23. P. 346–366.
112. Grubbs F.E. Sample criteria for testing outlying observations. Annals of Mathematical Statistics. 1950. T. 21(1). C. 27-58. [doi:10.1214/aoms/1177729885](https://doi.org/10.1214/aoms/1177729885)
113. Yue S., Pilon P., Phinney B., Cavadias G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrological Processes. 2002. Vol. 16. P. 1807-1829.
114. Mann H.B. and Whitney D.R. On a Test of Whether One of Two Random Variables Is Stochastically Larger than the Other. Annals of Mathematical Statistics. 1947. Vol. 18. P. 50-60. <http://dx.doi.org/10.1214/aoms/1177730491>
115. Wilcoxon F. Individual comparisons by ranking methods. Biometrics Bulletin. 1945. Vol. 1(6). P. 80-83. <https://doi.org/10.2307/3001968>
116. Kolmogoroff A.N. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. Giornale dell' Istituto Italiano degli Attuari. 1933. Vol. 4. № 1. P. 83-91.
117. Смирнов Н.В. Оценка расхождения между эмпирическими кривыми распределения в двух независимых выборках. Бюллетень МГУ. 1939. Т. 2. № 2. С.3-14.

118. Lilliefors H.W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. J. Am. Statist. Assoc. 1967. V.62. P.399-402.
119. Rippl W. The capacity of storage reservoirs for water supply. Proceedings of the Institute of Civil Engineers. 1883. Vol. 71. P. 270-278.
120. Merriam C.F. A comprehensive study of the rainfall on the Susquehanna Valley. Transactions American Geophysical Union. 1937. Vol. 18/2. P. 471-476.
121. Searcy J.K. & Hardison C.H. Double-mass curves. Manual of Hydrology: Part 1. General Surface-Water Techniques. Geological Survey Water-Supply Paper 1541-B. Washington: United States Government Printing Office. 1960. P. 36.
122. Weiss L.L. & Wilson W.T. Evaluation of significance of slope changes in double mass curves. Transactions American Geophysical Union. 1953. Vol. 34. P. 893-896.
123. Ehlert K.W. Homogeni tets kontroll av hydrologiska tidsserier. Nordisk Hydrologisk Konferanse, Sandefjord. 1972. P. 47-59.
124. Gorbachova L., Bauzha T. Complex analysis of stationarity and homogeneity of flash flood maximum discharges in the Rika River basin. Energetika. T. 59. Nr. 3. 2013. P. 167–174. <http://dx.doi.org/10.6001/energetika.v59i3.2708>
125. Андреянов В.Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчета. Труды ГГИ. 1959. Вип. 68. С. 3-49.
126. Левківський С.С., Хіп'чєвський В.К., Ободовський О.Г. та ін. Загальна гідрологія. К.: Фітосоціоцентр, 2000. 264 с.
127. Горбачова Л.О. Гідрологія: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. К.: Видавництво НПУ імені М.П. Драгоманова, 2010. 125 с.
128. Ющенко Ю.С., Гринь Г.І., Масікевич Ю.Г. Загальна гідрологія. Чернівці: Зелена Буковина, 2005. 368 с.
129. Леонов Е.А. Космос и сверхдолгосрочный гидрологический прогноз. СПб.: Алтейя: Наука, 2010. 352 с.

130. Pekarova P., Miklanek P. & Pekar J. Long-term trends and runoff fluctuations of European rivers, Cl. Variab. and Change – Hydrol. Impacts. Proceed. of the Fifth FRIEND Worl. Conf. held at Havana, Cuba, November 2006, IAHS Publ. 2006. Vol. 308. P. 520-525.
131. Чорноморець Ю.О. Дослідження коливань водності річок Українських Карпат. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2004. Т. 6. С. 110-115.
132. Гребінь В.В., Ободовський О.Г., Царик М.О. Особливості багаторічних коливань стоку річок басейну Прип'яті (в межах України). Картографія та вища школа. К.: Держ. карт. фабрика, 2003. Вип. 8. С. 98-103.
133. Zabolotnia T., Gorbachova L., Khrystyuk B. Estimation of the long-term cyclical fluctuations of snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine. Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications. 2019. Vol. 7 (2). P. 3-11. <https://doi.org/10.26491/mhwm/99752>
134. Мельник С.В., Лобода Н.С. Оцінка змін характеристик стоку лівобережних приток верхнього Дністра в умовах потепління. Український гідрометеорологічний журнал. 2021. № 27. С. 55-65. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.06>
135. Hannah D.M., Smith B.P.G., Gurnell A.M. and McGregor G.R. An approach to hydrograph classification. Hydrological Processes. 2000. Vol. 14. P. 317-338.
136. Ternynck C., Alaya M.A.B. and Chebana F., Dabo-Niang S., Ouarda T.B.M.J. Streamflow Hydrograph Classification Using Functional Data Analysis. Journal of Hydrometeorology. 2015. Vol. 17. P. 327-344. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0200.1>
137. Rushmer E.L., Russel A.J., Tweed F.S., Knudsen O., Marren P.M. The role of hydrograph shape in controlling glacier outburst flood (jökulhlaup) sedimentation. Proceedings of an international symposium held at Alice Springs, Australia, September 2002. IAHS Publ. 2002. Vol. 276. P. 305-313.

138. Perkins R.M. and Jones J.A. Climate variability, snow, and physiographic controls on storm hydrographs in small forested basins, western Cascades, Oregon. *Hydrological Processes*. 2008. Vol. 22. P. 4949-4964. <https://doi.org/10.1002/hyp.7117>
139. Gjunsburgs B., Jaudzems G., Govsha E Hydrograph Shape Impact on the Scour Development with Time at Engineering Structures in River Flow. *Scientific Journal of Riga Technical University*. 2010. Vol. 11. P. 6-12.
140. Phillips C., Hill K., Paola C. Quantifying the effects of hydrograph shape and flow transience on coarse sediment bed load transport. *EGU General Assembly 2016. Geophysical Research Abstracts*. 2016. Vol. 18. EGU2016-15171.
141. Oppel H., Schumann A. Machine learning-based typing of flood hydrographs to characterize extreme events. *EGU General Assembly 2018, Geophysical Research Abstracts*. 2018. Vol. 20. EGU2018-2218.
142. Макарова Н.В., Волков В.Б. Информатика: учебник для студентов вузов, обучающихся по напр. подготовки бакалавров "Системный анализ и управление" и "Экономика и управление". Питер, 2013. 574 с. ISBN 978- 5-496-00001-7
143. Brunner M.I, Viviroli D., Furrer R., Seibert J., Favre A.C. Identification of flood reactivity regions via the functional clustering of hydrographs. *Water Resources Research*. 2018. № 54(3). P. 1852-1867. <https://doi.org/10.1002/2017WR021650>
144. Oppel H., Mewes B., Schumann A. Classification of flood hydrographs with unsupervised learning in the spectral space. *EGU General Assembly 2018, Geophysical Research Abstracts*. 2018. Vol. 20. EGU2018-2220.
145. Hartigan J.A. *Cluster Algorithms*. John Wiley & Sons, 1975. 369 p. ISBN 0-471-35645-X
146. Ranganathan S.R. *Colon Classification (6th Edition)*. Ess Publications. Delhi, India, 2006. 640 p. ISBN: 81-7000-460-8

147. Richter B., Baumgartner J., Wigington R., Braun D. How much water does a river need? *Freshwater Biology*. 1997. Vol. 37(1). P. 231-249.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x>
148. Gao Y., Vogel R.M., Kroll Ch.N., Poff N.L., Olden J.D. Development of representative indicators of hydrologic alteration. *Journal of Hydrology*. 2009. Vol. 374(1). P. 136-147. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.009>
149. Yu C., Yin X., Yang Zh., Dang Zh. Assessment of the degree of hydrological indicators alteration under climate change. In *Proceedings of the 2017 6th International Conference on Energy and Environmental Protection (ICEEP 2017). Advances in Engineering Research (AER)*. Atlantis Press, 2017. Vol. 143. P. 210-216. <https://doi.org/10.2991/iceep-17.2017.36>
150. The nature conservancy indicators of hydrologic alteration. Version 7. User's manual. 2009. 75 p. (Accessed: 12 February 2021)
<https://www.conservationgateway.org/Documents/IHAV7.pdf>
151. Клибашев К.П., Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометиздат, 1970. 184 с.
152. Blöschl G., Sivapalan M., Savenije H., Wagener T. and Viglione A. (Eds.). *Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis Across Processes, Places and Scales*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2013. 484 p. ISBN: 978-1107028180
153. Okoli K., Breinl K., Mazzoleni M. and Di Baldassarre G. Design Flood Estimation: Exploring the Potentials and Limitations of Two Alternative Approaches. *Water*. 2019. Vol. 11(4). P. 729. <https://doi.org/10.3390/w11040729>
154. Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.M., 1988. *Applied hydrology*. McGraw-Hill International Editions.

155. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Обобщенный подход к расчетам управления стока на основе математической статистики. Гидротехническое строительство. 1940. № 2. С. 19-24.
156. Gorbachova L., Khrystiuk B., Prykhodkina V. The design snow-rain flood estimation at ungauged sites in the Tysa River Basin, Ukraine. Abstracts Book of the XXVIII conference of the Danube countries on hydrological forecasting and hydrological foundations of water resources management. Kyiv, Ukraine, November 6-8, 2019. Kyiv: Nika-Center, 2019. P. 14.
157. Горбачова Л.О. Методи інтерполяції норм річного стоку та їх просторове представлення у ГІС. Метеорологія, кліматологія та гідрологія. Одеса. 2008. Вип. 50. Ч. 2. С. 72-77.
158. Gorbachova L. The creation of the databases of the calculated hydrological information with using of the geographical information systems. Conference e-papers of the XXIVth conference of the Danube countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008 / In. Miltja Brilly & Mojca Šraj (eds). http://www.ksh.fgg.uni-lj.si/bled2008/cd_2008/index.htm
159. Національний атлас України. К.: ДНВП «Картографія», 2007. 439 с.
160. Водна Рамкова Директива ЕС 2000/60/ЕС. Основні терміни та їхні визначення (офіційний переклад). Київ, 2006. 240 с.
161. Pekarova P., Miklānek P. and Pekár J. Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th-20th centuries. Journal of Hydrology. 2003. Vol. 274. P. 62-79. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00397-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00397-9)
162. Супутники GOES, США [Електронний ресурс] <https://www.goes.noaa.gov>
163. Самойленко В.М. Основи геоінформаційних систем. Методологія. К.: Ніка-Центр, 2003. 276 с.

ДОДАТКИ

Додаток А – Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ результатів науково-дослідної роботи

від «04» грудня 2019 р.

Ми, що нижче підписалися, представник Державного регіонального проектно-вишукувального інституту «Укрпівдендніпроводгосп» (вул. Гайдара, 13, м. Одеса, 65078) директор **Анатолій ВАНКЕВИЧ**

і представник Українського гідрометеорологічного інституту ДСН України та НАН України (УкрГМІ) (пр. Науки, 37, м. Київ, 03028) директор **Володимир ОСАДЧИЙ**

склали цей акт про те, що результати дисертаційного дослідження Вікторії Приходькіної, а саме розрахункові характеристики максимального стоку води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг та річок Причорномор'я

впроваджені в Державному регіональному проектно-вишукувальному інституті «Укрпівдендніпроводгосп» з метою надання послуг різним організаціям та відомствам

Назва впровадженого результату	Досягнутий економічний ефект науково-господарський, науковий, соціальний та ін.
Сучасні розрахункові характеристики максимального стоку води (рівні, витрати, шари), а також оновлені параметри редукційної формули (K_0 , n та μ) весняної повені річок в басейні Південного Бугу та річок Причорномор'я	Покращується точність гідрологічних показників, які використовуються різним організаціями та відомствами.

Представник

Державного регіонального проектно-вишукувального інституту
«Укрпівдендніпроводгосп»

Директор

Анатолій ВАНКЕВИЧ



Представник

Українського гідрометеорологічного інституту

Директор

Володимир ОСАДЧИЙ



Додаток Б – Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

1. Khrystiuk B., Gorbachova L., Prykhodkina V. Faceted classification of the spring flood hydrographs of the Southern Buh River. *Geografický Časopis*. 2020. Vol. 72(1). P. 71-80. <https://doi.org/10.31577/geogrcas.2020.72.1.04> (Scopus) (Особистий внесок автора – збір та обробка вихідних даних, розрахунки та аналіз результатів).
2. Gorbachova L., Prykhodkina V., Khrystiuk B. Spring Flood Frequency Analysis in the Southern Buh River Basin, Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021. Vol. 30 (2). P. 250-260. <https://doi.org/10.15421/112122> (Web of Science) (Особистий внесок автора – розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
3. Горбачова Л. О., Приходькіна В. С., Христюк Б. Ф., Заболотня Т. О., Розлач В. О. Статистичний аналіз максимального стоку води річки Південний Буг за методом «Indicators of Hydrologic Alteration». *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 27. С. 42-54. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.05> (Особистий внесок автора – збір та обробка вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

4. Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О., Приходькіна В.С. Фасетна класифікація гідрографів весняної повені річки Південний Буг. Тези доповідей VII Всеукраїнської наукової конференції «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія», присвяченої 100-річчю від дня заснування Національної академії наук

- України, 13-14 листопада 2018, м. Київ. К.: Ніка-Центр. 2018. С. 26-27. (Особистий внесок автора – збір та обробка вихідних даних, розрахунки та аналіз результатів)
5. Горбачова Л.О., Христюк Б.Ф., Приходькіна В.С., Заболотня Т.О., Липкань О.А. Розрахунки максимальних витрат води весняної повені і паводків холодного періоду року річок України за відсутності даних гідрометричних вимірювань. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Рельєф, клімат та поверхневі води як об'єкти природничо-географічних досліджень (до 70-річчя кафедр землезнавства та геоморфології, метеорології та кліматології, гідрології та гідроекології)», 2-4 жовтня 2019 р., Київ. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 3(54). С. 37-38. (Особистий внесок автора – збір та обробка вихідних даних, розрахунки та аналіз результатів для басейну р. Південний Буг).
 6. Горбачова Л.О., Христюк Б.Ф., Приходькіна В.С. Оновлення параметрів редукційної формули для розрахунків максимального стоку весняної повені в басейні р. Південний Буг та річок Причорномор'я. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Річки та лимани Причорномор'я на початку XXI сторіччя», 17-18 жовтня, Одеса. ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2019. Р. 40-42. (Особистий внесок автора – збір та обробка вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
 7. Gorbachova L., Khrystiuk B., Prykhodkina V. The design snow-rain flood estimation at ungauged sites in the Tysa River Basin, Ukraine. Book of abstracts the XXVIII conference of the Danube countries on hydrological forecasting and hydrological foundations of water resources management. Kyiv, Ukraine, November 6-8, 2019. Kyiv: Nika-Center, 2019. P. 14. (Особистий внесок автора – розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).

8. *Приходькіна В.С.* Сучасні ймовірнісні характеристики максимального стоку весняної повені у басейні річки Південний Буг. Матеріали IV-го Всеукраїнського пленеру з питань природничих наук. 19 червня 2020 р., Одеса, С. 66-68.
9. Gorbachova L., Khrystiuk B., *Prykhodkina V.* Cyclicity and periodicity of water runoff of the Southern Buh River and the possibility of its forecasting by the α method. Abstracts Book of the International Research-to-Practice Conference «Climate Services: Science and Education», Odessa, Ukraine, September 22-24, 2021. С. 21-22. (Особистий внесок автора – розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).