

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БОЛЬБОТ ГАННА ВАДИМІВНА

УДК [556.161/.164:556.512]:551.583.2 (282.247.364)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ВНУТРІШНЬОРІЧНИЙ РОЗПОДІЛ СТОКУ
РІЧОК БАСЕЙНУ СІВЕРСЬКОГО ДІНЦЯ В МЕЖАХ УКРАЇНИ**

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.

_____ Г.В. Больбот

Науковий керівник: Гребінь Василь Васильович, доктор географічних
наук, професор

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Большот Г.В. Вплив зміни клімату на внутрішньорічний розподіл стоку річок басейну Сіверського Дінця в межах України. – 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, 2023.

Дисертаційна робота полягає у дослідженні внутрішньорічного розподілу стоку річок басейну Сіверського Дінця під дією сучасних кліматичних змін. Актуальність дослідження обумовлюється тим, що басейн Сіверського Дінця є головним джерелом водозабезпечення східного регіону України, тому важливим завданням є оцінка впливу кліматичних змін на водні ресурси басейну. Наразі, актуальність дослідження зростає через бойові дії в регіоні, тому що оцінка характеристик стоку та їх змін буде важливою для післявоєнного відновлення водогосподарської галузі Східної України.

Основні результати дослідження можуть бути включені до відповідного розділу Плану управління річкового басейну Дону (суббасейну Сіверського Дінця), який має бути затверджений Кабінетом Міністрів України до кінця 2024 року.

Метою дисертаційної роботи є визначення просторово-часових закономірностей середнього річного стоку води та дослідження сучасного внутрішньорічного розподілу стоку річок басейну Сіверського Дінця в межах України в умовах сучасних кліматичних змін.

Об'єктом дослідження є основні кліматичні характеристики та величини стоку води річок басейну Сіверського Дінця в межах України.

Предметом дослідження є просторово-часові закономірності середнього, максимального та мінімального річного стоку води, внутрішньорічний його розподіл та основні кліматичні умови формування стоку в межах української частини басейну Сіверського Дінця.

Проведено аналітичний огляд результатів попередніх досліджень за тематикою дисертаційної роботи. Визначено основні методичні підходи до вивчення впливу кліматичних змін на водний режим річок. За допомогою теоретичних методів синтезу та узагальнення інформації визначено, що репрезентативні висновки можна отримати шляхом комплексної оцінки результатів, які отримано найбільш вживаними методами. Вплив кліматичних змін на стік в дисертаційній роботі оцінено за допомогою порівняльного аналізу результатів, отриманих за допомогою низки методів: гідролого - генетичного методу, методів математичної статистики, теорії ймовірності та водно – балансового методу.

В роботі використано дані спостережень за гідрометеорологічними характеристиками в басейні Сіверського Дінця Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського (м. Київ). З метою виявлення впливу сучасних кліматичних змін на стокові характеристики для дослідження обрано два тридцятирічні періоди: період кліматичної норми – 1961 – 1990 рр. та сучасний період – 1991 – 2020 рр.

Виконано перевірку на однорідність вихідної бази даних за допомогою гідролого-генетичного та статистичних методів. Встановлено, що за параметричним критерієм Стьюдента однорідними є 78% рядів спостережень за середньорічними витратами води, а за непараметричним критерієм Вількоксона 85%. Гіпотеза про однорідність рядів річних сум опадів та середньорічних значень температури повітря за критерієм Фішера не спростовується. Порушення однорідності рядів середньорічних витрат води виявлено за критерієм Фішера, а рядів середньорічних значень температури повітря та річних сум опадів за критеріями Стьюдента та Вількоксона. Оцінка отриманих результатів, з використанням гідролого - генетичного методу, показала відсутність відхилень у спрямуванні тренду річних сум атмосферних опадів, проте, виявлено, що ряди середньорічних витрат води та середньої річної температури повітря в басейні Сіверського Дінця характеризуються зміною направленості тренду.

Оцінено умови формування річкового стоку в басейні Сіверського Дінця. Визначальними факторами впливу на водний баланс водозборів, водний режим: середній, максимальний та мінімальний річний стік та його внутрішньорічний розподіл є кліматичні умови, геолого-геоморфологічна будова, гідрогеологічні умови, ґрунтово-рослинний покрив та господарська діяльність в межах басейну Сіверського Дінця. Відповідно до умов формування стоку в басейні виділено дві частини – лівобережну (річки, що стікають з Середньоруської височини) та правобережну (річки, що стікають з Донецького кряжу). Особливістю басейну Сіверського Дінця в межах України є високий рівень водогосподарського використання. Річкових стік істотно зарегульовано системою водосховищ, ставків та каналів, що акумулюють та перерозподіляють водні ресурси для забезпечення потреб населення та промисловості.

Проаналізовано багаторічні коливання середньорічного, максимального та мінімального стоку в межах української частини басейну Сіверського Дінця. Виявлено відмінності в коливаннях характеристик стоку річок лівобережжя та правобережжя Сіверського Дінця, що пов'язано зі різними фізико-географічними умовами та антропогенним навантаженням в окремих частинах басейну. Річки правобережжя та, власне, сама р. Сіверський Донець, характеризуються вищим рівнем господарського використання. Гідрологічний режим річок басейну суттєво порушується впливом водосховищ найбільше - Оскільського та Печенізького, а також перекиданнями стоку каналами Дніпро-Сіверський Донець та Сіверський Донець-Донбас. Встановлено, що сучасний період характеризується тенденцією до зниження стокових характеристик.

На основі стохастичного підходу встановлено закономірності багаторічної мінливості середнього річного стоку води річок басейну Сіверського Дінця. Спільне використання автокореляційного та спектрального аналізу дозволило виділити для річок басейну Сіверського Дінця взаємо підтвержені цикли водності тривалістю 19-24 роки. Виділено фази водності (багатоводні та маловодні) з прив'язкою до конкретних років. За критерієм серій встановлено, що періоди маловодних років можуть скласти 9 ± 2 роки, а багатоводних - 10 ± 2 .

Використовуючи виявлені стохастичні закономірності за історичними даними, виконано прогнозні оцінки стоку на найближчу перспективу. Прогнозні оцінки показали, що до 2021±2 р. на річках басейну, ймовірно, буде спостерігатись маловодна фаза водності, яка почалася у 2008 р. З 2021±2 по 2030±2 рр. передбачається багатоводна фаза, потім в період 2031±2 - 2039±2 рр. – маловодна. У період з 2040±2 по 2049±2 рр., імовірно, слід очікувати підвищення водності на річках басейну Сіверського Дінця.

Під дією сучасних змін клімату відбувся перерозподіл гідрометеорологічних характеристик протягом року. Виявлено, що величина атмосферних опадів в межах української частини басейну характеризується незначним збільшенням в червні та вересні – 2-7%; суттєвіші зміни виявлено для березня, травня та жовтня - 24-30%; сума опадів за січень, липень та листопад зменшилась на 3-8%; більш виражене зменшення величини атмосферних опадів відмічається в грудні, квітні та серпні – 11-25%. Середньомісячний стік води з досліджуваних водозборів басейну Сіверського Дінця вагомо зменшився порівняно з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.). Яскраво вираженим є зменшення стоку періоду весняного водопілля, що, в свою чергу, безпосередньо пов'язано з підвищенням температури повітря в період формування вологозапасів (зимові температури зросли на 2,0 – 2,5 °С). Внутрішньорічний перерозподіл опадів відображається в коливаннях річкового стоку.

Визначено зміни складових водного балансу водозборів басейну Сіверського Дінця в сучасний період (1991 – 2020 рр.) в порівнянні з періодом кліматичної норми (1961 – 2020 рр.). Середньорічна температура в басейні між періодами підвищилась на 1,0 - 1,2 °С що, в свою чергу, спричинило збільшення величини сумарного випаровування на 6 – 9%. Річна сума опадів зросла несуттєво (0,5 - 2%), проте відбувся їх перерозподіл упродовж року. Щодо стоку води з досліджуваних водозборів, то саме для цієї складової балансу яскраво виражений вплив зміни глобального клімату - середньорічний стік річок, загалом, зменшився і найбільш суттєвого зменшення у внутрішньорічному розрізі зазнав стік періоду весняного водопілля.

Яскраво вираженим є вплив антропогенних чинників на стік води з досліджуваних водозборів. Серед обраних для дослідження водозборів вплив господарської діяльності на стік особливо позначився для водозбору р. Уди – смт Безлюдівка з високим рівнем антропогенного навантаження (зарегулювання стоку, скиди стічних вод). Стік води в створі цього гідрологічного поста є значно завищеним і не відповідає природньому просторовому розподілу шару стоку в межах річкового басейну.

Проаналізовано внутрішньорічний розподілу стоку для річок української частини басейну Сіверського Дінця за характерні періоди та виявлено певні його зміни в сучасний (1991 – 2020 рр.) період. Встановлено істотне зменшення частки березня (в діапазоні 11-67%) та квітня (в діапазоні 9-50%) місяця і значне збільшення частки стоку січня (в діапазоні 5-35%) та лютого (в діапазоні 11-52%), що в свою чергу, безпосередньо пов'язано з перерозподілом величин опадів та температури в межах басейну. Певні відмінності простежуються між лівими та правими притоками Сіверського Дінця. Для річок лівобережжя, антропогенний вплив на які є меншим, зміни клімату призвели до суттєвого зростання стоку літньо-осінньої межені (28 – 38%). На правих притоках Сіверського Дінця, що протікають в межах індустріальної частини Донбасу, частка літньо-осіннього меженого стоку істотно не змінилася. Частка річного стоку, що припадає на зимовий період, збільшилась для трьох виділених груп річок. Найбільші зміни виявлено у внутрішньорічному розподілі стоку дуже маловодного року – частка стоку зимової межені зросла на 22 – 29% в порівнянні з періодом кліматичної норми.

Встановлено, що на сучасному етапі (1991-2020 рр.) внутрішньорічний розподіл стоку річок басейну Сіверського Дінця зазнав суттєвих змін: в цілому по басейну зменшився стік весняного водопілля (зменшення в діапазоні 17-56%) та збільшився стік літньо-осінньої та зимової межені порівняно з попереднім періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.). Наразі, у маловодні роки водопілля практично не виділяється на річному гідрографі стоку; значно збільшилась частка стоку межених місяців (збільшення в діапазоні 2-29% - зимова межень та 13-35%

- літньо-осіння межень). Відбулося вирівнювання внутрішньорічного розподілу стоку.

Ключові слова: Україна, басейн Сіверського Дінця, умови формування стоку, зміни клімату, атмосферні опади, температура повітря, сумарне випаровування, водний баланс, середньорічний стік, внутрішньорічний розподіл стоку, максимальний стік, мінімальний стік.

ABSTRACT

Bolbot H.V. Climate change influence on the intra-annual water runoff distribution of the Siverskyi Donets River Basin within Ukraine. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the academic degree of Doctor of Philosophy (Ph.D.) in the specialty 103 Earth Sciences (the field of knowledge 10 Natural Sciences). – Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2023.

The thesis consists of studying the intra-annual distribution of the Siverskyi Donets Basin rivers runoff under the influence of present climate change. The relevance of the research is determined by the fact that the Siverskyi Donets River Basin is the main source of Eastern Ukraine water supply. Therefore, an important task is to assess the climate change influence on the basin's water resources. Currently, the relevance of the research has increased due to the warfare within the researched region. That is the assessment of the runoff characteristics and their changes will be important for the post-war recovery of Eastern Ukraine water management.

The main results of the research can be included as a part of the Don River Basin (Siverskyi Donets sub-basin) management plan, which must be approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine by the end of 2024.

The aim of the thesis is to determine the spatial-temporal regularities of the average annual water runoff and to study the present intra-annual distribution of the Siverskyi Donets Basin rivers runoff (within Ukraine) in the conditions of present climate change.

The object of the research is the main climatic and water runoff characteristics of the Siverskyi Donets Basin rivers within Ukraine.

The subject of the study is the present spatiotemporal regularities of the average, maximum, and minimum annual water runoff, its intra-annual distribution, and the main climatic runoff formation conditions within the Ukrainian part of the Siverskyi Donets River Basin.

An analytical review of previous research on the subject of the thesis was conducted. The main methodical research approaches of the climatic change influence on the rivers water regime have been determined. By the theoretical methods of synthesis and generalization of information, it was determined that representative conclusions can be obtained through a comprehensive assessment of the results obtained by the most used methods. In the thesis, the influence of climate change on river runoff is evaluated by a comparative analysis of the results obtained using a number of methods: the hydrological-genetic method, the methods of mathematical statistics, the probability theory, and the water-balance method.

The hydrometeorological characteristics of the Siverskyi Donets River Basin observations data from the Boris Sreznevskyi Central Geophysical Observatory (Kyiv) used in the research. In order, to identify the present climate change influence on water runoff characteristics were chosen two thirty-year periods: the period of the climatological normal - 1961 - 1990 and the present period - 1991 - 2020.

The homogeneity of the exiting database was verified using hydrological-genetic and statistical methods. It was found that 78% of the average annual water discharges observations series are homogeneous according to the parametric Student's *t*-test and 85%, according to the non-parametric Wilcoxon signed-rank test. The hypothesis about the homogeneity of the average amounts of precipitation and average annual values of air temperature series is not refuted by the Fisher test (*F*-test). Fisher's test found the heterogeneity average annual water discharge series. By Student's *t*-test and Wilcoxon

signed-rank test, average annual values of air temperature and average amounts of precipitation series also are heterogeneity. The obtained results estimation, using the hydrological-genetic method, showed the absence of the trend direction deviations of average annual amounts of atmospheric precipitation. However, it was found that the average annual water discharges and average annual air temperature series of the Siverskyi Donets Basin are characterized by a change in the trend direction.

The Siverskyi Donets River Basin runoff formation conditions were evaluated. Determining factors influencing the catchments' water balance and water regime: average, maximum, and minimum annual runoff and its intra-annual distribution are climatic conditions, geological and geomorphological structure, hydrogeological conditions, soil-vegetation complex and economic activity within the Siverskyi Donets Basin. According to the conditions of the runoff formation in the basin, it was distinguished two parts - the left-bank (rivers flowing from the East European Upland) and the right-bank (rivers flowing from the Donets Ridge). A feature of the Siverskyi Donets Basin within Ukraine is the high level of water management use. River's runoff is significantly regulated by a system of reservoirs, ponds and canals that accumulate and redistribute water resources to meet the needs of the population and industry.

Long-term fluctuations of the average annual, maximum and minimum runoff within the Ukrainian part of the Siverskyi Donets Basin were evaluated. Differences in the runoff characteristics of the left-bank and the right-bank rivers of the Siverskyi Donets were revealed, which are associated with different physical and geographical conditions and anthropogenic load in certain parts of the basin. The right-bank rivers and the Siverskyi Donets River itself are characterized by a higher level of economic use. The hydrological regime of the river basins is significantly affected by the impact of the reservoirs, most notably of them are the Oskil and Pechenihiy Reservoirs, as well as the drain overturning through the Dnipro - Donbas Canal. It was established that the present period is characterized by a tendency to decrease the runoff characteristics.

Based on the stochastic approach, the long-term variability regularities of the average annual water runoff of the Siverskyi Donets Basin rivers have been established. The joint use of the autocorrelation and spectral analysis made it possible to identify

mutually confirmed water cycles lasting 19-24 years for the Siverskyi Donets Basin rivers. Phases of water runoff (wet and low periods) are highlighted with reference to specific years. According to the series criterion, it was established that low periods duration is 9 ± 2 years, and wet periods - 10 ± 2 years.

Using the identified stochastic regularities, which are based on historical data, it was received the runoff predictive estimates for the nearest future. It is shown that by 2021 ± 2 year, the basin's rivers will probably be characterized by a low period, which began in 2008. From 2021 ± 2 to 2030 ± 2 , was expected a wet period, then in the period 2031 ± 2 - 2039 ± 2 years - low period. In the period from 2040 ± 2 to 2049 ± 2 , we should probably expect an increase in water runoff of the Siverskyi Donets Basin rivers.

Under the influence of present climate change, it was revealed a redistribution of hydrometeorological characteristics during the year. It was found that the amount of atmospheric precipitation within the Ukrainian part of the basin is characterized by a slight increase in June and September - 2-7%; more significant changes were found for March, May and October - 24-30%. The amount of precipitation for January, July and November decreased by 3-8%; more pronounced decrease in the amount of atmospheric precipitation was noted in December, April and August - 11-25%. The average monthly water runoff from the studied catchments of the Siverskyi Donets Basin has significantly decreased compared to the period of the climatological normal (1961-1990). The decrease in the spring flood runoff is pronounced, which, in turn, is directly related to the increase in air temperature during the formation of moisture reserves (winter temperatures increased by 2.0 – 2.5 °C). The intra-annual redistribution of precipitation is reflected in the river runoff fluctuations.

The changes in the Siverskyi Donets Basin catchments' water balance components in the present period (1991-2020) compared to the period of the climatological normal (1961-2020) were determined. The average annual temperature in the basin increased by 1.0 - 1.2 °C between the periods, which, in turn, caused an increase in evapotranspiration by 6 - 9%. The annual amount of precipitation increased insignificantly (0.5 - 2%), but there was a redistribution of it during the year. As for the studied catchments' runoff, especially for this balance element the impact of global climate change is pronounced.

The average annual rivers runoff, in general, decreased, and the most significant decrease was experienced in the intra-annual section for the spring flood period.

The anthropogenic factors influence on water runoff from the investigated catchments is clearly expressed. Among the catchments, which were selected for the research, the economic activity impact on runoff was particularly noticeable for the catchment the Udy River – Bezliudivka, with a high level of anthropogenic load (runoff regulation, wastewater discharges). Its water runoff is significantly overestimated and does not correspond to the natural spatial distribution of the runoff depth within the river basin.

The intra-annual runoff distribution of the Ukrainian part Siverskyi Donets Basin rivers was analyzed for the representative periods. Certain changes were revealed in the present (1991-2020) period. A significant decrease in the share of March (in the range of 11-67%) and April (in the range of 9-50%) was established, also, a significant increase in the share of January (in the range of 5-35%) and February (in the range of 11-52%) runoff were established, which in turn, directly related to the redistribution of precipitation and air temperature within the basin. Certain differences can be traced between the left and right tributaries of the Siverskyi Donets River. For the left bank rivers, on which the anthropogenic influence is less, climate change led to a significant increase in the summer-autumn low period runoff (28-38%). For the right tributaries of the Siverskyi Donets, which flow within the industrial part of Donbas, the share of the summer-autumn low period runoff has not significantly changed. The share of winter period runoff increased for three defined groups of the rivers. The most pronounced changes were found for the intra-annual runoff distribution of the highly-low year. For such type of year, the share of winter low period runoff increased by 22-29% compared to the period of the climatological normal.

It was established that at the present period (1991-2020), the intra-annual distribution of the flow of the Siverskyi Donets Basin rivers has undergone significant changes. In general, for the basin, the spring flood runoff has decreased (decrease in the range of 17-56%) and the summer-autumn and winter low periods runoff has increased compared to the previous period of the climatological normal (1961-1990). At present,

for low years, the spring flood practically does not stand out on the annual runoff hydrograph. The share of the low months runoff significantly increased (increase in the range of 2-29% - winter low period and 13-35% - summer-autumn low period). There was a leveling of the intra-annual runoff distribution.

Key words: Ukraine, the Siverskyi Donets River Basin, runoff formation conditions, climate change, precipitation, air temperature, evapotranspiration, water balance, average annual runoff, intra-annual runoff distribution, maximum river runoff, minimum river runoff.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. **Большот, Г.В.**, Гребінь, В.В. Аналітичний огляд досліджень впливу змін клімату на стік води річок. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 4(55). С. 64-73. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.5>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
2. **Большот, Г.В.**, Гребінь, В.В. Сучасна трансформація сезонного розподілу стоку води річок басейну Сіверського Дінця. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. № 3(58). С. 48-58. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.5>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
3. Khilchevskyi V., Grebin V., Zabokrytska M., Zhovnir V., **Bolbot H.**, Plichko L. Hydrographic characteristic of ponds distribution in Ukraine – Basin and regional features. *Journal of Water and Land Development*. 2020. № 46 (VII–IX). P. 140–145. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.134206>. (Особистий внесок автора: пошук та аналітичний огляд літератури за темою дослідження, збір, обробка та аналіз вихідних даних для території басейну Сіверського Дінця, підготовка рукопису).
4. **Большот Г.В.**, Лук'янець О.І., Гребінь В.В. Структура часових рядів річного стоку води річок басейну Сіверського Дінця на основі стохастичного аналізу його багаторічних коливань. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 4(62). С. 18-34. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.4.2>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
5. Khilchevskyi V., Grebin V., Dubniak S., Zabokrytska M., **Bolbot H.** Large and small reservoirs of Ukraine. *Journal of Water and Land Development*. 2022. № 52

(I–III). P. 101–107. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2022.140379>.
(Особистий внесок автора: пошук та аналітичний огляд літератури за темою дослідження, збір, обробка та аналіз вихідних даних для території басейну Сіверського Дінця, підготовка рукопису).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. **Большот Г.В.** Оцінка багаторічних коливань максимальних витрат води річок басейну Сіверського Дінця. Матеріали III-го всеукраїнського пленера з питань природничих наук, м. Одеса, 20 – 22 червня 2019 р. Одеса: ОДЕКУ, 2019. С. 13-15.
7. **Большот Г.В.**, Гребінь В.В. Аналіз сучасних тенденцій у коливаннях мінімального стоку річок басейну Сіверського Дінця. *Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів*: Збірник матеріалів VIII з'їзду Гідроекологічного товариства України, присвяченого 110-річчю заснування Дніпровської біологічної станції, м. Київ, 6 - 8 листопада 2019 р. Київ, 2019. С. 240-242. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
8. **Большот Г.В.** Оцінка багаторічних коливань мінімальних витрат води річок басейну Сіверського Дінця. *Рельєф, клімат та поверхневі води як об'єкти природничо-географічних досліджень (до 70-річчя кафедр землезнавства та геоморфології, метеорології та кліматології, гідрології та гідроекології*: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*: періодичний науковий збірник. № 3 (54), м. Київ, 2-4 жовтня 2019 р. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2019. С. 31-33.
9. **Bolbot H.**, Grebin V., Osadchy V. Assessment of perennial fluctuations of average annual water discharges of the Siverskyi Donets River Basin. *XXVIII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*: BOOK OF ABSTRACTS, Kyiv, Ukraine, 6-8 November,

2019. Kyiv, 2019. P. 22. *(Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів)*.
10. **Bolbot H.**, Grebin V. Long-term dynamics and current trends in fluctuations of the flow characteristics of the Siverskyi Donets River Basin. *13th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2019: Conference Proceedings. Volume 2019*, Kyiv, Ukraine, 12–15 November 2019. Kyiv, 2019. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903229>. *(Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів)*.
 11. **Bolbot, H.** and Grebin, V. Estimation of the annual runoff distribution of the Siverskyi Donets River Basin in the period of current climate change. *EGU General Assembly 2020: Online*, EGU2020-7932, Vienna, Austria, 4–8 May 2020. Vienna, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-7932>. *(Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів)*.
 12. **Bolbot H.**, Grebin V. Comparative analysis of the annual runoff distribution of the left-bank and right-bank tributaries of the Siverskyi Donets River Basin. *19th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2020: Conference Proceedings, Volume 2020*, Kyiv, Ukraine, 11–14 May 2020. Kyiv, 2020. P.1 - 5 DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo116>. *(Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів)*.
 13. **Bolbot, H.** and Grebin, V. The «rainfall-runoff» system and its long-term fluctuations in the Siverskyi Donets River Basin (Ukraine). *EGU General Assembly 2021: Online*, EGU21-1335019–30, Vienna, Austria, 19–30 April 2021. Vienna, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13350>. *(Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів)*.

14. **Bolbot H.**, Grebin V., Obodovskyi O. and Snizhko S. Water budget elements of the Siverskyi Donets River Basin in different water runoff periods. *XXth International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2021: Conference Proceedings, Volume 2021, Kyiv, Ukraine, 10-14 May 2021. Kyiv, 2021. P. 1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521135>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).*
15. **Большот Г.В.**, Гребінь В.В. Вплив кліматичних змін на складові водного балансу басейну Сіверського Дінця у періоди низької водності. *Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд: тези доповідей, м. Одеса, 7-9 жовтня 2021 р. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 39-40. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).*
16. **Bolbot H.**, Lukianets O., Grebin V., Kostecky A. Analysis of long-term annual water runoff variability of the Desna River. *XV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*: Conference Proceedings, Volume 2021, Kyiv, Ukraine, 17–19 November 2021. Kyiv, 2021. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2073>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
17. **Bolbot, H.** and Grebin, V. The structure of the water budget of the Udy River (Ukraine) under the influence of present climate change. *EGU General Assembly 2022*: Online, EGU22-11365, Vienna, Austria, 23–27 May 2022. Vienna, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-11365>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
18. **Bolbot H.**, Lukianets O., Grebin V., Lobodzinskyi O. The anthropogenic factors influence on the water balance of the Udy catchments (The Siverskyi Donets Sub-Basin). *XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, Monitoring 2022*:

Conference Proceedings, Volume 2022, Kyiv, Ukraine, 15–18 November 2022. Kyiv, 2022. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580119>. (*Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів*).

19. Khilchevskiy V. K., Grebin V. V, **H. V. Bolbot**. River basins districts of Ukraine – comparison with the map of Russia's armed aggression (summer 2022). *XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*, *Monitoring 2022: Conference Proceedings*, Volume 2022, Kyiv, Ukraine, 15–18 November 2022. Kyiv, 2022. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580017>. (*Особистий внесок автора: аналіз вихідних даних, розрахунки, опис отриманих результатів*).

Список праць в яких опубліковано основні наукові результати дисертації та наукові праці, що засвідчують апробацію результатів роботи представлено у додатку Б.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД РЕЗУЛЬТАТІВ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
1.1. Аналіз попередніх досліджень	27
1.2. Основні методичні підходи до вивчення впливу кліматичних змін на водний режим річок.....	36
1.3. Аналіз вихідної інформації.....	41
Висновки до розділу 1	56
РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА УМОВ ФОРМУВАННЯ СТОКУ В МЕЖАХ УКРАЇНСЬКОЇ ЧАСТИНИ БАСЕЙНУ РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ.....	58
2.1. Кліматична характеристика	59
2.2. Гідрографічна характеристика.....	62
2.3. Геолого-геоморфологічна будова.....	64
2.4. Підземні води басейну	67
2.5. Ґрунтово-рослинний покрив	69
2.6. Характеристика водогосподарського комплексу басейну.....	71
Висновки до розділу 2	76
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА БАГАТОРІЧНИХ КОЛИВАНЬ СТОКУ В МЕЖАХ БАСЕЙНУ	78
3.1. Основні риси гідрологічного режиму Сіверського Дінця та його приток....	78
3.2. Середньорічний стік води	82
3.3. Максимальний стік та його сучасні зміни.....	98
3.4. Сучасні зміни мінімального стоку	101
Висновки до розділу 3	104
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЗМІН ВНУТРІШНЬОРІЧНОГО РОЗПОДІЛУ СТОКУ ЗА ХАРАКТЕРНІ ПЕРІОДИ.....	106
4.1. Зміни складових водного балансу.....	106
4.2. Оцінка основних кліматичних характеристик та величин стоку води за два характерні періоди	116
4.3. Внутрішньорічний розподіл стоку характерних за водністю років	121
Висновки до розділу 4	137
ВИСНОВКИ.....	139
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	143

ДОДАТКИ.....	162
Додаток А. Сумарні криві гідрометеорологічних характеристик в басейні Сіверського Дінця за досліджуваний період (1961 – 2020 рр.).....	163
Додаток Б. Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	171

ВСТУП

Актуальність. Водні ресурси забезпечують усі сфери функціонування суспільства, виступають як важливий природний ресурс, що визначає можливості подальшого економічного та соціально-екологічного розвитку країни. В умовах глобальних та регіональних змін клімату особливо важливо мати уявлення про їхній безпосередній вплив на складові водно-теплогового балансу та, у підсумку, на зміни стоку річок. Вивчення цих змін стає однією з головних задач сучасної гідрології.

Басейн Сіверського Дінця є головним джерелом водозабезпечення східного регіону України, тому важливим завданням є оцінка впливу кліматичних змін на водні ресурси басейну. Схід України – один з найбільш індустріальних та урбанізованих регіонів країни з інтенсивним веденням сільського господарства, тому Сіверський Донець і його притоки зазнають значного антропогенного навантаження. Крім того, басейн Сіверського Дінця характеризується значним показником урбанізованості. У той же час водозабезпеченість басейну р. Сіверський Донець нижча від середньої по Україні.

Враховуючи транскордонний характер басейну, значне антропогенне навантаження на його водні ресурси, що посилюється наслідками сучасних кліматичних змін, постає завдання оцінки змін водного режиму річок басейну, що відбуваються та прогнозу їх подальшого розвитку. Така оцінка є необхідною для розробки системних заходів зі стабілізації та поліпшення стану водних об'єктів регіону на підставі науково-обґрунтованих підходів.

Наразі, актуальність дослідження зростає через бойові дії в регіоні, тому що оцінка характеристик стоку та їх змін буде важливою для післявоєнного відновлення водогосподарської галузі Східної України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дослідження за темою дисертації виконано відповідно до планів науково-дослідних робіт УкрГМІ ДСНС України та НАН України за держбюджетними темами:

- «Розроблення методології досліджень впливу регіональних кліматичних змін на хімічний склад поверхневих вод України та її реалізація на прикладі окремих річкових басейнів» (2018 – 2020 рр., № д.р. 0118U004494);
- «Науково-методичні засади адаптації системи гідрохімічного моніторингу до сучасної законодавчої бази» (2018 – 2020 рр., № д.р. 0118U004494);
- «Розроблення та видання електронного атласу «Клімат і водні ресурси України» (2021 – 2023 рр., № д.р. 0121U110241);

Мета й завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є визначення просторово-часових закономірностей середнього, максимального та мінімального річного стоку води та дослідження сучасного внутрішньорічного розподілу стоку річок басейну Сіверського Дінця (в межах України) в умовах сучасних кліматичних змін. Відповідно до поставленої мети в роботі вирішувались наступні завдання:

- проаналізувати та узагальнити існуючі підходи до оцінки впливу кліматичних змін на водні ресурси;
- обґрунтувати обрані для дослідження методичні підходи;
- дослідити просторово-часову однорідність гідрометеорологічних характеристик в басейні Сіверського Дінця;
- оцінити умови формування стоку в межах української частини басейну Сіверського Дінця в умовах сучасних кліматичних змін;
- отримати закономірності багаторічної мінливості річного стоку води річок басейну та ідентифікувати її циклічну складову;
- дослідити зміни елементів водного балансу річок басейну Сіверського Дінця;
- оцінити основні кліматичні характеристики та величини стоку води за два характерні періоди;
- проаналізувати зміни внутрішньорічного розподілу стоку в умовах сучасних кліматичних змін.

Об'єктом дослідження є основні кліматичні характеристики та величини стоку води річок басейну Сіверського Дінця в межах України.

Предметом є просторово-часові закономірності середнього, максимального та мінімального річного стоку води, внутрішньорічний його розподіл та основні

кліматичні умови формування стоку в межах української частини басейну Сіверського Дінця.

Методи дослідження:

- Емпіричні та теоретичні методи наукових досліджень (історичний метод, аналіз і синтез інформації, порівняння та узагальнення);
- Гідролого-генетичний метод (хронологічні графіки, сумарні криві відхилень, різницеві інтегральні криві);
- Методи математичної статистики та теорії ймовірності (визначення основних параметрів статистичного ряду, дослідження кореляційних зв'язків та складання рівнянь регресії, визначення емпіричної ймовірності перевищення (забезпеченості) членів варіаційного ряду, автокореляційна та спектральна функція та ін.);
- Аналіз просторових даних та картографування з використанням геоінформаційних систем;
- Водно-балансові методи.

Вихідні матеріали. Для проведення дисертаційного дослідження використано опубліковані довідникові матеріали гідрометеорологічних спостережень Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського (м. Київ). Для дослідження використано дані спостережень 27 гідрологічних постів у басейні Сіверського Дінця з початку спостережень по 2020 р. включно; для виявлення впливу сучасних кліматичних змін на стік використано дані спостережень 14 метеостанцій за період 1960 – 2020 рр.

Використано дані звітності 2-ТП Водгосп Державного агентства водних ресурсів України та дані Геологічної служби США (Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), цифрова модель рельєфу - DEM). Також для дослідження залучено топографічні карти регіону масштабу 1:50000 та 1:100000.

Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше:

- Визначено структуру часових рядів річного стоку води річок української частини басейну Сіверського Дінця на основі стохастичного аналізу його

багаторічних коливань. Виділено взаємо підтвержені різними методами цикли водності тривалістю 19 - 24 роки;

- Досліджено зміни елементів водного балансу річок басейну Сіверського Дінця в умовах сучасних кліматичних змін, зокрема, зростання середньої річної температури повітря та, як наслідок, величини сумарного випаровування. При цьому середня річна кількість опадів практично не змінилася, але відбувся їх внутрішньорічний перерозподіл. Зазначені зміни викликали зменшення водності річок басейну;
- Проаналізовано зміни складових водного балансу водозборів річок басейну Сіверського Дінця з різним антропогенним навантаженням. Яскраво вираженими є такі зміни для басейнів малих та середніх річок, що зазнають впливу перекидання стоку, водозабору та водовідведення;
- Оцінено основні кліматичні характеристики та величини стоку води в межах басейну Сіверського Дінця. Виявлено внутрішньорічний перерозподіл об'єму річного стоку річок басейну, зокрема, істотне зменшення стоку періоду весняного водопілля, пов'язане зі змінами умов його формування впродовж зимового сезону, при одночасному зростанні частки стоку літньо-осінньої та зимової межні від річного об'єму стоку. Найбільш яскраво такі зміни виражені для маловодних років.

Отримали подальший розвиток:

- підходи щодо дослідження просторово-часових закономірностей гідрометеорологічних характеристик;
- методичні підходи оцінки водно-балансових співвідношень;
- аналіз внутрішньорічного розподілу стоку річок.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дисертаційного дослідження можуть бути використані для оцінки та прогнозування змін середньорічного стоку води та внутрішньорічного розподілу стоку в структурах ДСНС України, Державного агентства водних ресурсів України, Національної академії наук України та в навчальному процесі Українського

гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, відповідних освітніх програмах закладів вищої освіти України. Отримані результати можуть бути використані для вирішення задач інтегрованого управління водними ресурсами та складання відповідних розділів Плану управління річковим басейном Дону, складовою частиною якого є суббасейн Сіверського Дінця, що має бути затверджений Кабінетом Міністрів України до кінця 2024 року. Також результати дослідження знайдуть своє застосування в ході післявоєнного відновлення водогосподарської галузі східного регіону України.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана на основі власних досліджень. Здобувачем зібрано та систематизовано дані спостережень гідрометеорологічних характеристик в межах української частини басейну Сіверського Дінця та проаналізовано попередні дослідження, що стосуються проблематики роботи. Внесок автора полягає в практичній реалізації: статистичного та гідролого-генетичного методів оцінки однорідності рядів спостережень гідрометеорологічних характеристик; статистичних методів розрахунку просторово-часової динаміки гідрометеорологічних характеристик; застосуванні різних підходів до оцінки багаторічних коливань стоку в межах басейну; виконанні та аналізі розрахунків водного балансу та внутрішньорічного розподілу стоку річок басейну Сіверського Дінця; узагальненні та аналізі отриманих результатів проведеного дослідження.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і результати дисертаційного дослідження було оприлюднено на 3 всеукраїнських та 9 міжнародних наукових конференціях:

- III-й Всеукраїнський пленер з питань природничих наук (20 – 22 червня 2019, Одеса);
- Конференція присвячена 110-річчю заснування Дніпровської біологічної станції «Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів», VIII з'їзд Гідроекологічного товариства України (6 - 8 листопада 2019, 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, Київ)
- XXVIII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management (6 - 8 November 2019, Kyiv, Ukraine);
- EGU General Assembly 2020 (4–8 May 2020), 2021 (19–30 April 2021) 2022 (23–27 May 2022), (Vienna, Austria);
- 13th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2019 (12–15 November 2019, Kyiv, Ukraine);
- 19th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2020 (11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine);
- XXth International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2021 (10-14 May 2021, Kyiv, Ukraine);
- Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд (7-9 жовтня 2021, Одеса);
- XV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, Monitoring 2021 (17–19 November 2021, Kyiv, Ukraine);
- XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, Monitoring 2022 (15–18 November 2022, Kyiv, Ukraine).

Також основні результати дисертаційного дослідження оприлюднено на наукових семінарах лабораторії дослідження впливу кліматичних змін на водні ресурси УкрГМІ та на засіданнях вченої ради УкрГМІ.

Публікації: основні результати досліджень опубліковано у 19 наукових працях, зокрема у 5 статтях (2 статті – у фахових наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science та 3 статті – у фахових наукових виданнях України) та 14 тезах доповідей конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (150 найменування) та додатків. Повний обсяг роботи становить 175 сторінок. Основна частина дисертаційної роботи складається з 122 сторінок та налічує 29 рисунків і 20 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД РЕЗУЛЬТАТІВ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Водні ресурси забезпечують усі сфери функціонування суспільства, виступають як важливий природний ресурс, що визначає можливості подальшого соціально-економічного розвитку країни. Глобальні зміни клімату, викликані збільшенням концентрації парникових газів, а також антропогенною діяльністю, можуть призвести до зміни доступності водних ресурсів майже у всіх регіонах світу [92]. В умовах сучасних змін клімату особливо важливо мати уявлення про їх безпосередній вплив на водний режим річок. Сучасні зміни клімату значно модифікують умови формування стоку. Зростає потреба у виявленні тенденції коливань річкового стоку, щоб порівняти їх з майбутніми прогнозами кліматичних моделей [107]. Таким чином, оцінка мінливості річкового стоку важлива в управлінні водними ресурсами в майбутньому [135].

1.1. Аналіз попередніх досліджень

Велика кількість наукових публікацій в світі присвячена дослідженню глобальних та регіональних змін клімату та їх впливу на водні ресурси. В Україні дане питання представлено у наукових працях в контексті оцінки сучасних тенденцій водного стоку річок та перспективних змін водних ресурсів країни.

Питання впливу змін клімату на водні ресурси почало висвітлюватися у публікаціях українських вчених у 90-х роках минулого століття. Вплив сучасних кліматичних змін на водний режим річок досліджували такі вчені як Вишневський В.І., Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Гребінь В.В., Сніжко С.І. та ін. [17, 18, 25, 26, 52, 33, 24].

Основні наукові підходи включають аналіз історичних тенденцій стоку та прогнозування майбутніх гідрологічних явищ. Так, у роботах Гопченка Є.Д., Лободи Н.С. та ін. досліджено багаторічні коливання водного стоку річок. Відзначається, що у рядах спостережень існують направлені часові тренди, які

необхідно враховувати при гідрологічних розрахунках та прогнозах [63]. Оцінка можливих змін водних ресурсів України в умовах глобального потепління виконана в Одеському державному екологічному університеті (Є.Д. Гопченком та Н.С. Лободою) - за результатами дослідження очікувалося зниження стоку на 25% на території України, поряд із зниженням норми стоку прогнозувалося посилення його багаторічної мінливості та асиметричності його розподілу [50].

Вишневський В.І. оцінював зміни кліматичних показників та їх вплив на водний стік, термічний і льодовий режим річок. Виходячи з результатів дослідження значимості лінійних трендів рядів спостережень, ним виявлено позитивні тренди природного стоку, за винятком р. Дністер [16, 17,18]. Зокрема в роботах Вишневського В.І. виконано аналіз впливу сучасних кліматичних змін на стік річок України. В роботах автора встановлено підвищення середньої річної температури повітря для території України, з максимумами підвищення у зимові та весняні місяці, що, в свою чергу обумовлює тенденцію до зменшення висоти снігового покриву і збільшення повторюваності відлиг. Автором зафіксовано вирівнювання кількості опадів по території країни (зменшення в північно-західному регіоні та збільшення на півдні та сході України) та вирівнювання внутрішньорічного розподілу стоку річок України (зменшення максимальних витрат води весняного водопілля та зростання меженних витрат літнього і зимового періодів) [17, 18].

У роботі Гребеня В.В., базуючись на ландшафтно-гідрологічному аналізі оцінено вплив кліматичних змін на водний режим річок України та його внутрішньорічний розподіл. Визначено переломну точку, з якої почався сучасний період зростання регіональної температури повітря для території України – 1989 рік [36].

Перше районування території України за внутрішньорічним розподілом стоку річок, з визначенням меж періодів і сезонів водогосподарського року, виконано в роботі Железняка Й.А. [41]. Отримані відомості в подальшому уточнювались та оновлювались [23,32,42]. Впродовж останніх двох десятиліть відбулися певні зміни внутрішньорічного розподілу стоку річок України.

Розрахунки показують, що весняне водопілля вже не є найбільшою за об'ємом стоку фазою водного режиму. Мінімальні зимові середньомісячні витрати зросли практично по всій території країни. [36]. Вказані закономірності підтверджуються дослідженням європейських вчених в якому проаналізовано терміни початку та проходження весняного водопілля в Європі за останні п'ять десятиліть. Використовуючи загальноєвропейську базу даних 4262 спостережних гідрометричних станцій, виявлено чіткі закономірності зміни термінів проходження весняного водопілля - тепліші температури призвели до раннього танення снігу та раннього початку повені [77].

Степанян С.В. виконала комплексну оцінку гідрологічних і гідрохімічних характеристик басейну Сіверського Дінця на основі системного підходу та створила модель оцінки і прогнозування екологічного стану за отриманими кількісними і якісними характеристиками [68]. Комплексну оцінку екологічного стану басейну Сіверського Дінця на основі узагальнення результатів багаторічних комплексних досліджень висвітлено науковцями Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна А. М. Крайнюковою, О. М. Крайнюковим (2009–2011 рр.) [48].

Аналіз стокових характеристик 925 найбільших річок світу за період 1948–2004 рр., що становить 73% глобального стоку, був представлений американськими вченими [95]. Великі багаторічні зміни були виявлені в більшості даних часових рядів спостережень. Було показано, що просторово-часові структури довгих часових рядів даних спостережень за стоком можна описати коливаннями, що мають прямі аналоги в коливаннях атмосферних опадів та температури. Така ситуація безпосередньо пов'язана з масштабною кліматичною мінливістю [105].

У Західній та Центральній Європі аналіз тенденцій середнього річного стоку не показує суттєвих змін протягом досліджуваного періоду 1810-1990 років. Однак для річок південно-східної Європи (Дніпро, Дон, Волга) за період 1881–1990 рр. виявлено зменшення стоку [127]. Оцінка даних середнього багаторічного стоку річок Чехії (для дослідження використано 50 станцій) за періоди 1931-1980 рр. та 1961–2005 рр. свідчить про його незначне збільшення, проте на півдні та заході

Чехії спостерігалось зменшення середніх річних витрат води. У січні, лютому та березні визначені тенденції до зростання стоку, тоді як у наступні 3 місяці панували тенденції зменшення [101].

Проте, не всі дослідження вказують на суттєві зміни в режимі формування стоку під дією сучасних змін клімату. В дослідженні тенденцій стоку басейну річки Варта зазначається, що кліматичні зміни за період 1981–2010 років не мали суттєвого впливу на стік [109]. Подібних висновків дійшли і білоруські вчені. Зроблено оцінку ресурсів поверхневих вод Білорусії за період 1960–2009 роки, зафіксовано перерозподіл водних ресурсів у басейнах великих річок та адміністративних районах. Порівняльний аналіз карт річного стоку в Білорусії показав, що для басейну річки Західної Двіни характерне незначне збільшення значень стоку, для річок Неман та Вілія було виявлено зменшення стоку. Для інших водозборів змін стоку не виявлено [146].

До розрахунків стоку річок в умовах глобального потепління вченими залучаються математичні моделі стоку, для яких на вході використовується метеорологічна інформація. Гідрологічні моделі із розподіленими параметрами, які залучають до розрахунків стоку метеорологічні характеристики та характеристики водозбору, дозволяють отримувати ряди поверхневого та підземного стоку. Вони являють собою систему диференціальних рівнянь, представлених у частинних похідних, які описують процеси, що відбуваються у басейні річки.

Для відновлення даних про природний (непорушений водогосподарською діяльністю) стік у Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Лободи Н.С. була розроблена модель — «клімат-стік», яка дозволяє виконувати розрахунки природного стоку за метеорологічними даними та переходити до визначення побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку на базі імітаційного стохастичного моделювання. У другій половині минулого сторіччя розроблення такої моделі було актуальним через значну трансформацію стоку річок України водогосподарською діяльністю та нестачу даних спостережень за стоком як у природних, так і порушених водогосподарською діяльністю умовах на півдні

України. Починаючи з 80-х років минулого сторіччя актуальність, теоретична і практична значущість моделі посилилася внаслідок додавання до проблеми оцінки наслідків діяльності людини такого чинника як зміни глобального клімату.

Сніжко С.І., Купріков І.В., Павельчук Є.М. та ін. виконали оцінку можливих змін водного стоку на території України в XXI столітті. В основу розрахунків за допомогою водно-балансової моделі покладено результати прогнозування змін клімату України з використанням регіональної моделі REMO. Встановлено дві основні тенденції розвитку водних ресурсів, щодо яких потрібно розробляти заходи адаптації водогосподарського управління в Україні: тенденція до зменшення водного стоку з території рівнинної частини України і стабілізація водного стоку гірських річок Карпатського регіону [49, 24].

Горбачова Л.О. виконала дослідження можливих майбутніх змін водного стоку річок України за даними чотирьох регіональних кліматичних моделей, а саме REMO/ESCM5, RCA3-E/ESCM5, RCA3-B/BCM, RRCM/HadCM3Q0 для сценарію A1B на основі базового (1991-2010 рр.) та прогнозного (2031-2050 рр.) періодів. Для дослідження було залучено 31 басейн, які добре характеризують умови формування водного стоку річок на всій території України. Очікувані зміни середньорічного стоку води річок України на середину XXI століття, на її думку, найвірогідніше будуть перебувати в межах природних коливань водності [31].

У дослідженні Лободи Н.С., Сербової З.Ф., Божок Ю.В. на основі моделі «клімат-стік» з використанням гілки сценаріїв A1B (M10) встановлено основні тенденції змін водних ресурсів України та представлені карти ізоліній коефіцієнтів зволоження, середніх багаторічних величин річного стоку та їх змін. Отримані оцінки змін водних ресурсів річок України характеризуються розбіжностями за періодом настання змін, їх значеннями та тенденціями [53].

Оцінка стану водних ресурсів р. Сіверський Донець за сценаріями глобального потепління наводиться в роботі Бабаєвої О.В. Надається нове вирішення задачі розрахунків характеристик річного стоку р. Сіверський Донець (у межах України) в умовах недостатності даних спостережень, водогосподарських перетворень та змін глобального клімату для потреб водопостачання [3].

Увага щодо дослідження впливу кліматичних змін на водні ресурси приділяється вченими різних країн світу, розглядаються питання впливу змін клімату на водні ресурси, елементи водного балансу, реакції коливань стоку на сценарії кліматичних змін. За останні роки в світі було опубліковано велику кількість наукових праць, що безпосередньо стосуються впливу кліматичних змін на водні ресурси.

Значного поширення набули праці, щодо оцінки водних ресурсів на найближчі роки під впливом кліматичних змін та антропогенного впливу. Робота Кіреєвої М.Б. полягає в комплексному регіональному просторово-часовому узагальненні характеристик водного режиму річок басейну Дону з урахуванням сучасної гідрометеорологічної інформації, оцінці впливу сучасних і очікуваних змін клімату на водний режим річок і водогосподарський комплекс території [44]. В результаті проведеного дослідження Корнілова А.Г., Лебедевої М.Г., Решетнікова В.С. виявлено тренди до зниження річного та сезонного стоку р. Сіверський Донець на тлі прогресуючого дефіциту поверхневого і підземного живлення вод в регіоні, обумовленого впливом кліматичних і антропогенних чинників [47].

Вплив зміни клімату на водні ресурси пояснюється, головним чином, пов'язаними змінами домінуючих факторів клімату - опадів та температури. Проведений шведським Центром Россбі аналіз впливу змін клімату на території Європи свідчить про те, що у центральній Європі потепління набуває піку влітку, коли локально досягає 10°C . Чотири сценарії моделювання узгоджують загальне зменшення кількості опадів у центральній Європі влітку та значне підвищення найнижчих мінімальних температур, швидше за все, через зменшення снігового покриву. Результати проведеного моделювання вказують на значне підвищення найнижчих мінімальних температур та збільшення екстремальних добових опадів [129]. Дані спостережень та кліматичні прогнози свідчать про те, що прісноводні ресурси вразливі та можуть сильно постраждати від змін клімату, що призведе до широкомасштабних наслідків для суспільства та екосистем [76].

У ряді зарубіжних робіт досліджується вплив кліматичних змін на компоненти водного балансу за допомогою моделі SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Так у роботі T.V.Reshmidevi, D. Nagesh Kumar, R. Mehrotra, A. Sharma (Індія, Австралія) за результатами розрахунків виявлено граничне зниження річного стоку, збільшення середньорічної кількості опадів та підвищення температури [131]. З використанням вищенаведеної моделі для басейну Західного Бугу проаналізовано вплив кліматичних змін на водний режим, за базовий період взято 1961-1990 рр., як орієнтир для сучасних кліматичних умов. Визначена тенденція до підвищення температури, зменшення кількості літніх опадів, що призводить до зменшення стоку та запасів ґрунтових вод для всіх сезонів [102]. Змодельовані за допомогою SWAT умови формування стоку басейну Десни свідчать про те, що підземний стік є основною часткою загального стоку [126], враховуючи зменшення запасів ґрунтових вод через несприятливий вплив сучасних кліматичних умов, що підтверджують більшість європейських та українських досліджень, можна очікувати зниження водності басейну Десни.

Також використовується напів-розподілена еко-гідрологічна модель SWIM (Soil and Water Integrated Model), яка описує взаємодію води і підстильної поверхні. За допомогою цієї моделі виконано дослідження оцінки впливу кліматичних змін на формування стоку басейну Дунаю. Результати вказують на загальну тенденцію до зменшення літнього стоку для всього басейну та осіннього стоку для басейнів середнього та нижнього Дунаю, що посилює наявні екстремальні меженні періоди. Для зимового і раннього весняного сезонів, в основному з січня по березень, прогнозується збільшення річкового стоку [141]. Для оцінки змін формування стоку румунської річки Муреш також була застосована модель SWIM. Отримані результати так само вказують на збільшення стоку в зимовий період, зменшення в літній та подовження періоду низької водності до кінця століття [115]. З використанням аналогічної моделі було проведено дослідження для трьох водозборів на території України, характерних для різних географічних зон. Отримані результати свідчать про зміщення сезонного розподілу стоку під впливом кліматичних змін. Весняне водопілля формується раніше внаслідок підвищення

температури та раннього танення снігу. Досить сильною є тенденція до збільшення витрат води в зимовий сезон та зменшення у весняний [99].

Oliver Moses, Wame L. Hambira встановили, що зміна клімату, ймовірно, призведе до подальшого збільшення сумарного випаровування. Основними кліматичними параметрами, необхідними в якості вхідних змінних в моделях були швидкість вітру, сонячна радіація та відносна вологість [121]. Зміни у компонентах водного балансу (та їх величина) є результатом взаємодії між зміною клімату та змінами у землекористуванні. Як наслідок, вплив зміни клімату залежить від господарської діяльності в конкретному басейні. Такий висновок був зроблений німецькими вченими [113]. У дослідженні Aditya P. Nilawar, Milind L. Waikar (Індія) використано три регіональні моделі циркуляції RCP 4.5 і 8.5 для чотирьох майбутніх періодів P1 (2009–2031 pp.), P2 (2032–2053 pp.), P3 (2054–2075 pp.) та P4 (2076–2099 pp.). Відмінності в сценаріях порівнюються з базовим періодом 1980–2005 pp. Прогнозовані опади та температура повітря показують значну тенденцію до зростання, аналогічним чином прогнозується, що середньомісячний стік збільшиться [123].

Антропогенного і кліматичного впливу на розподіл сезонного стоку стосувалось дослідження китайських вчених. Аналіз щорічних і сезонних рядів показав, що стік мав тенденцію до зменшення, з різкою точкою зміни в 1979 році. Антропогенний вплив на зміни стоку більший, ніж вплив зміни клімату. Подібного висновку дійшли у своїй роботі «Impact of climate change and human activities on runoff in the Weihe River Basin, China» науковці з Китаю та США [148]. Результати досліджень німецьких та британських вчених вказують на те, що в європейському масштабі зміни клімату можуть значно змінити водний режим [134].

Вплив змін клімату на водні ресурси Чехії оцінено за допомогою концептуальної гідрологічної моделі BILAN. На 250 водозборах різної величини та кліматичних умов оцінено вплив змін клімату на середній стік між періодами 1961–1990 pp. та 2070–2099 pp. Більшість сценаріїв передбачають збільшення зимового стоку в північній частині Чехії та узгоджують зниження весняного та літнього стоку більшості водозборів [106].

За допомогою моделей ALADIN та REMO, було оцінено гідрологічний режим транскордонної річки Марос (Карпатський регіон, Угорщина та Румунія). У дослідженні підкреслюється зменшення величини зимових снігозапасів та більш ранній початок періоду сніготанення, що викликає зниження рівня весняного водопілля, а також більш масштабний паводковий період. В ранній осінній період можна очікувати постійного посилення дефіциту водних ресурсів. [138]. З використанням регіональної моделі REMO встановлена тенденція до зменшення водного стоку і для території рівнинної частини України в XXI столітті [139].

На основі гідрологічної моделі WBUDG проаналізовано вплив кліматичних змін на середньомісячний стік водозбору центральної Греції. Підвищення температури повітря та зменшення кількості опадів призводять до значного зменшення середньомісячного стоку майже за всі місяці та мають значний негативний вплив на стік літньої межени [120]. Результати отримані з використанням моделі HBV для трьох водозборів Литви показали зменшення витрат води весняного водопілля та мінімальних витрат води літнього сезону. [133].

Дуже велика увага приділяється питанням адаптації до змін клімату та нестачі водних ресурсів. Yongnan Zhu, Zhaohui Lin, та ін. (Китай) провівши моделювання за трьома сценаріями змін клімату RCP 2.6, 4.5 та 8.5 виявили зменшення водних ресурсів на початку і середині XXI століття [150]. Групою вчених з різних країн Bryson Bates (Австралія), Zbigniew W. Kundzewicz (Німеччина), Shaohong Wu (Китай), Jean Palutikof (Великобританія) була виконана робота, що спрямована на вирішення проблеми нестачі прісної води в умовах зміни клімату, представлені адаптаційні заходи [76]. Orlando B. у своїй роботі «Climate change and water adaptation issues» говорить про те, що зміни клімату будуть основною проблемою, з якою зіткнуться фахівці водогосподарської галузі протягом наступних 20-25 років. Також, автор детально розглядає адаптаційні заходи до змін клімату, що впливають на водні ресурси [125].

Зміна клімату вплине на доступність води в Європі, і Україна не є винятком. Майбутні зміни посилять наголос на водних ресурсах та пов'язаних з водою секторах економіки країн. Басейн Сіверського Дінця є головним джерелом

водозабезпечення східного регіону України, саме тому важливим завданням виступає оцінка впливу кліматичних змін на водні ресурси. Зміни розподілу кліматичних характеристик та внутрішньорічного розподілу стоку, що відбулися в басейні Сіверського Дінця під дією змін клімату оцінено в роботі (див. Розділ 3,4).

1.2. Основні методичні підходи до вивчення впливу кліматичних змін на водний режим річок

В ході дослідження проблематики впливу кліматичних змін на водні ресурси науковцями використовуються різні підходи та методи. Для вирішення поставленої задачі науковцями застосовується чотири основні групи методів:

1. Аналіз багаторічних рядів спостережень, з метою виявлення та можливого «подовження» тенденцій;
2. Оцінка чутливості гідрологічних моделей;
3. Застосування глобальних та регіональних проєкцій моделей загальної циркуляції атмосфери та океану (МЗЦАО) як вхідних даних в гідрологічну модель;
4. Аналогові дослідження, що базуються на наявних гідрологічних даних та пошуку подібних сценаріїв розвитку процесів та явищ [63].

Найбільш поширеним напрямком досліджень є використання глобальних та регіональних моделей як вхідних даних в гідрологічну модель. Даний напрямок базується на теорії, про те, що потепління клімату відбувається внаслідок надходження в атмосферу парникових газів (передусім CO_2). Вченими прогнозується кількість викидів CO_2 в атмосферу, в залежності від розроблених сценаріїв розвитку суспільства. В доповідях міжнародної групи експертів зі зміни клімату представлено основні підходи та результати з даного напрямку досліджень [92, 93]. Водно-балансові методи та гідрологічні моделі з використанням даних МЗЦАО дають можливість оцінити вплив кліматичних змін на водні ресурси в майбутньому. Проте при адаптації цих методів до річок України потрібно звертати увагу на адекватність відтворення ними базового стоку води.

Для оцінки впливу змін клімату на річковий стік у майбутньому використовують дві стратегії. Згідно із першою, розглядаються коливання кліматичних чинників формування стоку, за якими отримують висновки про коливання водності, тобто відбувається прогноз змін водних ресурсів за виявленою тенденцією змін кліматичних чинників. Згідно із другою стратегією дані кліматичних сценаріїв використовуються у математичних моделях формування стоку.

Прикладом першої стратегії є введення поправок та поправочних коефіцієнтів, які характеризують вплив змін клімату на стік, у існуючі розрахункові формули стоку. Шакірзановою Ж.Р., Лук'янець О.І. та Балабух В.О. використано встановлені за даними минулих років статистичні залежності між характеристиками стоку та метеорологічними показниками [28, 29, 4, 5, 97].

Вченими Європейського Союзу до розрахунків стоку річок в умовах глобального потепління залучаються математичні моделі стоку, на вході яких використовується метеорологічна інформація. Саме такі моделі придатні для розрахунків і прогнозів змін водних ресурсів за даними сценаріїв глобального потепління. Певну проблему використання сучасних математичних моделей формування стоку становить недостатня роздільна здатність моделей.

Для вирішення поставлених завдань дисертаційного дослідження, спираючись на аналіз попередніх досліджень та методичних підходів за тематикою роботи в комплексі використано низку методів. Алгоритм дослідження представлено на рисунку 1.1.

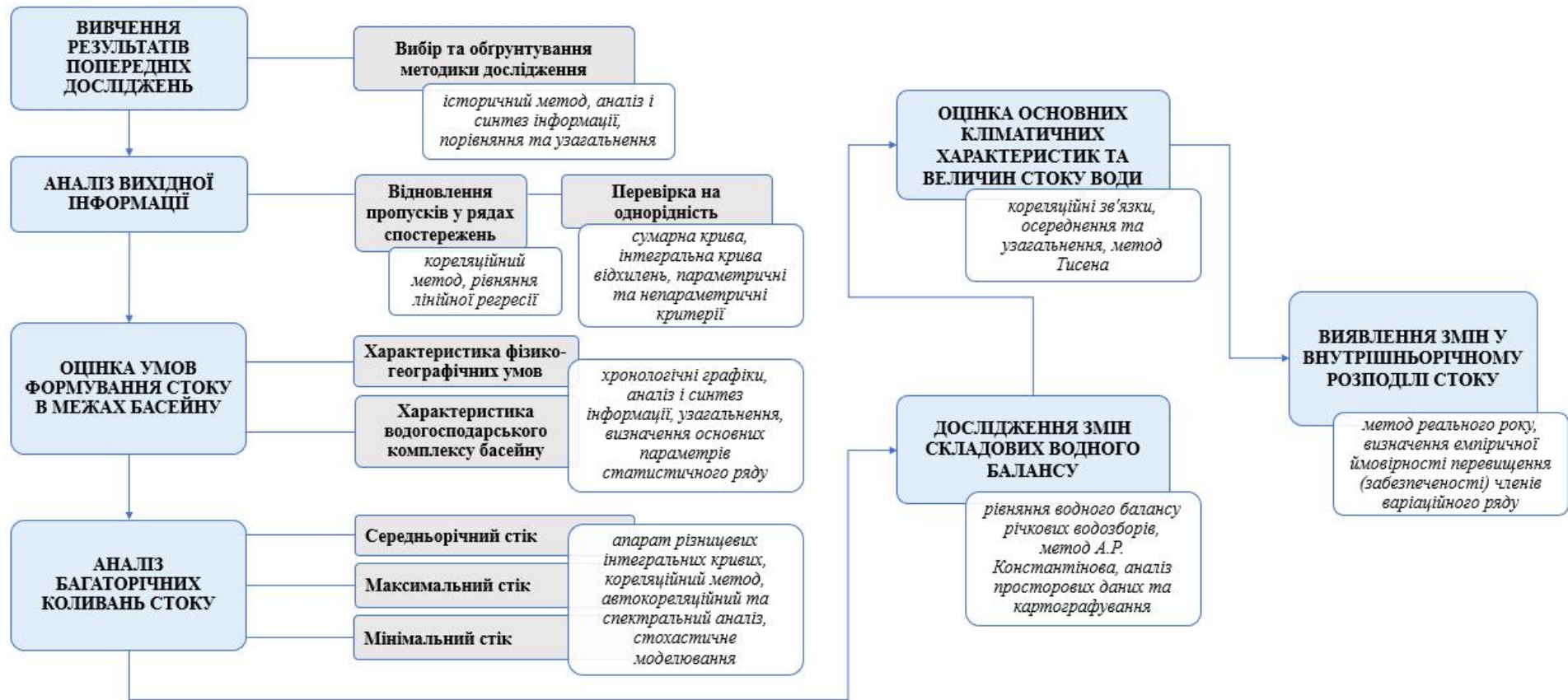


Рисунок 1.1. Алгоритм дослідження впливу кліматичних змін на внутрішньорічний розподіл стоку річок басейну Сіверського Дінця

Кліматичні зміни спричиняють порушення однорідності процесів формування річкового стоку, саме тому в роботі виконано перевірку на однорідність вихідної інформації за допомогою статистичних та графічних методів.

Вивчення багаторічної мінливості річкового стоку води басейну Сіверського Дінця, в основному річних його величин, з виявленням в їх динаміці циклічних коливань в дисертаційній роботі виконано з застосуванням низки стохастичних підходів, таких як автокореляційний та спектральний аналізи, стохастичне моделювання [11]. Природа циклічних змін гідрологічних даних світу та їх зв'язок з активністю сонячних плям була досліджена Вільямсом [149]. На практиці широкого застосування здобули цикли Хейла та Глейсберга [140], що пов'язані з циклічністю опадів, температури та стоку. Стохастичний підхід також використовується для опису наявних часових рядів, розроблені стохастичні моделі для опису структури таких послідовностей [143, 130, 116, 88]. Оцінки глобального стоку під дією кліматичних змін виконані Д. Лабат [114]. Дослідження мінливості стоку європейських річок виявили, що маловодні та багатоводні фази зміщуються на кілька років, а не відбуваються одночасно [127]. Виявлено різні періодичності сухих і вологих періодів в кліматичних показниках та тривалості циклів водності у часових рядах стоку води [67, 70, 87, 103, 124, 127, 128 147].

Сингулярний спектральний аналіз (SSA) є потужним методом аналізу часових рядів [137, 145] з великою сферою застосувань для різних характеристик [108]. Техніка аналізу сингулярного спектру (SSA) застосовується до деяких гідрологічних одновимірних часових рядів, щоб оцінити їх здатність виявляти важливу інформацію з цих рядів, а також його навички прогнозування [118]. Використання методів кореляційного та спектрального аналізу для дослідження структури часових рядів наведено в роботах [69, 2, 89, 104].

У сфері водних ресурсів зміни клімату можуть призвести до зміни кількості опадів, гідродинамічного режиму та водного балансу річок, збільшенню кількості катастрофічних паводків та посухи, дефіциту прісної води. Саме тому оцінка впливу кліматичних змін на водні ресурси та їх прогнозування є дуже актуальним завданням. Основними показниками кліматичних змін виступають атмосферні

опади та температура повітря. Вони мають істотний вплив на хід багаторічних коливань річкового стоку.

В дисертаційній роботі використано водно-балансовий метод, який дозволяє достатньо якісно оцінювати локальні прояви глобальних кліматичних змін в межах окремих водозборів. Для оцінки часової мінливості складових водного балансу використовується порівняння наявних гідрологічних та кліматичних характеристик сучасного періоду з періодом кліматичної норми, а також апарат різницевих інтегральних кривих, який відображає характерні тенденції в багаторічній динаміці окремих складових водного балансу.

З використанням методу історичного аналізу в дисертаційній роботі виконано оцінку впливу кліматичних змін на стік та його річний розподіл, шляхом співставлення розподілу характеристик сучасного періоду (1991 – 2020 рр.) з періодом кліматичної норми (1961 – 1991 рр.). Такий методичний підхід є досить вживаним в сучасних гідрологічних дослідженнях. Подібні дослідження проведено для більшості річкових басейнів України. Тенденції коливань стоку в басейні Десни були оцінені за період до 1989 року (визначена точка початку сучасних кліматичних змін для території України) та після, отримані результати вказують на те, що з 1989 року спостерігається підвищення середньорічної температури в басейні річки Десна, особливо температури зимово-весняного сезону (січень-квітень). Такі зміни викликають зниження річного стоку і максимумів весняного водопілля, в той час як збільшується частка підземного живлення [74]. За аналогічною методикою були виконані дослідження для басейну річки Прип'ять. Виявлено чіткі зміни тенденції стоку для басейну Прип'яті. Дати початку і кінця весняного водопілля змістилися на більш ранні терміни в сучасний період, що пов'язано зі зростанням температури повітря в зимово-весняний період та зменшенням глибини промерзання ґрунту [14]. На подібні висновки вказують роботи європейських вчених. Аналіз спостережень за опадами, температурою та стоком басейну Мааса за період 1911–2003 років виявив, що зміна клімату призведе до зменшення середнього стоку протягом меженого сезону [96]. Мінливість стоку Дунаю в Румунії була проаналізована за період 1931-1995 рр. За останні два

десятиліття була помітна тенденція до зменшення середньорічних витрат води [132]. Дослідження водних ресурсів Іспанії вказують на зменшення стоку на 10-30% для всієї країни протягом 21 століття [100]. Більшість досліджень з використанням різних підходів визначають тенденцію до підвищення температури повітря та зменшення кількості опадів, що безпосередньо впливає на зменшення стоку річок та, власне, на його розподіл протягом року. Жарка, зі значним дефіцитом опадів погода в більшості областей України протягом літнього сезону сприяла суттєвому зменшенню водності річок [34].

Для проведення дисертаційного дослідження використано також емпіричні та теоретичні методи наукових досліджень такі як, аналіз і синтез інформації, порівняння та узагальнення, на основі яких зроблено наступні висновки.

Для дослідження впливу кліматичних змін на водні ресурси у світі використовується велика кількість підходів та методів, зважаючи на це за допомогою розробки уніфікованих та обґрунтованих методів та методик можна отримати саме достовірні оцінки. А отже, першочерговим має бути порівняльний аналіз результатів, що отримані найбільш вживаними методами [12]. Аналізуючи всі наявні підходи до дослідження впливу кліматичних змін на водні ресурси, можна зробити висновок, що найкращим є комплексний метод. Таким чином, для встановлення впливу кліматичних змін на стік та його річний розподіл в басейні Сіверського Дінця залучена низка вищеописаних методичних підходів.

1.3. Аналіз вихідної інформації

Мережа спостережень за стоком води в межах української частини басейну Сіверського Дінця на початок XXI століття налічувала 32 гідрологічні пости, рівномірно розподілені по території басейну (рис. 1.1).

Для оцінки мінливості коливань стоку було використано дані спостережень за середньорічним, максимальним та мінімальним стоком води. Внутрішньорічний розподіл стоку в басейні було оцінено за допомогою аналізу середньомісячних витрат води.

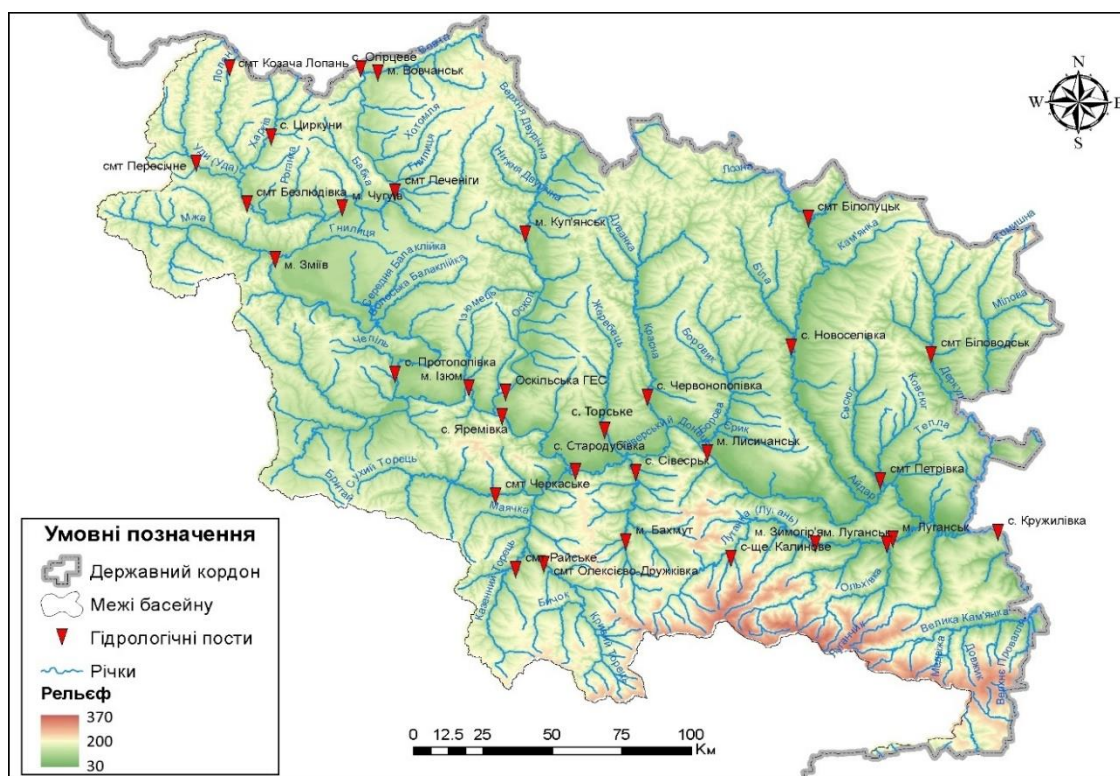


Рисунок 1.2. Картосхема розташування гідрологічних постів у басейні р. Сіверський Донець (станом на 2014 р.)

Статистичні методи розрахунків передбачають порівняння вибірок однакової тривалості для достовірної оцінки результатів дослідження. Для проведення дослідження, спираючись на рекомендації ВМО [136], обрано два тридцятирічні періоди: період стандартної кліматологічної норми – 1961-1990 рр. та сучасний період – 1991-2020 рр.

Кліматичні норми можуть бути використані для досягнення двох основних цілей. Вони служать контрольною точкою, з якою можуть порівнюватися нещодавно проведені чи поточні спостереження, а також широко використовуються для передбачення умов, які можуть очікуватись з найбільшою ймовірністю у заданому районі.

Практика застосування кліматичних норм, як описано в Керівних документах ВМО [91, 94, 142], бере свій початок у першій половині ХХ століття. Загальна рекомендація полягає в використанні 30-річних базових періодів. Початковим

призначенням норм було проведення порівняльної оцінки між спостереженнями, зробленими по всьому світу. Протягом ХХ століття використання норм як предикторів поступово набуло повсюдного застосування. На Сімнадцятому Всесвітньому метеорологічному конгресі [136] було схвалено низку змін стосовно кліматичних норм, проте період із 1961 по 1990 роки було збережено як стандартний опорний період для довгострокової оцінки зміни клімату.

Басейн р. Сіверський Донець розташований на Сході України і частина території басейну знаходиться в зоні бойових дій з 2014 року (війна Росії проти України). Тому на окремих гідрологічних постах, розташованих на р. Сіверський Донець, р. Лугань та р. Вільхова, спостереження за стоком води не проводились, починаючи з цього періоду. Враховуючи те, що вибірка даних для проведення дослідження становить 30 років, було вирішено не враховувати вищенаведені пости при виконанні розрахунків (частина відсутніх даних для одного з періодів становить 30%). Основні відомості про гідрологічні пости в басейні досліджуваної річки, обрані для аналізу, наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Список гідрологічних постів у басейні Сіверського Дінця, обраних для аналізу [39]

№ п/п	Річка – гідрологічний пост	Відстань від гирла, км	Площа водозбору, км ²	Період спостережень, роки
1	р. Сіверський Донець - с. Огірцеве	944	5540	1959-2020
2	р. Сіверський Донець – смт Печеніги	874	8400	1962-2020
3	р. Сіверський Донець - м. Чугуїв	837	10300	1956-2020
4	р. Сіверський Донець - м. Зміїв	793	16600	1923-1941, 1943-2020
5	р. Сіверський Донець – с. Протопопівка	650	19400	1968-2020
6	р. Сіверський Донець - м. Ізюм	602	22600	1924-1935, 1952-2020
7	р. Сіверський Донець – с. Яремівка	573	38300	1954,1955, 1957-1959, 1961-2020

Продовження таблиці 1.1.

8	р. Сіверський Донець – с. Стародубівка	510	44400	1958-2020
9	р. Сіверський Донець - м. Лисичанськ	430	52400	1892-1910, 1925-2014, 2017-2020
10	р. Вовча – м. Вовчанськ	5,8	1330	1954-2020
11	р. Уди – смт Пересічне	76	905	1966-2020
12	р. Уди – смт Безлюдівка	42	3300	1956-2020
13	р. Лопань – смт Козача Лопань	65	189	1941, 1955-2020
14	р. Харків - с. Циркуни	23	890	1962-2020
15	р. Оскіл - м. Куп'янськ	121	12700	1924-1935, 1948-2020
16	р. Оскіл – Оскільська ГЕС	12	14700	1961-2020
17	р. Казенний Торець - смт Райське	72	936	1953-2020
18	р. Кривий Торець - смт Олексієво-Дружківка	13	1530	1928-1935, 1951-2020
19	р. Сухий Торець - смт Черкаське	21	1310	1958-2020
20	р. Бахмут - м. Бахмут	50	433	1969-2020
21	р. Бахмут - м. Сіверськ	11	1560	1957-2020
22	р. Жеребець - с.Торське	16	857	1957-2020
23	р. Красна - с.Червонопопівка	20	2540	1948, 1952, 1956-2020
24	р. Айдар - смт Білолуцьк	183	2250	1949-2020
25	р. Айдар - с. Новоселівка	107	6370	1950-2020
26	р. Євсуг - смт Петрівка	8,5	784	1958, 1963-2020
27	р. Деркул - смт Біловодськ	110	1380	1965-2020

Оскільки кліматичні характеристики мають безпосередній вплив на стік води, для оцінки впливу сучасних кліматичних змін, що відбуваються, використано дані спостережень метеостанцій, що мають безпосередній вплив на басейн Сіверського Дінця та є діючими на 2020 рік (рис. 1.2).

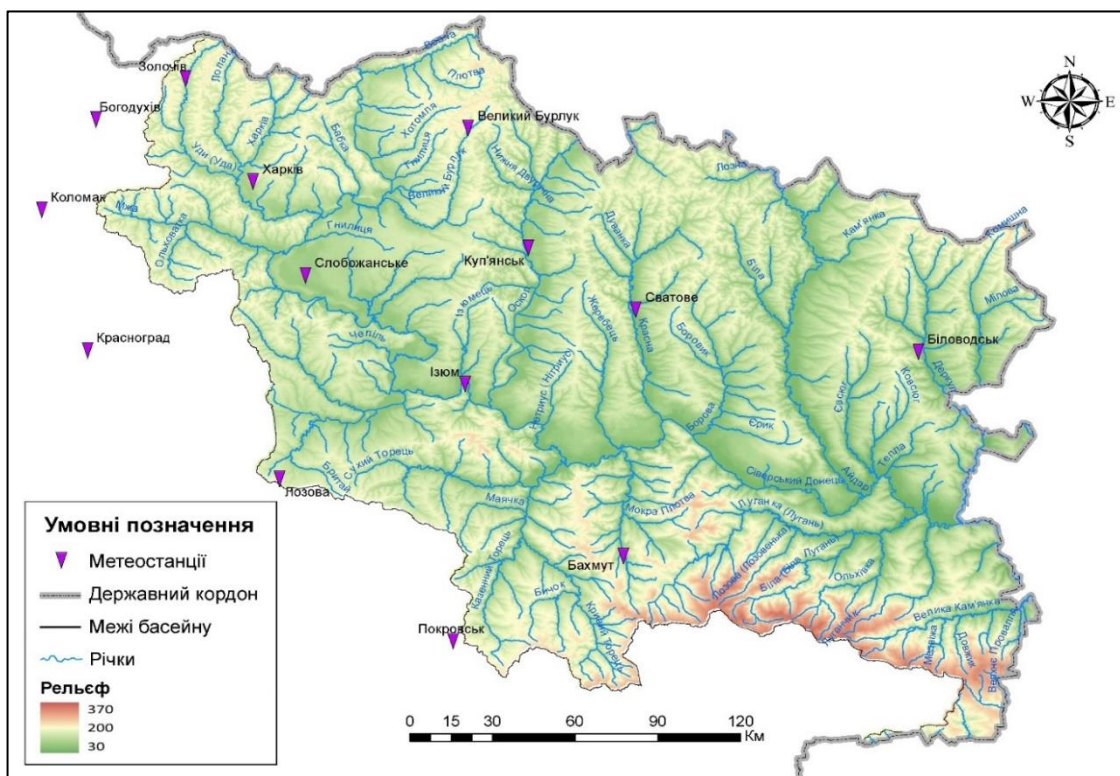


Рисунок 1.3. Картосхема розподілу досліджуваних метеостанцій у басейні р. Сіверський Донець

Оцінено багаторічну динаміку ходу температури повітря, атмосферних опадів. Для обчислення водного балансу досліджуваної території використано дані спостережень за парціальним тиском (абсолютною вологістю повітря). Загальна кількість метеостанцій, що мають вплив на стокові характеристики - 20, проте, спираючись на вищенаведені критерії до формування вибірок даних, в ході дослідження використано дані спостережень на 14 з них. Початок спостережень на метеостанціях Троїцьке і Новопсков 1983 та 1993 р. відповідно, тому вони не використовувались в ході проведення дослідження. Основні відомості про метеостанції наведено в таблиці 1.2 [43].

Відсутні дані спостережень за гідрометеорологічними характеристиками з 1960 року було відновлено за допомогою рівняння лінійної регресії з використанням постів-аналогів. Таким чином створена безперервна вихідна база даних за досліджуваний період (1961-2020 рр.).

Таблиця 1.2. Список метеостанцій у басейні Сіверського Дінця, обраних для аналізу

№ п/п	Метеостанція	Висота метеомайд., м	Область	Фіз.-геогр. зона (основні форми рельєфу)
1	Золочів	159	Харківська	лісостеп
2	Богодухів	196		лісостеп
3	Великий Бурлук	175		лісостеп
4	Коломак	180		лісостеп
5	Харків	154		лісостеп (Середньо-Руська височина)
6	Куп'янськ	87		степ (Середньо-Руська височина)
7	Слобожанське	102		степ (Середньо-Руська височина)
8	Красноград	158		степ (Придніпровська низовина)
9	Ізюм	77		степ (Середньо-Руська височина)
10	Лозова	175		степ
11	Сватове	85	Луганська	степ
12	Біловодськ	74,4		степ (Середньо-Руська височина)
13	Бахмут	123	Донецька	степ (Донецький кряж)
14	Покровськ	193,4		степ

Статистична обробка гідрологічної інформації правомірна лише у тому випадку, коли вибірка даних складається з однорідних і незалежних елементів.

Будь-яка характеристика стоку річки вважається генетично однорідною за таких умов: відноситься до однорідних фаз стоку; відносно незмінна в часі, за який вона аналізується; відноситься до однорідних фізико-географічних умов; характеризується відносно однорідним рівнем господарської діяльності; має незмінні методики спостережень за стоком.

При відсутності надійних даних про час та джерела, що порушують однорідність рядів спостережень статистичні методи є єдиними для такої оцінки. Статистичні методи оцінки однорідності часових рядів спостережень за стоком води застосовуються для внутрішньорядно незалежних та випадкових величин.

Статистичний аналіз однорідності рядів спостережень включає формулювання нульової та альтернативної гіпотез, визначення рівня значимості, вибір критичної області, прийняття або відхилення нульової гіпотези.

Враховуючи точність гідрологічних вимірів та розрахунків при перевірці гідрологічних рядів на однорідність приймають рівень значимості 5%, рідше 1% та 10%. Рівень значимості 5% приймається коли обидві вибірки близькі за водністю. При однозначній зміні тенденції приймається рівень значимості 1%, а при різній направленості процесів – 10% [22].

Критерії однорідності діляться на дві групи - параметричні, які потребують знання закону розподілу (критерії Стьюдента, Фішера та ін.), та непараметричні (критерії Вількоксона, Ван-дер Вандера та ін) [54]. При аналізі однорідності гідрологічних величин, що мають переважно асиметричний розподіл, як правило, застосовуються непараметричні критерії. А при аналізі метеорологічних даних, асиметричність розподілу яких незначна застосовуються параметричні критерії.

Критерій Фішера (F) використовується для перевірки однорідності дисперсій двох вибірок критерій Фішера. Даний критерій виконується для рядів, у відношенні яких робиться припущення про їх підпорядкування нормальному закону розподілу. Необхідність перевірки вихідної інформації на однорідність за допомогою критерія Фішера може виникати у випадку проведення в басейні річки водогосподарських заходів. Величина критерію розраховується як відношення емпіричних дисперсій (за формулою 1.1):

$$F = \sigma_x^2 / \sigma_y^2, \quad (1.1)$$

Де σ_x^2 і σ_y^2 – дисперсії вибірок x і y.

Критерій Стьюдента (t) застосовується для порівняння двох середніх значень з нормально розподілених сукупностей у тому випадку, якщо припустити, що дисперсії статистичних рядів, які розглядаються, дорівнюють одна одній

$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma^2$, хоча невідомі. Критерій Стюдента подається через статистику t у вигляді (формула 1.2):

$$t = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{n_x \sigma_x^2 + n_y \sigma_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_x n_y (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}}, \quad (1.2)$$

де \bar{x} і \bar{y} – середні значення вибірок, σ_x^2 та σ_y^2 – дисперсії вибірок, n_x і n_y – об'єми вибірок.

Критерій Вількоксона (U) - непараметричний критерій який полягає у підрахунку кількості інверсій (формули 1.3 та 1.4).

$$M_u = \frac{m \cdot n}{2}, \quad (1.3)$$

$$D_u = \frac{m \cdot n}{12} (n + m + 1), \quad (1.4)$$

де m та n – відповідно кількість членів у вибірках, які порівнюються [54].

У випадку, коли характеристики досліджуваного ряду змінюються відповідно до часових закономірностей пов'язаних з природною мінливістю макропроцесів, що впливають на кліматичні характеристики району, ряд вважається кліматологічно однорідним. В свою чергу, ряд всі члени якого належать до однієї генеральної сукупності за заданого рівня значущості прийнято вважати статистично однорідним.

Порушення кліматологічної однорідності метеорологічних рядів може бути спричинене впливом місцевості (перенесення метеорологічного майданчика, забудова прилеглих територій, розростання деревних насаджень поблизу станції) та змінами у методиці вимірювань, типі та установці приладу. Статистичну неоднорідність обумовлюють кліматичні зміни [63].

В ході виконання дослідження застосовано різні методи дослідження для вирішення тих чи інших задач. Визначення часової динаміки ходу стокових характеристик, виділення циклів та фаз водності вимагає наявності тривалих рядів спостережень. Отже, для виконання поставленої задачі вихідні дані спостережень за середньорічним стоком води за багаторічний період було перевірено на однорідність з використанням вищезазначених параметричних та непараметричних критеріїв оцінки. Оцінка сучасних кліматичних змін в басейні була виконана з використанням водно-балансового методу, для досягнення поставленої задачі елементи водного балансу розраховано за два характерні тридцятирічні періоди.

Перевірка на часову однорідність середнього річного стоку води, річних сум атмосферних опадів та середньої річної температури проведено за стандартними параметричними критеріями Стюдента (для перевірки значущості середніх значень) – статистика t і Фішера (для перевірки відношення дисперсій) – статистика F при рівні значимості $2\alpha=5\%$ (табл. 1.3-1.5).

Таблиця 1.3. Результати перевірки на однорідність рядів середньорічного стоку води за досліджуваний період (1961-2020 рр.)

№ п/п	Річка - пост	n ₁	n ₂	Критерій Фішера			Критерій Стьюдента			Критерій Вількоксона			
				F	F _a	однор. +; неоднор. -	t	t _a	однор. +; неоднор. -	U	U ₁	U ₂	однор. +; неоднор. -
1	р. Сів. Донець - с. Огірцеве	30	30	4,316	2,174	-	4,052	2,007	-	685	317,428	582,572	-
2	р. Сів. Донець - смт Печеніги	30	30	3,577	2,174	-	1,025	2,007	+	493	317,428	582,572	+
3	р. Сів. Донець - м. Чугуїв	30	30	2,722	2,174	-	1,354	2,007	+	522	317,428	582,572	+
4	р. Сів. Донець - м. Зміїв	30	30	3,037	2,174	-	1,908	2,007	+	557	317,428	582,572	+
5	р. Сів. Донець - с. Протопопівка	30	30	4,173	2,174	-	1,705	2,007	+	541	317,428	582,572	+
6	р. Сів. Донець - м. Ізюм	30	30	3,231	2,174	-	0,989	2,007	+	513	317,428	582,572	+
7	р. Сів. Донець - с. Яремівка	30	30	2,391	2,174	-	0,047	2,007	+	464	317,428	582,572	+
8	р. Сів. Донець - с. Стародубівка	30	30	2,983	2,174	-	1,432	2,007	+	526	317,428	582,572	+

Продовження таблиці 1.3.

№ п/п	Річка - пост	n ₁	n ₂	Критерій Фішера			Критерій Стьюдента			Критерій Вількоксона			
				F	F _a	однор. +; неоднор. -	t	t _a	однор. +; неоднор. -	U	U ₁	U ₂	однор. +; неоднор. -
9	р. Сів. Донець - м. Лисичанськ	30	30	4,199	2,174	-	2,015	2,007	-	560	317,428	582,572	+
10	р. Вовча – м. Вовчанськ	30	30	7,026	2,174	-	6,262	2,007	-	793	317,428	582,572	-
11	р. Уди – смт Пересічне	30	30	7,895	2,174	-	4,531	2,007	-	696	317,428	582,572	-
12	р. Уди – смт Безлюдівка	30	30	3,096	2,174	-	1,633	2,007	+	546	317,428	582,572	+
13	р. Лопань – смт Козача Лопань	30	30	2,134	2,174	+	1,245	2,007	+	540	317,428	582,572	+
14	р. Харків - с. Циркуни	30	30	4,625	2,174	-	2,209	2,007	-	572	317,428	582,572	+
15	р. Оскіл - м. Куп'янськ	30	30	1,84	2,174	+	1,833	2,007	+	572	317,428	582,572	+
16	р. Оскіл – Оскільська ГЕС	30	30	2,478	2,174	-	2,373	2,007	-	603	317,428	582,572	-
17	р. Казенний Торець - смт Райське	30	30	1,921	2,174	+	0,56	2,007	+	533	317,428	582,572	+

Продовження таблиці 1.3.

№ п/п	Річка - пост	n ₁	n ₂	Критерій Фішера			Критерій Стьюдента			Критерій Вількоксона			
				F	F _a	однор. +; неоднор. -	t	t _a	однор. +; неоднор. -	U	U ₁	U ₂	однор. +; неоднор. -
18	р. Кривий Торець - смт Олекс.-Дружк.	30	30	3,477	2,174	-	0,472	2,007	+	413	317,428	582,572	+
19	р. Сухий Торець - смт Черкаське	30	30	2,916	2,174	-	1,246	2,007	+	486	317,428	582,572	+
20	р. Бахмут - м. Бахмут	30	30	1,841	2,174	+	0,115	2,007	+	417	317,428	582,572	+
21	р. Бахмут - м. Сіверськ	30	30	1,18	2,174	+	0,755	2,007	+	496	317,428	582,572	+
22	р. Жеребець - с. Торське	30	30	2,702	2,174	-	0,628	2,007	+	441	317,428	582,572	+
23	р. Красна - с. Червонопоп.	30	30	2,828	2,174	-	0,944	2,007	+	466	317,428	582,572	+
24	р. Айдар - смт Білолуцьк	30	30	2,464	2,174	-	0,148	2,007	+	406	317,428	582,572	+
25	р. Айдар - с. Новоселівка	30	30	1,283	2,174	+	1,063	2,007	+	514	317,428	582,572	+
26	р. Євсуг - смт Петрівка	30	30	1,209	2,174	+	0,258	2,007	+	462	317,428	582,572	+
27	р. Деркул - смт Біловодськ	30	30	1,507	2,174	+	0,015	2,007	+	415	317,428	582,572	+

Таблиця 1.4. Результати перевірки на однорідність рядів річних сум атмосферних опадів води за досліджуваний період (1961-2020 рр.)

№ п/п	Метеостанція	n ₁	n ₂	Критерій Фішера			Критерій Стьюдента			Критерій Вількоксона			
				F	F _a	однор. +; неоднор. -	t	t _a	однор. +; неоднор. -	U	U ₁	U ₂	однор. +; неоднор. -
1	Золочів	30	30	1,245	2,174	+	0,262	2,007	+	477	317,428	582,572	+
2	Богодухів	30	30	1,72	2,174	+	0,27	2,007	+	429	317,428	582,572	+
3	Великий Бурлук	30	30	1,156	2,174	+	2,686	2,007	-	637	317,428	582,572	-
4	Коломак	30	30	1,851	2,174	+	0,333	2,007	+	459	317,428	582,572	+
5	Харків	30	30	1,181	2,174	+	0,087	2,007	+	440	317,428	582,572	+
6	Куп'янськ	30	30	1,416	2,174	+	0,319	2,007	+	453	317,428	582,572	+
7	Слобожанське	30	30	1,023	2,174	+	1,735	2,007	+	570	317,428	582,572	+
8	Красноград	30	30	1,348	2,174	+	0,71	2,007	+	399	317,428	582,572	+
9	Ізюм	30	30	1,042	2,174	+	0,078	2,007	+	446	317,428	582,572	+
10	Лозова	30	30	1,114	2,174	+	1,041	2,007	+	509	317,428	582,572	+
11	Сватове	30	30	1,419	2,174	+	0,052	2,007	+	457	317,428	582,572	+
12	Біловодськ	30	30	1,216	2,174	+	1,529	2,007	+	551	317,428	582,572	+
13	Бахмут	30	30	1,155	2,174	+	1,146	2,007	+	536	317,428	582,572	+
14	Покровськ	30	30	1,188	2,174	+	0,717	2,007	+	469	317,428	582,572	+

Таблиця 1.5. Результати перевірки на однорідність рядів середньої річної температури повітря за досліджуваний період (1961-2020 рр.)

№ п/п	Метеостанція	n ₁	n ₂	Критерій Фішера			Критерій Стьюдента			Критерій Вількоксона			
				F	F _a	однор. +; неоднор. -	t	t _a	однор. +; неоднор. -	U	U ₁	U ₂	однор. +; неоднор. -
1	Золочів	30	30	1,323	2,174	+	4,635	2,007	-	720	317,428	582,572	-
2	Богодухів	30	30	1,045	2,174	+	4,51	2,007	-	710	317,428	582,572	-
3	Великий Бурлук	30	30	1,176	2,174	+	4,078	2,007	-	692	317,428	582,572	-
4	Коломак	30	30	1,265	2,174	+	4,691	2,007	-	724	317,428	582,572	-
5	Харків	30	30	1,191	2,174	+	4,64	2,007	-	716	317,428	582,572	-
6	Куп'янськ	30	30	1,106	2,174	+	4,26	2,007	-	702	317,428	582,572	-
7	Слобожанське	30	30	1,208	2,174	+	4,503	2,007	-	711	317,428	582,572	-
8	Красноград	30	30	1,19	2,174	+	4,694	2,007	-	722	317,428	582,572	-
9	Ізюм	30	30	1,141	2,174	+	4,085	2,007	-	690	317,428	582,572	-
10	Лозова	30	30	1,136	2,174	+	3,932	2,007	-	685	317,428	582,572	-
11	Сватове	30	30	1,137	2,174	+	3,818	2,007	-	672	317,428	582,572	-
12	Біловодськ	30	30	1,221	2,174	+	2,62	2,007	-	614	317,428	582,572	-
13	Бахмут	30	30	1,083	2,174	+	3,306	2,007	-	657	317,428	582,572	-
14	Покровськ	30	30	1,006	2,174	+	3,824	2,007	-	687	317,428	582,572	-

У результаті перевірки гіпотези про однорідність послідовностей річних витрат води для більшості досліджуваних річок за критеріями Стъедента (78% вибірок є однорідними) та Вількоксона (85% вибірок є однорідними) не спростовуються. Проте, виявлено неоднорідність рядів за критерієм Фішера – однорідними є лише 30%. Хоча, якщо взяти рівень значимості $2\alpha=1\%$ (який є прийнятним в гідрологічних розрахунках), то відсоток однорідних рядів за рівністю норм підвищується до 48%.

Перевірка досліджуваних рядів річних сум опадів показала, що за критерієм Фішера 100% даних спостережень є однорідними, а за критеріями Стъюдента і Вількоксона однорідними є 93%. Порушення однорідності виявлено для метеостанції Великий Бурлук (Приколотне), що може бути пов'язано з перенесенням станції на 12 км на південь в 1991 році.

Підтверджується однорідність річних сум атмосферних опадів, аналітичні значення статистик не перевищують розрахункові.

Перевірка рядів середньорічних значень температури повітря показала неоднорідність часового ходу досліджуваних рядів спостережень за критеріями Стъюдента та Вількоксона. Перевірка вибірок при рівні значимості $2\alpha=5\%$ виявила, що гіпотеза про однорідність послідовності за відношенням дисперсій не спростовуються.

Виявлення порушення статистичної однорідності дає змогу оцінити тенденції зміни клімату. Статистично однорідний ряд завжди є кліматологічно однорідним, а отже кліматичні показники, що отримані у результаті обробки ряду правомірно порівнювати з аналогічними характеристиками на сусідніх станціях [63].

Відповідно до рекомендацій ВМО з гідрологічної практики важливо порівнювати результати, отримані шляхом статистичної перевірки гіпотез про однорідність вихідних даних, з результатами отриманими за допомогою графічних методів аналізу [117]. Саме тому для перевірки вихідної інформації на однорідність також було застосовано гідролого-генетичний метод - побудовано сумарні криві

відхилень (Додаток А). Оцінка отриманих графіків річних сум опадів показала відсутність відхилень, а отже можемо зробити висновок про однорідність вихідних даних. Середньорічні витрати води та середня річна температура повітря в басейні Сіверського Дінця характеризуються зміною направленості тренду.

Висновки до розділу 1

1. Проаналізовано наукову літературу за тематикою дисертаційного дослідження, визначено основні методичні підходи, що застосовуються для оцінки впливу кліматичних змін на водні ресурси в Україні і світі. За допомогою теоретичних методів синтезу та узагальнення інформації визначено, що репрезентативні висновки можна отримати шляхом порівняльного аналізу результатів, які отримані найбільш вживаними методами, такими як: гідролого-генетичний метод, методи математичної статистики, теорії ймовірності та водно – балансний метод. Тому саме комплексний підхід до оцінки впливу кліматичних змін на стік річок української частини басейну Сіверського Дінця застосовано нами для проведення дослідження.
2. Згідно рекомендацій ВМО та основних принципів статистичної обробки вихідної інформації, сформовано базу даних гідрометеорологічних характеристик для подальшого проведення дисертаційного дослідження. З метою виявлення впливу сучасних кліматичних змін на гідрометеорологічні характеристики в басейні Сіверського Дінця обрано два тридцятирічні періоди: кліматична норма – 1961 – 1990 рр. та сучасний період – 1991 – 2020 рр.;
3. Вихідні дані гідрометеорологічних спостережень для подальшої статистичної обробки перевірено на однорідність за допомогою гідролого-генетичного та статистичного методів. Встановлено, що 78% (за критерієм Стьюдента) та 85% (за критерієм Вількоксона) вибірок середньорічних витрат води є однорідними, проте, за критерієм Фішера – однорідними є

лише 30% рядів. За допомогою перевірки досліджуваних рядів річних сум опадів та середньорічних значень температури повітря встановлена їх однорідність за критерієм Фішера. За критеріями Стьюдента і Вількоксона однорідними є 93% вибірок річних сум опадів, а гіпотеза про однорідність вибірок середньорічних значень температури повітря спростовується. Оцінка отриманих результатів, з використанням гідролого-генетичного методу, показала відсутність відхилень тренду річних сум опадів, а отже можемо зробити висновок про однорідність вихідних даних. Виявлено, що ряди середньорічних витрат води та середньої річної температури повітря в межах української частини басейну Сіверського Дінця характеризуються зміною направленості тренду.

РОЗДІЛ 2

ОЦІНКА УМОВ ФОРМУВАННЯ СТОКУ В МЕЖАХ УКРАЇНСЬКОЇ ЧАСТИНИ БАСЕЙНУ РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ

Сіверський Донець – найбільша річка східної України та найбільша притока Дону. Загальна довжина річка 1053 км, площа басейну становить 98900 км², середній похил до гирла 18 см на 1 км [20].

Витік річки Сіверський Донець розташований на південному схилі Середньоруської височини біля с. Подольхи в Прохорівському районі Белгородської області (Російська Федерація); гирло річки знаходиться в межах Ростовської області (Російська Федерація) поблизу смт Усть-Донецьке [72]. На території України річка протікає в Харківській, Луганській та Донецькій областях (рис.2.1).

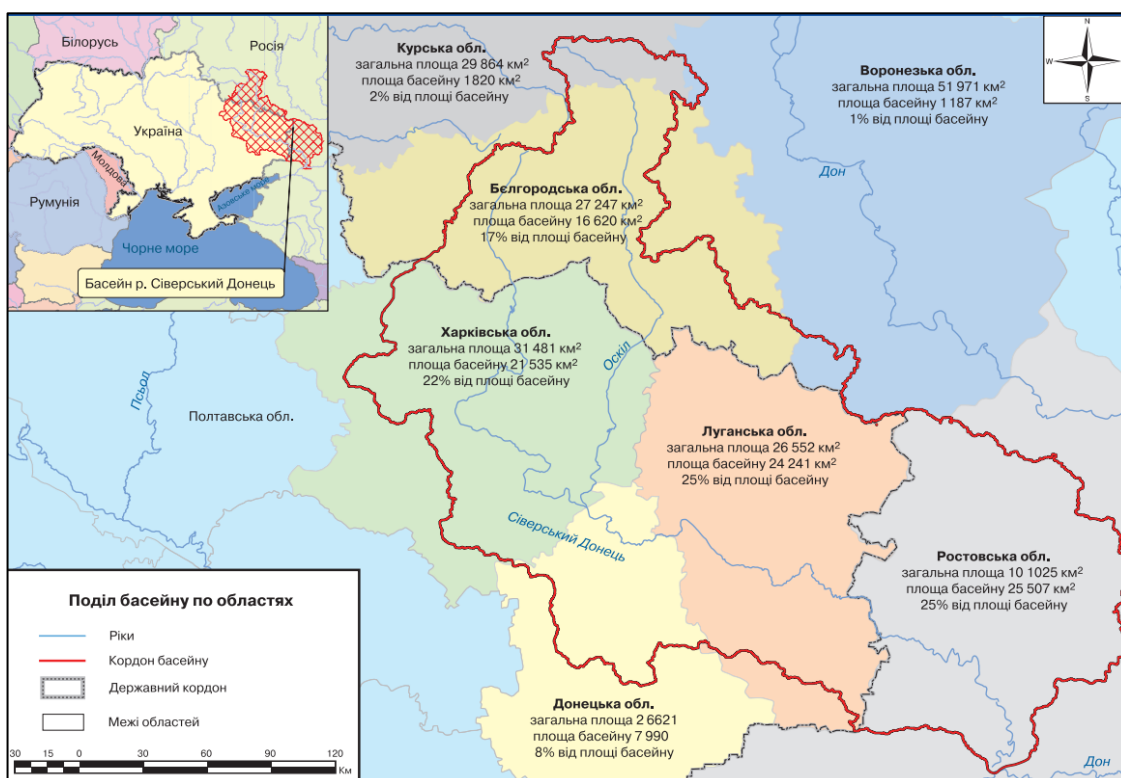


Рисунок 2.1. Територіально-адміністративний поділ басейну р. Сіверський Донець [65]

Басейн Сіверського Дінця є транскордонним, на своєму шляху він двічі перетинає державний кордон України з Росією (на межі Харківської та Белгородської областей та Луганської і Ростовської областей). По лінії державного кордону розташовані окремі ділянки річок Сіверський Донець та Деркул.

Українська частина басейну становить 55% (54500 км²) від загальної площі водозбору Сіверського Дінця і є головною за своїм впливом на його стік.

2.1. Кліматична характеристика

Клімат території басейну напівсухий континентальний. Одним з головних факторів формування річкового стоку є атмосферні опади. Рівномірність випадіння опадів обумовлює їх просочування у ґрунт, важливим також є характер і частота випадіння опадів, геолого-геоморфологічна будова території та особливості ґрунтового покриву.

Значна частина території басейну Сіверського Дінця відноситься до області недостатньої зволоженості. Річна кількість атмосферних опадів зменшується з північного заходу на південний схід, що зумовлено циркуляційними процесами в атмосфері.

Середньорічна кількість опадів становить 500 - 600 мм. Атмосферні опади в межах басейну розподілені нерівномірно. Найбільша кількість опадів характерна для північної та південної частин басейну. Найбільші значення зафіксовано на метеостанціях розташованих на півночі (Середньоруська височина) та півдні (Донецька височина) басейну. Найменша кількість опадів характерна для центральної частини басейну. Відповідно до багаторічних даних метеорологічних станцій, обраних для проведення дослідження, найбільша кількість опадів випадає в районі метеостанції Коломак (594 мм), а найменша – в районі метеостанції Біловодськ (504 мм).

Багаторічна динаміка величин атмосферних опадів характеризується тенденцією до несуттєвого зменшення їх величини в останні десятиріччя (рис.2.2 - а).

Внутрішньорічний розподіл опадів в басейні Сіверського Дінця нерівномірний. Найбільша кількість атмосферних опадів характерна для літніх місяців – червня (62 мм) та липня (61 мм). Найменша кількість атмосферних опадів спостерігається в жовтні (39 мм), лютому (38 мм) та березні (37 мм) місяці (рис.2.2 – б).

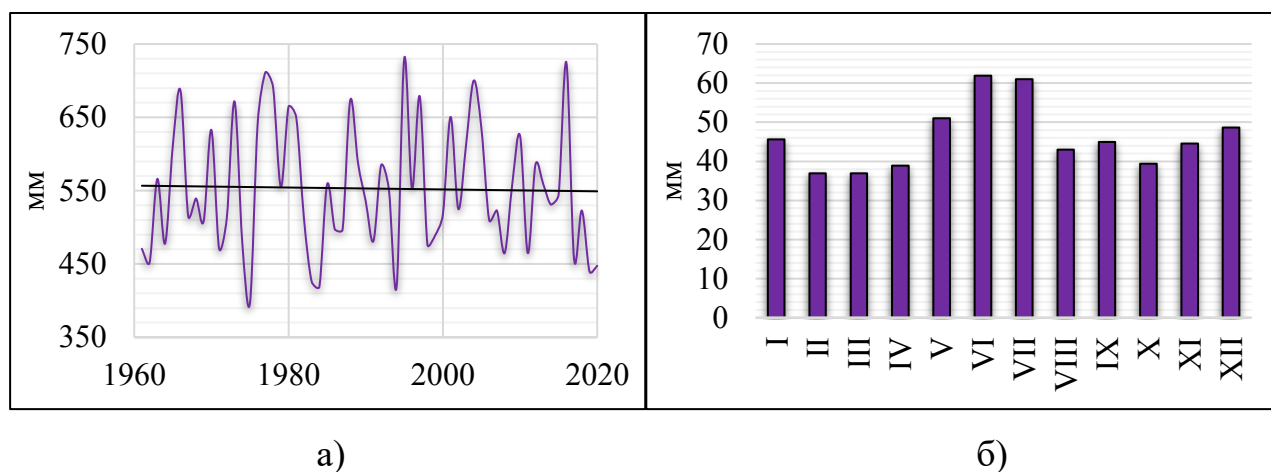


Рисунок 2.2. Осереднені за даними обраних метеостанцій розподіл опадів у басейні р. Сіверський Донець: а) – за багаторічний період; б) - внутрішньорічний

Температура повітря, як одна з головних кліматичних характеристик, в свою чергу, впливає на формування річкового стоку. Зміна температур обумовлює інтенсивність випаровування, снігонакопичення та появу льодових явищ.

Основними характеристиками температурного режиму є середньорічна та середньомісячна температура повітря, яка залежить від радіаційних умов, сезонних коливань циркуляції атмосфери та фізико-географічних умов території.

Середньорічна температура повітря в межах басейну становить $+7...+8^{\circ}\text{C}$. Абсолютний максимум температури повітря влітку становить $+38...+40^{\circ}\text{C}$, а абсолютний мінімум взимку – мінус $34...40^{\circ}\text{C}$.

Найнижча за обраний період середньомісячна температура повітря зафіксована на метеостанції Богодухів в січні 1963 р., її значення становило $-15,8^{\circ}\text{C}$. Найвища середньомісячна температура зафіксована на метеостанції Харків в серпні 2010 року – $26,1^{\circ}\text{C}$.

Багаторічний хід температури повітря має яскраво виражений тренд до зростання її величини (рис.2.3 – а).

Найхолоднішими в межах басейну є січень (середня температура повітря – мінус 5,7°C) та лютий (-4,8°C) місяці, а найтеплішими – липень (середня температура повітря +21,1°C) та серпень (+20,1°C). Зростання температури починається, здебільшого, в останній декаді лютого - першій декаді березня, зворотній перехід восени починається в останній декаді листопада (рис.2.3 – б).

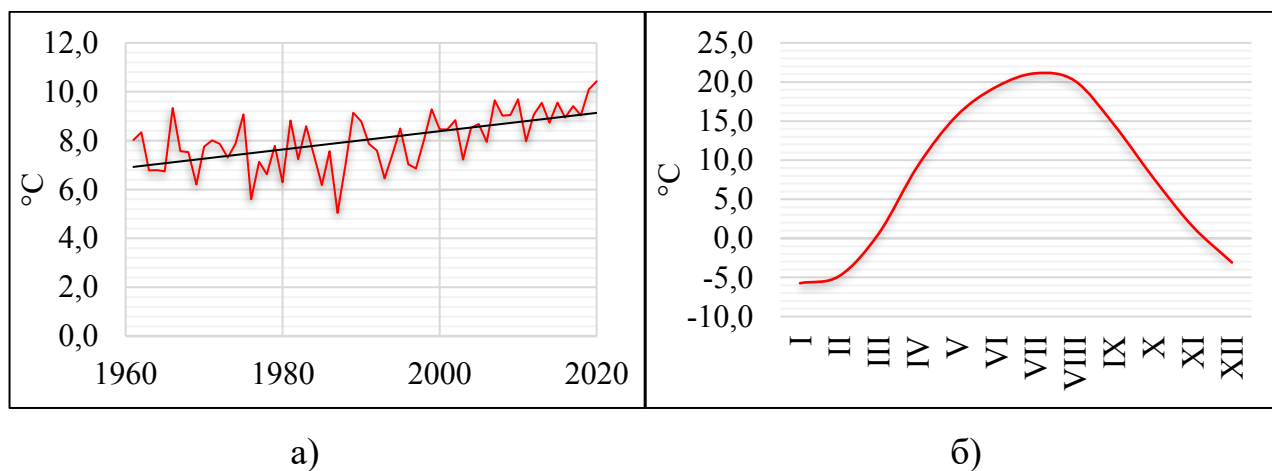


Рисунок 2.3. Осереднені за даними обраних метеостанцій розподіл температури повітря у басейні р. Сіверський Донець: а) – за багаторічний період; б) - внутрішньорічний

Для вітрового режиму характерною є часта зміна напрямку в часі. За даними обраних для дослідження метеостанцій в межах басейну переважаючими є східні та південно-східні вітри.

Висота снігового покриву безпосередньо залежить від кількості опадів, температури повітря, величини випаровування та перенесення снігу вітром. Снігонакопичення в межах басейну відбувається нерівномірно - у північно-західній частині басейну (Харківська область) висота снігового покриву в середньому становить до 20 см, а в центральній та східній частині басейну (Донецька та Луганська області) вона є меншою – до 10 см.

Середнє число днів з відлигою в зимовий період (грудень - лютий) в басейні коливається в межах 35 – 45, з максимумом в степовій фізико-географічній зоні.

Підвищення температури повітря та збільшення повторюваності рідких опадів, що зумовлюють часті відлиги, в свою чергу, сприяють зростанню сумарного випаровування в басейні. Річне значення сумарного випаровування становить 375 – 400 мм [46]. Найменші значення сумарного випаровування спостерігаються в зимові місяці, навесні відбувається стрімке збільшення величини випаровування, що є наслідком збільшення радіаційного балансу. Найвищі значення випаровування характерні для літніх місяців, в межах басейну – 180 – 200 мм [46].

Найбільші шари випаровування з водної поверхні також спостерігаються в літні місяці та досягають 22% в липні від сумарного сезонного значення (відкрита водна поверхня: травень – листопад) [30].

В сучасний період прослідковується яскраво виражена тенденція до підвищення температури повітря. Найбільш помітним є підвищення температури весняних та зимових місяців, що в свою чергу спричиняє зменшення частки твердих опадів та зменшення величини снігозапасів. Така ситуація призводить до скорочення періоду льодоставу на річках басейну Сіверського Дінця та зменшення стоку весняного водопілля.

2.2. Гідрографічна характеристика

У географічному відношенні басейн Сіверського Дінця можна поділити на лівобережну частину, де найбільші його притоки беруть початок на південно-західних і південних схилах Середньоруської височини: Вовча, Хотомля, Великий Бурлук, Гнилиця, Балаклійка, Оскіл, Нітриус, Жеребець, Красна, Борова, Айдар, Євсуг, Деркул; та правобережну частину, де річки стікають із західних, південних і східних схилів Донецького кряжу: Велика Бабка, Уди, Мжа, Берека, Казенний Торець, Бахмут, Кам'янка, Біленька, Лугань, Велика Кам'янка (рис.2.4) [20].

Для басейну Сіверського Дінця характерною є лівостороння асиметрія – лівобережжя становить 68% від загальної площі водозбору, а правобережжя – 32%.

В межах України гідрографічну сітку басейну р. Сіверський Донець складають 259 річок довжиною більше 10 км, загальна довжина яких становить 7610 км [19].

Річок довжиною понад 50 км в межах української частини басейну нараховується 11 (наведена довжина загальна/в межах України): Уди (164/127 км), Лопань (96/55 км), Берека (82/82 км), Оскіл (478/178 км), Казенний Торець (134/134 км), Красна (151/151 км), Айдар (256/213 км), Лугань (198/198 км), Деркул (165/165 км), Повна (79/3,5 км), Кундрюча (244/25,8 км). Довжина наведена в межах України. Налічується в межах української частини басейну також 247 малих річок (довжиною понад 10 км). Густота річкової мережі в межах Харківської області – 0,15 км/км², Донецької області – 0,21 км/км², Луганської області – 0,12 км/км² [64].

Найбільшими лівими притоками Сіверського Дінця є рр. Оскіл (довжина - 472 км, площа басейну - 14800 км²), Айдар (довжина - 264 км, площа басейну - 7420 км²) та Деркул (довжина - 163 км, площа басейну - 5180 км²). Найбільшими правими притоками Сіверського Дінця є рр. Казенний Торець (довжина - 134 км, площа басейну - 5410 км²) та Лугань (довжина - 198 км, площа басейну - 3740 км²). Сіверський Донець та його найбільші притоки регулюються 4 головними

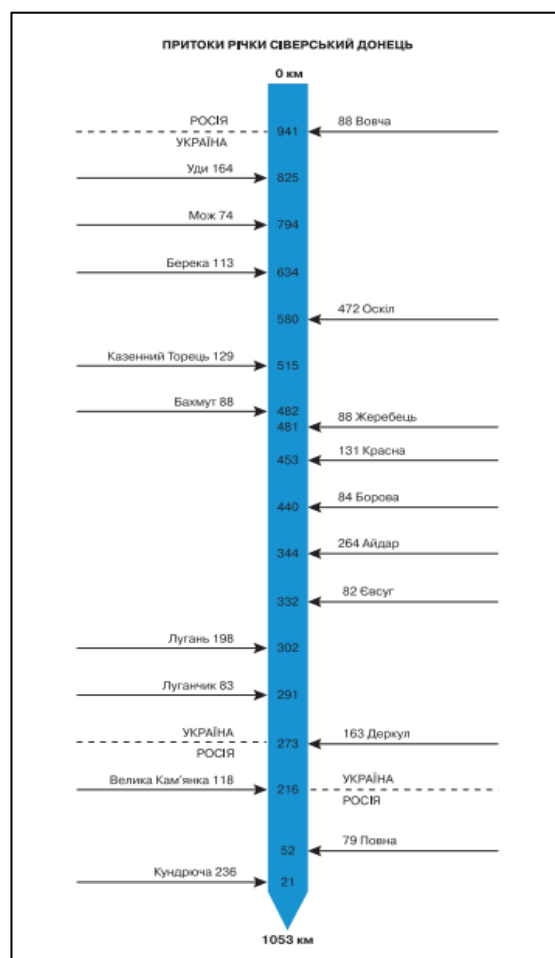


Рисунок 2.4. Схематична діаграма річкової системи р. Сіверський Донець [65]

водосховищами у верхній частині басейну, а також багатьма малими водосховищами на притоках.

З метою міжбасейнового перекидання стоку в басейні Сіверського Дінця функціонує система каналів, основними з яких є канал Дніпро-Сіверський Донець (263 км) та канал Сіверський Донець-Донбас (132 км).

В басейні р. Сіверський Донець (Харківська, Донецька та Луганська області) налічується 679 озер (сумарна площа водного дзеркала – 5620 га). Всі вони річкового походження. Річкові озера утворилися в ерозійних зниженнях, розташованих в заплавах, у тому числі і староріччях. Живлення цих озер здійснюється у весняну повінь та за рахунок зливових паводків [37].

2.3. Геолого-геоморфологічна будова

Підстильна поверхня є важливим кліматоутворюючим фактором, що безпосередньо впливає на формування глобального, регіонального та мікроклімату та стокоутворюючим фактором, що перерозподіляє талі снігові та дощові води в межах басейну.

Геологічна історія басейну Сіверського Дінця пов'язана із тривалим зануренням кристалічного фундаменту Східноєвропейської платформи, нагромадженням і подальшою метаморфізацією морських теригенних і карбонатних відкладів. Найбільшого занурення зазнала осьова частина Дніпровсько-Донецької западини (на південь від Харкова та на правобережжі Сіверського Дінця) і, особливо, територія Донецького кряжа. Областями зносу при цьому були із заходу – Український кристалічний масив, де в геологічному минулому здіймалися гори, зі сходу – височина на території теперішнього Воронезького кристалічного масиву. Морська історія завершилася в міоценовий період, коли в морі, що міліло, накопичувалися дрібні кварцові піски [65].

Ерозійна діяльність річок бере свій початок в пліоцені, що пов'язано з поступовим підйомом території та встановленням континентальних умов. В четвертинний період відбулося врізання річкових долин та формування річкових

терас, що в свою чергу пов'язано з коливанням рівня моря (зниження до 100 м). Вітрова ерозія, в свою чергу, призвела до формування горбистого рельєфу.

Басейн Сіверського Дінця простягається уздовж Східноєвропейської платформи, фундамент якої в межах басейну ускладнений Донецьким та Причорноморським прогинами. В геоструктурному відношенні розташований в межах Дніпровсько-Донецькою западини, Донецької складчастої області (Донецький кряж) та Воронежського кристалічного масиву.

Потужність осадового покривного шару збільшується з середньої – 1 км на Євразійській платформі в північно-східній частині басейну Сіверського Дінця – до 5 - 10 км у південно-західній частині. Границя між цими двома геологічними утвореннями приблизно відповідає головній річковій долині Сіверського Дінця [65].

Утворені в умовах морського басейну піски, глини, пісковики, алевроліти, мергелі, крейда (мезозойські та кайнозойські породи) перекривають фундамент у північно-східній частині басейну. Продукти континентальної стадії розвитку - пліоценові, плейстоценові, голоценові алювіальні піски та леси і лесовидні суглинки плейстоцену, перекривають більшість території басейну.

Наразі геологічні процеси в басейні зазнають негативного впливу водної ерозії (повсюдно), зсувоутворення (круті річкові схили), підтоплення.

Вплив рельєфу на клімат визначається висотою місцевості над рівнем моря, формами рельєфу, крутизною та орієнтацією схилів. На рисунку 2.4 представлений рельєф басейну Сіверського Дінця.

Основні форми рельєфу в межах басейну Сіверського Дінця сформовані завдяки флювіальним процесам. Найвищі точки в басейні розташовані в межах Середньоруської височини на півночі (208 м) та Донецького кряжу на півдні (367 м).

Плато, яке формує більшу частину басейну Сіверського Дінця, лежить на висотах 175 – 250 м, має дуже незначний ухил з півночі на південь (північного заходу на південний схід) або північного сходу на південний захід від 230–250 м до 175–200 м [65].

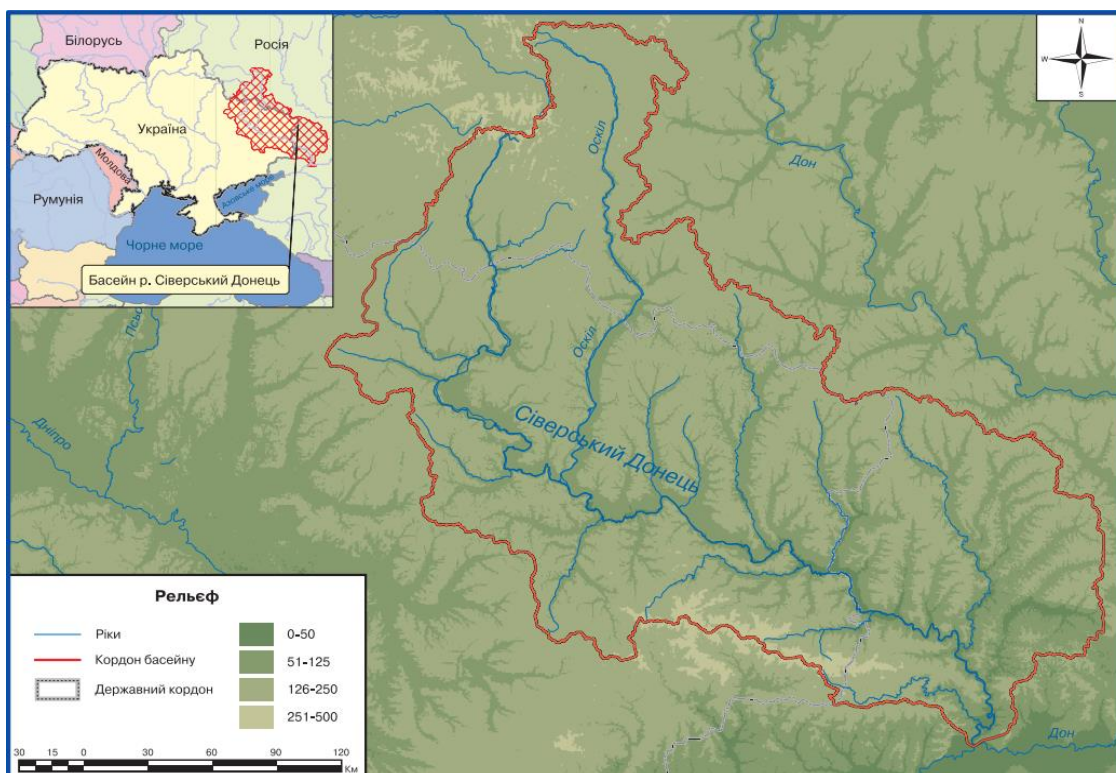


Рисунок 2.5. Рельєф басейну річки Сіверський Донець [65]

Умовно долину річки Сіверського Дінця можна розділити на три частини:

1. до м. Харків – річка протікає з півночі на південь вузькою долиною (наразі долина частково затоплена Белгородським та Печенізьким водосховищами);
2. нижче Харкова річка повертає на південний схід в старі долини воднольодовикового походження, вниз за течією дно долини поступово розширюється, зростає ширина заплави;
3. в центральній частині (від м. Слов'янськ до кордону з Росією) річкова долина звужується, оминаючи край Донецького кряжу.

В межах заплави Сіверського Дінця поширені болота, стариць та заболочених територій.

2.4. Підземні води басейну

Підземні води басейну Сіверського Дінця широко використовуються для забезпечення потреб водопостачання регіону. Водоносні горизонти розвинуті на всій території басейну, а за своїми характеристиками (глибина, потужність, гідравлічні властивості) змінюються уздовж басейну від Євразійської платформи на північному сході до Чорноморської западини на південному заході.

За активністю водообміну в басейні Сіверського Дінця виділяються наступні зони:

- зона активного водообміну;
- підзона інтенсивного водообміну (розташована у верхній частині зони активного водообміну);
- зона уповільненого водообміну;

В межах Донецького кряжу зона активного водообміну розташована на глибинах до 200 – 250 м. За своєю мінералізацією води цієї зони прісні та слабосолоні. Нижче розташована зона уповільненого водообміну, мінералізація цієї зони є значно вищою і на глибинах 1000 - 1500 м відповідає концентрації розсолів. За хімічним складом води зони уповільненого водообміну хлоридно-натрієві.

Внаслідок антропогенного впливу в межах Донбасу, де розташовані шахтні поля, поглиблено зону активного водообміну та відповідно скорочено зону уповільненого водообміну.

Зона активної циркуляції прісних вод у межах Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну розташована на глибинах до 700 - 800 м. Зона уповільненого водообміну простягається нижче до глибин 800 – 1000 м на сході та до 1200 – 1500 м на північному заході території.

Глибина підзони інтенсивного водообміну залежить від глибини врізання долин річок та балок, через цю зону проходить найбільша частина динамічних водних ресурсів (підземних вод). Ця підзона характеризується гідрокарбонатно-

кальцієвим хімічним складом підземних вод, а за своєю мінералізацією води помірно прісні, прісні з підвищеною мінералізацією, слобосолоні.

В межах басейну Сіверського Дінця виділяється п'ять найголовніших водоносних горизонтів та комплексів:

1. Водоносні горизонти пліоцен-четвертинних алювіальних пісків на глибинах 10 - 40 м. Підземні води переважно прісні, гідрокарбонатні та сульфатні кальцієві. Підземні води даного водоносного горизонту не мають природного захисту з поверхні й зазнають нітратного забруднення. Мають широке використання населенням для господарсько-питних потреб у сільській місцевості.
2. Водоносний комплекс бучацько-канівських пісків на глибині 10 - 196 м. Розвинутий повсюдно за винятком території вуглевидобутку в межах Донбасу у вигляді суцільного поля. Підземні води зазвичай прісні й солонуваті з перевагою сульфат- і кальцій- іонів. У зв'язку з невисокими фільтраційними властивостями бучацьких пісків підземні води цього горизонту використовуються в незначних об'ємах для господарсько-питних і технічних цілей.
3. Водоносний горизонт зони тріщинуватості мергельно-крейдяної товщі на глибині до 80 м. Підземні води зони розвинені на лівобережжі у вигляді суцільного поля на північний схід від долини Сіверського Дінця і на правобережжі в районі м. Луганськ. Відносно високі дебіти свердловин дозволяють забезпечити водою середніх і великих споживачів. Мінералізація підземних вод до 2 г/дм³.
4. Водоносний комплекс альб-сеноманських пісків на глибині до 700 м. Розвинений у північній частині басейну, де є найціннішим джерелом питного водопостачання, оскільки містить, переважно, реліктові високої якості прісні води, що мають найбільшу природну захищеність. Вода має сульфатно-гідрокарбонатний кальцієвий або натрієвий склад.
5. Водоносний комплекс кам'яновугільних тріщинуватих пісковиків та вапняків на глибині до 1000 м. Розвинений повсюдно, але тільки в південній

частині басейну містить води невисокої мінералізації й тому має практичне значення. У наш час водовідливами із шахт водообмін активізований до глибин 900 - 1 200 м. Змішані води мають мінералізацію до 5-10 г/дм³. Дебіти свердловин коливаються в широких межах, але в більшості випадків дозволяють забезпечити малі й середні підприємства технічною водою [65].

Територія басейну Сіверського Дінця характеризується інтенсивним освоєнням підземних водних ресурсів та суттєвим впливом на них шахтного водовідливу. На фоні недостатньої забезпеченості регіону водними ресурсами підземні води виступають одним з головних джерел для задоволення потреб водогосподарської галузі. Проблемою виступає забруднення підземних вод басейну, що пов'язано зі значним рівнем промислової діяльності в регіоні.

2.5. Ґрунтово-рослинний покрив

Басейн річки Сіверський Донець розташований в лісостеповій (частково) та степовій фізико-географічних зонах.

Південна межа лісостепової зони проходить північніше міст Красноград – Балаклея – вздовж річки Оскіл до державного кордону. Південніше від цієї лінії простягається степова зона [46].

В свою чергу лісостепова та степова зони в межах басейну Сіверського Дінця розділені на підзони:

- підзона лісостепова зволожена (обмежена кордоном з Росією на півночі і р.Мож на півдні, р.Лопань на сході);
- підзона лісостепова помірно зволожена (простягається від р.Оскіл на сході до р. Лопань на заході та від кордону з Росією на півночі до середини Оскільського водосховища та р. Мож на півдні);
- підзона степова недостатньо зволожена (на півночі і північному сході вона обмежується кордоном з Росією та р. Красна, на півдні – р. Сіверський Донець та її притокою р. Казенний Торець);

- підзона степова північно-центральна помірно засушлива (з півночі та сходу вона обмежена кордоном з Росією, з півдня – географічною широтою м. Донецька) [65].

Ґрунтовий покрив лісостепової зони (підзона лісостепова зволожена) складають сірі лісові, темно-сірі опідзолені ґрунти та чорноземи опідзолені.

Сірі лісові опідзолені ґрунти характеризуються автоморфним режимом зволоження та глибоким заляганням ґрунтових вод. Переважна частина темно-сірих опідзолених ґрунтів та опідзолених чорноземів розорана.

Поширеними для підзони лісостепової помірно зволоженої є чорноземи типові, в яких домінує автоморфний режим. Максимальна глибина проникнення атмосферних опадів сягає 2,5 - 3 м, інколи 4 м [65].

Для недостатньо зволоженої та північно-центральної помірно засушливої степових підзон поширеними є чорноземи звичайні, що характеризуються меншою інтенсивністю гумусонакопичення через меншу зволоженість території.

Борові тераси представлені дерново-піщаними та зв'язно-піщаними ґрунтами. Рослинний покрив борових терас представлений зрідженою трав'яною рослинністю та хвойною дерев'янистою рослинністю.

Ґрунти басейну Сіверського Дінця зазнають негативного впливу водної та вітрової ерозії.

Вздовж лівого берега до кордону з Росією тягнеться широка смуга лісів, що має штучне походження (ближче до русла – дуб, далі – сосна). Природною рослинністю на плато є трави (на сьогоднішній день більша частина території використовується для потреб сільського господарства), а на терасах та сусідніх схилах - ліс. Тераси складені алювіальними пісками та мулом. Заплави річок представлені заболоченими ділянками та старицями, де накопичуються мул, глина і торф та поширені алювіальні лучні, лучно-болотні і болотні ґрунти. Природна рослинність заплави річок складається з ділянок очерету та вологих луків.

Рослинний покрив території басейну Сіверського Дінця зазнав значних змін, що пов'язано з високим рівнем антропогенного навантаження в басейні річки. Природні фітоценози збереглися на землях природно-заповідного фонду.

2.6. Характеристика водогосподарського комплексу басейну

Басейн Сіверського Дінця є головним джерелом водозабезпечення східного регіону України. Загальне водоспоживання в басейні (станом на 2020 рік) в межах Харківської, Донецької та Луганської областей становило 1448 млн. м³, у тому числі водозбір з поверхневих джерел – 1329 млн.м³ (92%), з підземних джерел – 118,5 млн.м³ (8%), з яких обсяг шахтно-кар'єрних вод складає 40,61 млн.м³ (34%) [66].

Найбільша кількість водосховищ зосереджена у посушливих центральних та південно-східних індустріальних областях України (лісостепова та степова зони) [111]. Найбільшими водосховищами в басейні Сіверського Дінця є Печенізьке, об'ємом 383 млн.м³ та Оскільське, об'ємом 435,5 млн.м³ (водосховища комплексного призначення).

В Донецькій області розташовано 130 водосховищ, з повним об'ємом 863,6 млн.м³. З цієї кількості в басейні Сіверського Дінця 35%. На р. Лугань (права притока р. Сіверський Донець) розташовано Вуглегірське водосховище, повний об'єм якого становить 162 млн.м³ [21].

На території Луганської області функціонує 73 водосховища з повним об'ємом 254 млн.м³. За цільовою структурою використовуються як комплексні та для зрошення. Найбільше в області – Ісаківське водосховище, об'ємом 20,4 млн.м³, побудоване на р. Біла (права притока р. Лугань). Більшість ставків області знаходяться в незадовільному стані – замулені, зарослі водно-трав'яною рослинністю. Земляні греблі та водоскидні споруди потребують капітальних ремонтних робіт.

В Харківській області знаходиться 57 водосховищ, з повним об'ємом 1497,3 млн.м³, серед яких виділяється Оскільське водосховище (435,5 млн.м³), Краснопавлівське (410,0 млн.м³), Печенізьке (383 млн.м³). Оскільське водосховище є найбільшим в області, довжина водосховища 84 км, максимальна ширина – 4 км, пересічна глибина 3,8 м, максимальна 19 м. Водосховище використовується

комплексно [19]. Основні характеристики водосховищ в межах басейну Сіверського Дінця представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Морфометричні та кількісні характеристики водосховищ та ставків в басейні Сіверського Дінця [21]

Область	Водосховища				Ставки		
	Кількість	Площа, га	Об'єм, млн.м ³		Кількість	Площа, га	Об'єм повний, млн.м ³
			повний	корисний			
Донецька	46	6405	334,6	183,3	671	3830	87,3
Луганська	61	6717	221,6	164,4	300	2505	61,9
Харківська	42	30580	1440,9	1308,8	1708	7848	146,7

За сумарною величиною об'єму ставків одну з провідних позицій в Україні займає Донецька область – 6,5 % - 258,1 млн. м³ (табл.2.2) [110].

В Донецькій області на р. Казенний Торець розташовано 10 водосховищ, об'ємом 25,5 млн.м³ та 264 ставки, загальним об'ємом 33,4 млн.м³.

Таблиця 2.2. Основні водосховища в басейні Сіверського Дінця в межах Донецької області [21]

Назва водосховища	Річка (басейн)	Площа, га	Об'єм, млн.м ³	
			повний	корисний
Клебан-Бикське	р.Клебан-Бик (р.Кривий Торець)	650	27,8	26,2
Миронівське	р.Лугань (р.Сіверський Донець)	476	20,5	12,8
Вуглегірське	р.Лугань (р.Сіверський Донець)	1510	162,0	28,0
Слов'янське I	р.Сіверський Донець	462	18,8	18,8

На притоках річки Сіверський Донець, що розташовані в Луганській області в середньому розташовано від 2 до 13 водосховищ, об'ємом від 4,8 до 45,9 млн.м³. Вони займають площу 125-1501 га (табл. 2.3).

Найменше ставок від загальної кількості в країні знаходиться в межах Луганської області – 0,7 % - 362 ставки [110]. На річках області налічується від 8 до 45 ставок, об'ємом 1,8-9,7 млн.м³, площею 63-336 га.

Таблиця 2.3. Основні водосховища в басейні Сіверського Дінця в межах Луганської області [21]

Назва водосховища	Річка (басейн)	Площа, га	Об'єм, млн.м ³	
			повний	корисний
Ісаківське	р.Біла (р.Лугань)	293	20,4	15,0
Камянське	р.Велика Камянка (р.Сіверський Донець)	243	17,5	9,8
Сватівське	р.Хоріне (р.Красна)	419	12,6	7,0
Став-охолоджувач №3, СО «Луганська ТЕС»	Заплава р.Айдар (р.Сіверський Донець)	350	16,0	16,0

На притоках річки Сіверський Донець, що розташовані в Харківській області в середньому розташовано від 2 до 9 водосховищ, об'ємом від 5,3 до 451,6 млн.м³ (табл. 2.4). Вони займають площу 230-12650 га. Ставок від 71 до 261, об'ємом 4,9-36,6 млн.м³, площею 290-1740 га.

Таблиця 2.4. Основні водосховища в басейні Сіверського Дінця в межах Харківської області [21]

Назва водосховища	Річка (басейн)	Площа, га	Об'єм, млн.м ³	
			повний	корисний
В'ялівське	р. В'ялий (р. Харків)	170	10	9,7
Великобурлуцьке	р. Великий Бурлук (р. Сіверський Донець)	410	14,2	13,4
Краснопавлівське	р. Попільна (р. Бритаї)	3400	410,0	380,0
Муромське	р. Муром (р. Харків)	408	14,0	12,2
Печенізьке	р. Сіверський Донець	8620	383,0	341,0
Рогозянське	р. Уда (р.Сіверський Донець)	602	15,0	14,0
Став-охолоджувач Зміївської ДРЕС	р. Сіверський Донець	1250	53,1	23,1
Трав'янське	р. Харків (р. Лопань)	592	22,2	20,2
Оскільське	р. Оскіл (р. Сіверський Донець)	12200	435,1	435,0

З метою водозабезпечення водогосподарської галузі в басейні Сіверського Дінця здійснюються міжбасейнові перекидання стоку системою магістральних водоводів та каналів. Основними каналами в басейні є канал Дніпро-Сіверський Донець, довжиною 263 км та канал Сіверський Донець-Донбас, довжиною 132 км.

Згідно схеми водогосподарського районування України у суббасейні Сіверського Дінця (що є частиною району річкового басейну Дону) в межах України виділено 19 водогосподарських ділянок [58, 62]:

- 1) р. Сіверський Донець від державного кордону до греблі Печенізького водосховища;
- 2) р. Сіверський Донець від греблі Печенізького водосховища до г/п Зміїв (виключаючи р.Уди);
- 3) р. Уди;
- 4) р. Сіверський Донець від г/п Зміїв до гирла р.Берека;
- 5) р. Берека;
- 6) р. Сіверський Донець від гирла р. Берека до кордону Харківської та Донецької областей (виключаючи р. Оскіл);
- 7) р. Оскіл від державного кордону до г/п Куп`янськ;
- 8) р. Оскіл від г/п Куп`янськ до гирла;
- 9) р. Сіверський Донець від кордону Харківської та Донецької областей до кордону Донецької та Луганської областей (виключаючи рр. Казенний Торець, Бахмутка);
- 10) р. Казенний Торець;
- 11) р. Бахмутка;
- 12) р. Сіверський Донець від кордону Донецької та Луганської областей до г/п Лисичанськ (виключаючи рр. Красна, Борова);
- 13) р. Красна;
- 14) р. Борова;
- 15) р. Сіверський Донець від г/п Лисичанськ до державного кордону (виключаючи рр. Айдар, Лугань, Деркул);
- 16) р. Айдар;

- 17) р. Лугань;
- 18) р. Деркул;
- 19) р. Велика Кам`янка (в межах України).

Особливістю басейну Сіверського Дінця є нерівномірність розподілу стоку – найбільші акумулятори стоку (водосховища) розташовані в межах Харківської області, в той час як основний забір відбувається в межах Донецької та Луганської областей (РУЕК КП «Компанія «Вода Донбасу», «Слов'янська ТЕС» ПАТ «Донбасенерго», питний водозабір КП «Попаснянський Районний Водоканал»).

Найбільша кількість промислових об'єктів та найбільша щільність населення зосереджені в басейнах правих приток Сіверського Дінця (рр. Уди, Казенний Торець, Кривий Торець, Бахмут, Лугань).

Найбільший відсоток використання водних ресурсів з басейну Сіверського Дінця припадає на Донецьку область – 47 %, потім Луганську – 27 % і найменший відсоток на Харківську область – 26 % [19]. Найбільший відсоток забору води припадає на річку Сіверський Донець, а також на деякі його притоки першого порядку (р. Уди, р. Казенний Торець, р. Лугань).

Комунальні підприємства – основні водокористувачі поверхневих водних ресурсів басейну Сіверського Дінця. Основними підприємствами є КП «Харківводоканал», Регіональне управління по експлуатації каналу КП «Компанія «Вода Донбасу», Західна фільтрувальна станція ТОВ «Луганськвода».

Найбільш водоемними галузями промисловості є електроенергетика, чорна металургія, хімічні та нафтохімічні виробництва, що розташовані в басейні Сіверського Дінця і є одними з основних водоспоживачів регіону.

В українській частині басейну розташовано 98 підприємств, що здійснюють скид забруднених зворотних вод в поверхневі водні об'єкти об'ємом понад 100 тис.м³ на рік, з них 68 підприємств галузі промисловості (в тому числі 52 підприємства вугільної промисловості), 28 підприємств житлово-комунального господарства та 2 підприємства інших галузей. В межах Харківської області найбільше навантаження на р. Сіверський Донець здійснюють праві притоки: р. Уди, що обумовлено скидами з очисних споруд м. Харкова та інших населених

пунктів Харківської області [37]. Об'єм скиду очисних споруд м. Харків (КБО «Безлюдівський» та «Диканівський») перевищують природний стік р.Уди та р. Лопань в декілька разів.

На фоні дефіциту водних ресурсів, територія басейну Сіверського Дінця відзначається високою щільністю населення, що в свою чергу обумовлює високий рівень регулювання стоку та використання водних ресурсів. Наразі, ситуація значно ускладнюється через бойові дії в регіоні (російська збройна агресія проти України з 2014 року) [110].

Висновки до розділу 2

1. Для території басейну Сіверського Дінця характерним є напівсухий континентальний клімат. Кліматичні зміни визначаються, насамперед, коливаннями основних кліматичних характеристик – опадів та температури повітря, що мають істотний вплив на хід багаторічних коливань річкового стоку. Опади в басейні розподілені нерівномірно. Найбільші їх значення характерні для територій в межах Середньоруської та Донецької височин. Пікові значення характерні для літніх - червень, липень (максимум) та зимових - грудень, січень (мінімум) місяців. Середньорічна температура повітря має яскраво виражений тренд до підвищення в останні десятиріччя, що, в свою чергу, призводить до збільшення величини випаровування, зменшення величини снігозапасів та зменшення стоку періоду весняного водопілля.
2. Басейн Сіверського Дінця є дуже складним об'єктом через своєрідні фізико-географічні умови. Відповідно до умов формування стоку в басейні можна виділити дві частини – лівобережну (річки, що стікають з Середньоруської височини) та правобережну (річки, що стікають з Донецького кряжу).
3. Для басейну Сіверського Дінця характерними є складні геологічні умови. Басейн розташований в межах Дніпровсько-Донецької западини, Донецької складчастої області (Донецький кряж) та Воронезького кристалічного

масиву. Геологічні процеси в басейні зазнають негативного впливу водної ерозії, зсувоутворення та підтоплення.

4. Водонесні горизонти розвинуті в межах усієї території басейну. На фоні недостатньої забезпеченості водними ресурсами підземні води широко використовуються для потреб водопостачання регіону. Розвинутий промислово-енергетичний комплекс регіону зумовлює значне забруднення підземних вод басейну Сіверського Дінця.
5. Басейн Сіверського Дінця розташований в межах лісостепової та степової фізико-географічної зон. Ґрунтово-рослинний покрив в межах басейну зазнав значного антропогенного впливу. Велика частина території розорена або використовується шахтно-кар'єрним комплексом, а природна рослинність збережена на землях природно-заповідного фонду.
6. Сіверський Донець та його притоки є головним джерелом водозабезпечення східної частини України. Особливістю басейну Сіверського Дінця є високий рівень водогосподарського використання. Річкових стік істотно зарегульовано системою водосховищ, ставків та каналів, що акумулюють та перерозподіляють водні ресурси для забезпечення потреб населення та промисловості. Раціональне управління водними ресурсами басейну, наразі, значно ускладнюється через бойові дії в регіоні.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА БАГАТОРІЧНИХ КОЛИВАНЬ СТОКУ В МЕЖАХ БАСЕЙНУ

Водозабезпечення східної частини України відбувається за рахунок декількох річкових систем, серед яких головною є басейн Сіверського Дінця, який характеризується складними умовами формування стоку (див. розділ 2). Враховуючи транскордонний характер басейну, значне антропогенне навантаження на його водні ресурси, що посилюється наслідками сучасних кліматичних змін, постає завдання оцінки закономірностей змін водності річок басейну, що відбуваються.

3.1. Основні риси гідрологічного режиму Сіверського Дінця та його приток

Річний хід стокових характеристик визначається зональними та азональними факторами. До основних зональних чинників відносяться кліматичні характеристики, що змінюються по території басейну, підпорядковуючись закону широтної зональності. На сезонний розподіл стоку впливають також і азональні чинники, до яких відносяться рельєф водозбору, його геоморфологічна будова, ґрунтовий та рослинний покрив, гідрогеологічні умови, господарська діяльність (див. розділ 2). За аналізом внутрішньорічного розподілу стоку в басейні р. Сіверський Донець виділено два гідрологічні райони, а саме Бузько-Донецький (праві притоки) та Самарсько-Приазовський райони, підрайон Донецько-Приазовський (ліві притоки) [30].

Для переважної частини басейну Сіверського Дінця, за виключенням правих приток, внутрішньорічний режим стоку річок характеризується весняним водопіллям в березні-травні (протягом якого проходить 30 - 50% об'єму річного стоку) та літньо-осінньою меженню (в середньому, 30 – 40% від об'єму річного стоку). Річки, розташовані у верхній течії Сіверського Дінця та його ліві притоки в середній течії характеризуються відносно стійким зимовим режимом, з

короткостроковими відлигами, що не мають суттєвого впливу на поверхневий стік річок басейну. На період зимової межени припадає 20 - 30% від об'єму річного стоку.

Річки, що беруть початок з Донецького кряжу (праві притоки) характеризуються більш ранніми строками проходження весняного водопілля (протягом якого проходить 40 - 50% об'єму річного стоку) і відповідно збільшенням тривалості літньо-осінньої межени (травень-листопад). Для річок правобережжя Сіверського Дінця характерним є нестійкий зимовий режим з довготривалими відлигами, що зумовлює формування зимових паводків різної інтенсивності.

Східна частина України розташована в зоні розвинутої зливної діяльності, спостерігається одноразове короткочасне випадіння зливових опадів (більше 100 мм), що формують зливі паводки на річках та тимчасових водотоках. Злизова діяльність активно проявляється в межах Донецького кряжу. Максимальні витрати дощових паводків перевищують витрати талих вод на річках басейну Сіверського Дінця при площах водозборів до 350 – 400 км² і лише в межах Донецького кряжу біля 500 – 600 км² [36].

Літньо-осіння межень на річках басейну, переважно, починається в першій декаді травня і триває в межах 170 – 200 днів до першої - другої декади листопада. Початок зимової межени відноситься до другої декади листопада, тривалість якої зростає з півночі на південь та з заходу на схід і триває, в середньому, 60 – 130 діб.

Під дією сучасних кліматичних змін внутрішньорічний розподіл стоку на сучасному етапі (1991 – 2020 рр.) зазнав суттєвих змін, дане питання детально висвітлено у розділі 4 дисертаційного дослідження.

Річки басейну Сіверського Дінця мають змішаний тип живлення. Співвідношення частки снігового та дощового живлення змінюється в залежності від кліматичних умов окремих років та особливостей фізико-географічних умов тієї чи іншої частини басейну.

Сіверський Донець відзначається доволі значним стоком наносів, що зумовлено розчленованістю рельєфу, великою розораністю території та її малою

лісистістю. Середній багаторічний стік завислих наносів на гідрологічному посту р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ становить 0,52 млн.т., а каламутність води – 170 г/м³ [20].

Річний хід рівнів води в басейні Сіверського Дінця характеризується двома максимумами – в період весняного водопілля та паводків теплого періоду року, та двома мінімумами – в період осінньої та зимової межени. Амплітуда коливань рівнів води в басейні безпосередньо визначається його розміром, гідрографічними особливостями та впливом господарської діяльності. Мінливість кліматичних характеристик в басейні сприяє значним коливанням рівня на Сіверському Дінці, незважаючи на наявність широкої заплави, амплітуди коливань рівня води сягають 9 м [20].

Стік води в басейні р. Сіверський Донець має доволі значну мінливість - коефіцієнт варіації досліджуваних рядів середніх річних витрат води коливається в межах 0,3 – 0,6.

Аналіз характерних витрат води річок басейну за досліджуваний період (1961-2020 рр.) показав, що найбільша середня річна витрата води зафіксована на гідрологічному посту р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ (199 м³/с), а мінімальна середня річна витрата води – на гідрологічному посту р. Лопань – смт Козача Лопань (0,20 м³/с) – таблиця 3.1.

Таблиця 3.1. Характерні витрати води річок басейну Сіверського Дінця за досліджуваний період (1961 – 2020 рр.)

№ п/п	Річка – гідрологічний пост	Площа водозбору, км ²	Q _{сер.} , м ³ /с	Q _{макс.} , м ³ /с	Q _{мін.} , м ³ /с
1	р. Сіверський Донець - с. Огірцеве	5540	15,5	35,7	7,50
2	р. Сіверський Донець – смт Печеніги	8400	23,6	42,2	9,46
3	р. Сіверський Донець - м. Чугуїв	10300	18,4	44,4	4,90
4	р. Сіверський Донець - м. Зміїв	16600	42,0	81,0	18,8

Продовження таблиці 3.1.

5	р. Сіверський Донець – с. Протопопівка	19400	42,1	73,0	16,2
6	р. Сіверський Донець - м. Ізюм	22600	51,4	87,4	18,4
7	р. Сіверський Донець – с. Яремівка	38300	96,6	162	41,5
8	р. Сіверський Донець – с. Стародубівка	44400	78,3	194	20,2
9	р. Сіверський Донець - м. Лисичанськ	52400	85,1	199	22,5
10	р. Вовча – м. Вовчанськ	1330	3,20	7,70	1,40
11	р. Уди – смт Пересічне	905	2,51	6,62	0,99
12	р. Уди – смт Безлюдівка	3300	16,1	37,6	4,70
13	р. Лопань – смт Козача Лопань	189	0,60	1,30	0,20
14	р. Харків - с. Циркуни	890	2,30	7,60	0,80
15	р. Оскіл - м. Куп'янськ	12700	34,4	61,6	16,2
16	р. Оскіл – Оскільська ГЕС	14700	35,6	72,7	16,1
17	р. Казенний Торець - смт Райське	936	1,80	3,80	0,70
18	р. Кривий Торець - смт Олексієво-Дружківка	1530	5,50	9,30	2,00
19	р. Сухий Торець - смт Черкаське	1310	1,60	4,20	0,40
20	р. Бахмут - м. Бахмут	433	1,60	2,96	0,73
21	р. Бахмут - м. Сіверськ	1560	3,40	6,60	1,30
22	р. Жеребець - с. Торське	857	1,70	4,00	0,70
23	р. Красна - с. Червонопопівка	2540	4,80	12,70	1,60
24	р. Айдар - смт Білолуцьк	2250	5,60	16,9	1,80
25	р. Айдар - с. Новоселівка	6370	12,8	38,0	2,90
26	р. Євсуг - смт Петрівка	784	1,28	3,53	0,34
27	р. Деркул - смт Біловодськ	1380	2,55	6,28	0,79

Річний хід температури води річок басейну Сіверського Дінця в основному співпадає з річним ходом температур повітря. Проте зміни температури води в зв'язку з її теплоємністю відбуваються досить плавно, відсутні різкі підвищення чи пониження, які характерні для температури повітря [71]. Одним з основних факторів, що впливають на термічний режим є господарська діяльність в межах басейну, а саме скид промислових та побутових стічних вод. Саме це, переважно, обумовлює зміни термічного режиму річок Донецько-Приазовського району.

В останні десятиріччя гідрологічний режим басейну Сіверського Дінця зазнав суттєвих змін, що, безпосередньо пов'язано з впливом сучасних кліматичних змін та антропогенною діяльністю.

3.2. Середньорічний стік води

Уявлення про коливання водного стоку дають різницеві інтегральні криві - позитивна наростаюча сума відхилень означає середнє зростання значень характеристик річкового стоку води, негативна спадна сума характеризує середнє зменшення стоку води. Позитивна наростаюча разом з негативною спадною сумою утворюють повний цикл водності досліджуваної стокової характеристики.

Основні риси багаторічних змін більшості гідрологічних показників річок у значній, а іноді й у вирішальній мірі визначаються ймовірнісним характером мінливості стоку води. Це обумовлено багатofакторністю процесу формування річкового стоку внаслідок безперервного впливу на нього метеорологічних процесів і різноманітних станів підстильної поверхні, сполучення яких має випадковий характер. Тому й зміна будь-якої гідрологічної величини в певному створі річки у рамках ймовірнісної концепції - випадковий процес, що змінюється в часі. Саме це обумовлює можливість і ефективність застосування апарату математичної статистики, теорії ймовірностей, теорії випадкових величин і функцій для аналізу багаторічної мінливості стоку річок.

В ході дослідження для виявлення закономірностей багаторічної мінливості середньорічного стоку води річок басейну Сіверського Дінця, ідентифікації її циклічної складової, а саме тривалості і характеру чергування циклів та їх складових (маловодних і багатоводних фаз водності), застосовано графічний аналіз різницевої інтегральної кривої та стохастичний підхід до дослідження.

Метод різницевих інтегральних кривих відображає загальну мінливість коливань будь-якої характеристики стоку [27].

Різницеві інтегральні криві є поширеним способом для виявлення багаторічної мінливості характеристик річкового стоку води – тенденції до

групування років з відносно великими та малими їх значеннями, які розраховуються за формулою 3.1:

$$S_t = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(k_i-1)}{C_V}, \quad (3.1)$$

де k_i -модульний коефіцієнт значень характеристик річкового стоку води, який дорівнює відношенню $\frac{Q_i}{\bar{Q}}$, при цьому \bar{Q} – середнє арифметичне всього ряду $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$, C_V – коефіцієнт варіації членів досліджуваного ряду, S_t – ординати різницевої інтегральної кривої характеристик річкового стоку води [59, 60, 61].

За допомогою аналізу різницевих інтегральних кривих оцінено тенденції змін багаторічної динаміки середньорічного стоку води річок басейну Сіверського Дінця. Побудовано суміщені різницеві інтегральні криві коливань середньорічних витрат води для кожного досліджуваного гідрологічного поста в басейні [79].

Встановлено певні відмінності у багаторічних коливаннях середньорічного стоку лівих та правих приток Сіверського Дінця [78]. За належністю до тієї чи іншої частини басейну отримані різницеві криві поділено на три групи та побудовано осереднені криві для лівих, правих приток та, власне, для річки Сіверський Донець.

Середньорічні витрати води мають синхронні коливання за двома групами постів: перша, це пости, розташовані на лівих притоках; друга – пости, розміщені на самій річці Сіверський Донець. Проведений аналіз свідчить, що на зазначених річках спостерігається багатоводна фаза від початку обраного для досліджень періоду до переломної точки - 1964 р. З 1965 р. починається маловодна фаза. В той же час праві притоки Сіверського Дінця мають асинхронні коливання середніх річних витрат води відносно двох вище наведених груп. Для них маловодна фаза триває до 1962 року, а багатоводна – протягом 1963-2007 рр. Праві притоки характеризуються значно меншою мінливістю коливань середньорічних витрат води у порівнянні з лівими та, власне, самим Сіверським Дінцем (рис.3.1).

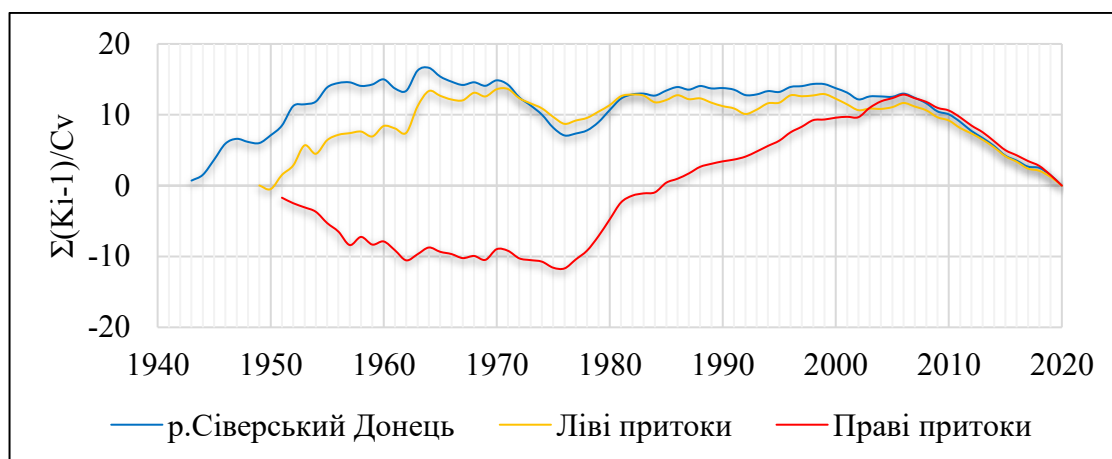


Рисунок 3.1. Суміщені різницеві інтегральні криві осереднених (за групами гідрологічних постів) середньорічних витрат води р. Сіверський Донець та її приток

Починаючи з 2008 року всі три групи мають однакову тенденцію до зменшення середньорічних витрат води.

Побудовані різницеві інтегральні криві витрат води для річок басейну Сіверського Дінця свідчать, що для річок лісостепової та степової зони басейну (ліві притоки) динаміка коливань середнього річного стоку води значно відрізняється від аналогічної динаміки стоку річок, що беруть початок на території Донецького кряжу (праві притоки).

Формування річного стоку води є багатофакторним процесом, що знаходиться під впливом фізико-географічних чинників. Значний вплив на річний стік води має господарська діяльність (будівництво водосховищ та ставків, зрошувальні та осушувальні меліорації, розорювання, скиди стічних вод та ін.). Басейн Сіверського Дінця є істотно зарегульованим, на гідрологічний режим річки значною мірою впливають Оскільське та Печенізьке водосховища. До змін гідрологічного режиму призводять скиди шахтних і стічних вод, забір води для промислових і водогосподарських потреб. Значне антропогенне навантаження може бути причиною відмінності у динаміці коливань середньорічних стокових характеристик [81].

Використання апарату математичної статистики та теорії ймовірностей, теорії випадкових величин і функцій для аналізу багаторічної мінливості стоку води річок у вигляді циклічних коливань обумовлена тим, що розглядається випадковий процес, яким виступає зміна в часі гідрологічних характеристик в окремому створі річки.

Найпоширенішим є трактування циклічності (циклічних коливань) як мінливості, чергування, періодичності величин часових рядів, що мають різну ступінь регулярності і проявляються в динамічних процесах у періоді коливань. А період коливань – це проміжок часу, через який система повертається у вихідний стан. Подібність та стабільність процесу повторів проходження певних станів дає можливість стверджувати про циклічність розвитку досліджуваних величин. Дослідження циклічності як процесу потребує вивчення структури циклу та його фаз [11].

Найбільш ефективним вивчення часової мінливості стоку та опис її структури є, якщо для дослідження використовуються дані спостережень гідрологічного поста, який замикає великий за площею річковий басейн (тоді азональні фактори не здійснюють помітного впливу на формування стоку) та тривалі часові ряди гідрологічних спостережень за стоком води.

В басейні Сіверського Дінця єдиним гідрологічним постом, що відповідає вищезазначеним умовам для виявлення у структурі часових рядів середньорічного стоку води циклічної складової є гідрологічний пост р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ (площа водозбору - 52400 км², початок спостережень – 1892 рік), проте ряд спостережень за стоком є досить переривчастим.

В ході дослідження нами проаналізовано дані спостережень за середньорічним стоком води на восьми гідрологічних постах, розташованих на річках з достатньо значною водозбірною площею та які знаходяться найближче до басейну Сіверського Дінця:

р. Десна - м. Чернігів, проміжних річкових басейнів – р. Сула - м. Лубни, р. Псел - с. Запсілля, р. Ворскла - м. Кобеляки, в межах досліджуваного басейну – р. Сіверський Донець - м. Лисичанськ, р. Бахмут - м. Сіверськ, р. Айдар - с. Новоселівка, а також пост р. Південний Буг - смт Олександрівка (рис.3.2).

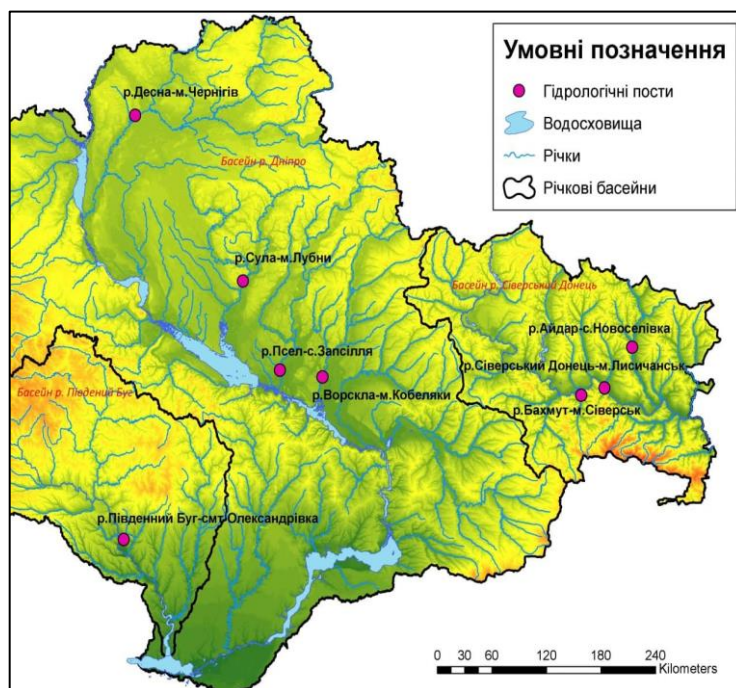


Рисунок 3.2. Карто-схема розташування досліджуваних річкових басейнів та гідрологічних постів

Виявлено, що найдовший ряд неперервних спостережень має гідрологічний пост р. Десна - м. Чернігів - тривалість спостережень 126 років, площа водозбору - 81400 км². (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Опис досліджуваних гідрологічних постів

Річка - пост	р. Десна - м. Чернігів	р. Сула - м. Лубни	р. Псел - с. Запсілля	р. Ворскла - м. Кобеляки	р. Південний. Буг - смт Олександрівка	р. Сіверський. Донець - м. Лисичанськ	р. Бахмут - м. Сіверськ	р. Айдар - с. Новоселівка
Площа водозбору, км ²	81400	14200	21800	13500	46200	52400	1560	6370
Період спостережень	1895-2020	1936-1940 1942-2020	1928-1940 1950-2020	1966-2020	1914-2020	1892-1908 1926-1929 1932-1941 1944-2014 2017-2020	1959-2020	1950-2020
Відновлені дані	-	-	1942-1949	-	-	2015, 2016	-	-

Для кращого розуміння просторово-часової узгодженості у багаторічній мінливості водності досліджуваних річок та отримання узагальненої характеристики такої мінливості виконано:

1. Нормування величин стоку води – розраховано модульні коефіцієнти та побудовано графік їх одночасних та суміжних у просторовому відношенні змін;
2. Проведено згладжування (лінійну фільтрацію) часових рядів річного стоку води з інтервалом осереднення 5 років (рис. 3.3);
3. Побудовано різницеві інтегральні криві коливань середньорічних витрат води досліджуваних річок (рис.3.4);
4. Розрахована просторова кореляційна матриця значень середнього річного стоку води досліджуваних річок за весь період спостережень (табл.3.3).

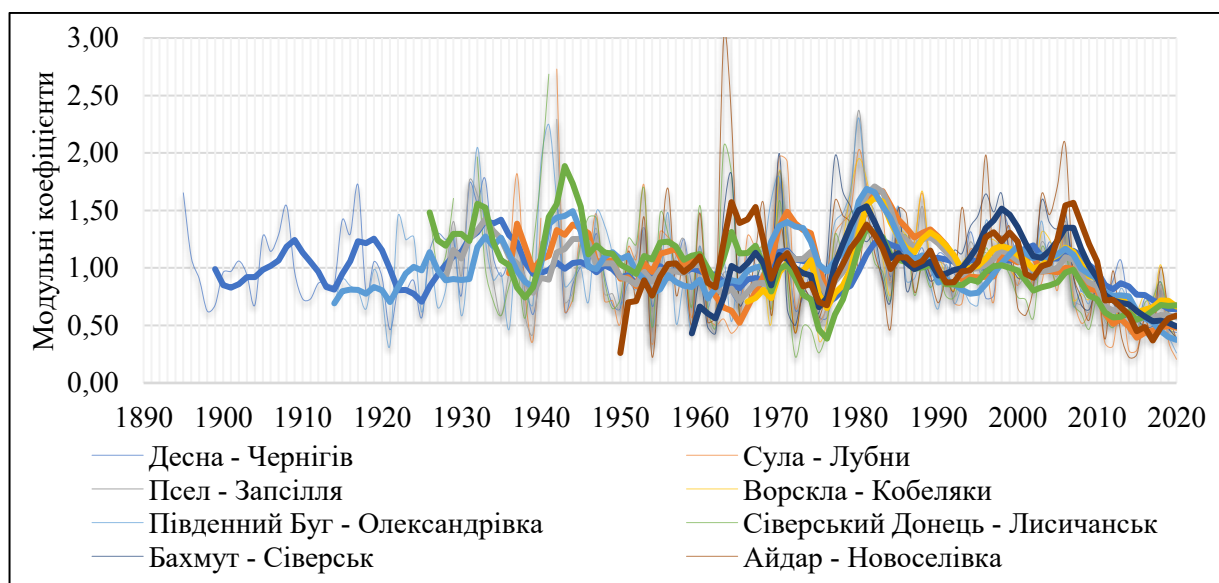


Рисунок 3.3. Згладжені шляхом лінійної фільтрації за 5-річними періодами ряди середньорічних модульних коефіцієнтів стоку для досліджуваних річок

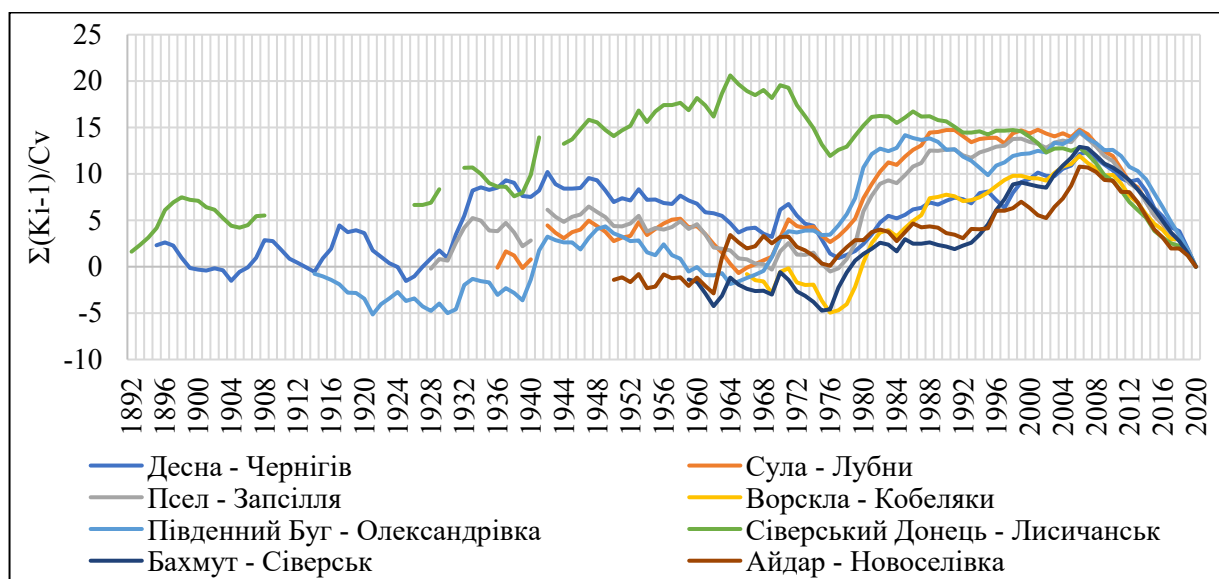


Рисунок 3.4. Суміщені різницеві інтегральні криві коливань середньорічних витрат води для досліджуваних річок

Таблиця 3.3. Просторова кореляційна матриця середнього річного стоку води досліджуваних річок

Річка - Гідрологічний пост	р. Десна - м. Чернігів	р. Сула - м. Лубни	р. Псел - с. Запсілля	р. Ворскла - м. Кобеляки	р. Півд.Буг - смт Олександрівка	р. Сів.Донець - м. Лисичанськ	р. Бахмут - м. Сіверськ	р. Айдар - с. Новоселівка
р. Десна - м. Чернігів	1	0,81	0,77	0,70	0,45	0,51	0,51	0,36
р. Сула - м. Лубни	0,81	1	0,91	0,80	0,68	0,56	0,50	0,37
р. Псел - с. Запсілля	0,77	0,91	1	0,94	0,70	0,69	0,65	0,50
р. Ворскла - м. Кобеляки	0,70	0,80	0,94	1	0,67	0,87	0,70	0,63
р. Південний Буг - смт Олександрівка	0,45	0,68	0,70	0,67	1	0,43	0,57	0,44
р. Сіверський Донець - м. Лисичанськ	0,51	0,56	0,69	0,87	0,43	1	0,74	0,79
р. Бахмут - м. Сіверськ	0,51	0,50	0,65	0,70	0,57	0,74	1	0,75
р. Айдар - с. Новоселівка	0,36	0,37	0,50	0,63	0,44	0,79	0,75	1

В межах досліджуваної території мінливість річного стоку води річок має певні загальні закономірності, що відмічаються у присутності узгодженості в коливаннях стоку, отже, вищенаведена оцінка даних дає підстави для проведення

подальших розрахунків зі з'ясування структури часових рядів середнього річного стоку води р. Десна - м. Чернігів, обравши цей гідрологічний пост як аналоговий.

Для формалізації багаторічної мінливості річного водного стоку у вигляді циклічних коливань (опису структури) застосовано автокореляційний та спектральний аналізи для аналогового гідрологічного поста р. Десна – м. Чернігів.

Автокореляційна функція $R(t, \tau)$ характеризує тісноту зв'язку між членами часової послідовності витрат води $Q(t)$ і являє собою послідовність коефіцієнтів лінійної кореляції, розрахованих із різними відстанями (зсувами) між перерізами по осі часу [11, 51]. Ординати кореляційної та автокореляційної функції $R_Q(\tau)$ випадкового процесу оцінюється за формулами 3.2 та 3.3:

$$k_Q(\tau) = \frac{1}{n-\tau-1} \cdot \sum_{i=1}^{n-\tau} (Q_i - \bar{Q}) \cdot (Q_{i+\tau} - \bar{Q}), \quad (3.2)$$

$$R_Q(\tau) = \frac{k_Q(\tau)}{D_Q}, \quad (3.3)$$

де n довжина реалізації, τ – зсув між перерізами, \bar{Q} та D_Q – оцінка математичного очікування та дисперсії досліджуваної реалізації.

Враховуючи специфіку рядів стоку води, в практиці гідрологічних розрахунків значенням зсуву τ дають наступне обмеження [11, 15]: $\tau_m = (1/3-4)n$.

Статистична значущість визначених ординат функції $R(t, \tau)$ встановлюється за довірчими межами ($DM_{R(\tau)}$) 95% ймовірності перевищення (формула 3.4):

$$DM_{R_Q(\tau), 95\%} = \frac{-1 \pm 1,64 \cdot (n-\tau-2)^{0,5}}{n-\tau-1}. \quad (3.4)$$

Враховуючи довжину реалізації середньорічних витрат води річки Десна (126 років), рамки значень часового зсуву прийнято від 2 до 40 років (рис. 3.5).

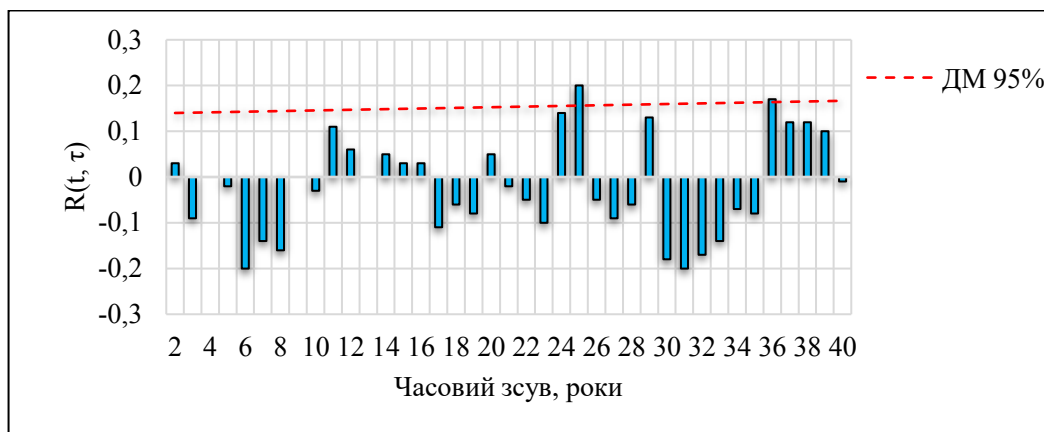


Рисунок 3.5. Автокореляційна функція середнього річного стоку води р. Десна – м. Чернігів

Аналізуючи автокорелограму, можна відмітити певні особливості в її структурі. Додатні ординати автокореляційної функції, що перевищують довірчі межі, визначають тривалість переважаючого циклу водності річок з 95% ймовірністю. Прослідковується багаторазова повторюваність у вигляді 25-річного та 36-річного циклів [11].

Для вивчення періодичних властивостей випадкових процесів використовується також і спектральна функція.

Метод спектрального аналізу стаціонарних випадкових функцій дозволяє розкласти дисперсію функції $x(t)$ на її компоненти за різними круговими частотами $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Таким чином описується вклад окремих коливань з різними періодами у спільну мінливість елементів даного процесу у вигляді графіка спектральної площини $S_x(\omega)$ дисперсії. Для отримання спектральної функції $S_x(\omega)$ використовується зв'язок між спектром частот випадкової і автокореляційної функції, яка описує даний процес. $S_x(\omega)$ виражається через $R_x(\tau)$ за допомогою косинус-перетворювача Фур'є [15, 103]. Якщо ми використовуємо нормовану за дисперсією автокореляційну функцію, то в результаті перетворення отримуємо нормовану функцію (формула 3.5):

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_x(\tau) \cos \omega \tau d\tau. \quad (3.5)$$

При цьому площа на спектрограмі, відокремлена кривою $S_x(\omega)$ і віссю абсцис, буде дорівнювати одиниці $\int_0^{\infty} S_x(\omega) d\omega = 1$.

Статистична значущість результатів спектрального аналізу оцінювалась шляхом порівняння отриманої величини спектра $S_x(\omega)$ з рівнями 95 і 99%-ї забезпеченості середнього рівня, прийнятими за довірчі межі $DM_{S(\omega)}$, вважаючи, що оцінки середнього рівня спектра повинні розподілятися відповідно χ -квадрат-розподілу, яке ділиться на число ступенів вільності, тобто χ^2/ν (формула 3.6):

$$\nu = 2n/\tau_m - 0,5, \quad (3.6)$$

де N – об'єм вибірки; τ_m – максимальний зсув кореляційної функції.

Значення співвідношень $\chi^2_{95\%}/\nu$ і $\chi^2_{99\%}/\nu$ можна отримати за таблицями Холда. Середній 50%-вий рівень $\chi^2_{50\%}(\omega)$ - це середня величина всіх спектральних оцінок в інтервалі автокореляційної функції ряду від 1 до m (формула 3.7):

$$95\%DM_{S(\omega)} = S_{x_{50\%}}(\omega) \frac{\chi^2_{95\%}}{\nu} \quad 99\%DM_{S(\omega)} = S_{x_{50\%}}(\omega) \frac{\chi^2_{99\%}}{\nu} \quad (3.7)$$

Розраховане при тій чи іншій частоті значення $S_x(\omega)$ вважається достовірним, якщо воно перевищує прийняті $DM_{S(\omega)}$, а це свідчить про існування виявленої в цьому інтервалі частоти циклічності [56].

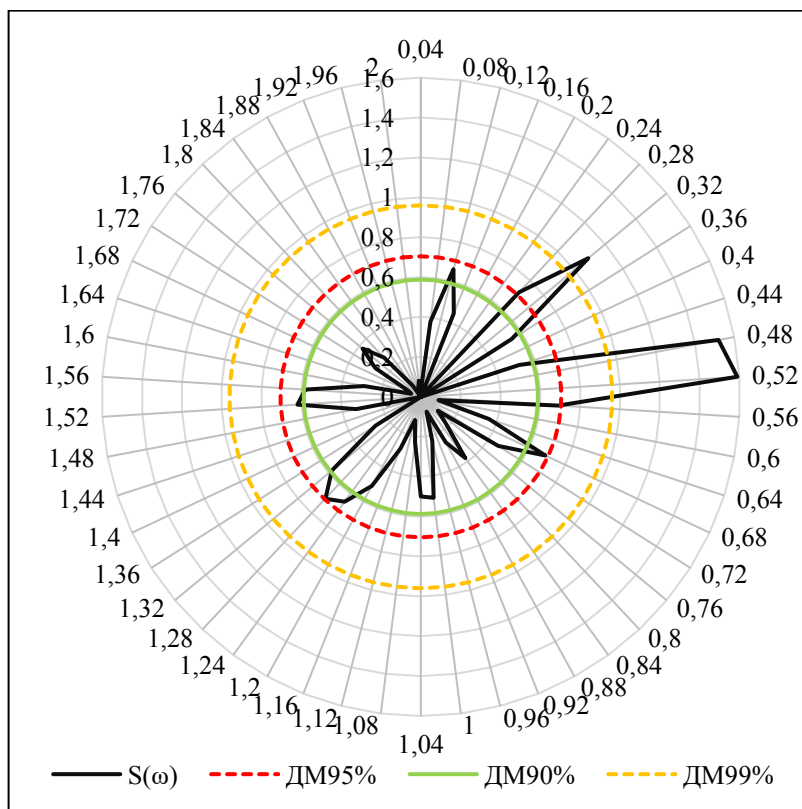


Рисунок 3.6. Функція спектральної щільності середнього річного стоку води р. Десна – м. Чернігів

Аналіз функції спектральної щільності (з частотою $\omega = 0,04$) середньорічного стоку води р. Десна – м. Чернігів (рис.3.6) свідчить, що з імовірністю 95% переважають спектральні щільності 0,46-0,56 та 0,26-0,34, що відповідає циклічності 11-14 та 19-24 років.

За допомогою критерію серій перевіряють статистичну достовірність існування фаз підвищеної та пониженої водності [11].

Серія – будь-яка ділянка послідовності n , що складається з елементів одного й того ж роду. До серії з елементів n_1 відносяться члени послідовності, значення яких перевищують вибіркове середнє a , а до серії з елементів n_2 - значення яких менше його. Значення утворюють серію підвищених значень, якщо: $x_{t-1} < a$; $x_t \geq a$; ...; $x_{t+k} \geq a$; $x_{t+k+1} < a$. Серії понижених значень виявляється аналогічно. Визначивши сумарне значення кількості серій u , що складаються з кількостей підвищених u_1 і понижених серій u_2 , обчислюється статистика критерію (формули 3.8 та 3.9):

$$t_u = \frac{u + 0,5 - m_u}{\sqrt{D_u}} \quad (3.8)$$

з параметрами:

$$m_u = \frac{2n_1 \cdot n_2}{n} + 1 \quad \text{і} \quad D_u = \frac{2n_1 \cdot n_2 (2n_1 \cdot n_2 - n)}{n^2(n-1)} \quad (3.9)$$

Критерій серій приймає основну гіпотезу, якщо $|tu| \leq t(\alpha/2)$, де $t(\alpha/2)$ – квантиль нормального розподілу, яка відповідає ймовірності перевищення $\alpha/2$. Зокрема, $t(\alpha/2) = 2,58$ при рівні значимості $\alpha = 1\%$, $t(\alpha/2) = 1,96$ при $\alpha = 5\%$ і $t(\alpha/2) = 1,64$ при $\alpha = 10\%$ [6, 11, 73].

В якості тестової статистики тривалості підвищених або понижених угруповань років використовується статистика найбільшої довжини серій K [130]. Для випадкових незалежних сукупностей аналітичне значення статистики тривалості підвищених або понижених угруповань років K_α виражається формулою 3.10:

$$K_\alpha = \frac{\lg\left[-\left(\frac{n}{\ln(1-\alpha)}\right)\right]}{\lg 2} - 1, \quad (3.10)$$

де α – ймовірність (у частках від 1), з якою у вибірці об'ємом в n членів можна зустріти серію з елементів підвищених або понижених угруповань довжиною K й більше.

Розрахована статистика критерію, яка отримана за наявними рядами спостережень за річним стоком води на р. Десна, потрапляє в довірчий інтервал при рівні значущості $\alpha = 1\%$, а з цього можна зробити висновок, що гіпотеза про ймовірнісну структуру гідрологічних рядів, що відповідає моделі випадкової величини, не спростовується та існує статистично достовірні тенденції до утворення угруповань (серій) підвищених і понижених значень з прив'язкою до конкретних років з виділенням фаз водності [11].

За допомогою статистики критерію найбільшої довжини серій визначено тривалість угруповань підвищених або понижених років водності. Встановлено, що

періоди маловодних років можуть скласти 9 ± 2 роки, а періоди багатоводних років - 10 ± 2 роки.

В ході дослідження визначено осереднені витрати води в багатоводну та маловодну фази, стандартне та ймовірне відхилення ($\delta = \pm 0,674 \sigma$) витрат води у фази водності, а також середню тривалість фаз та стандарт відхилення їх тривалості (табл. 3.4).

Таблиця 3.4. Середній стік води у фази водності, їх тривалість за даними спостережень р. Десна – м. Чернігів

Періоди та фази водності		Середня витрата води у фази водності	Тривалість фаз водності
		$Q_{сер}, \text{м}^3/\text{с}$	$T, \text{роки}$
1897-1904	маловодна	276	8
1905-1917	багатоводна	366	13
1918-1925	маловодна	254	8
1926-1933	багатоводна	435	8
1934-1940	маловодна	315	7
1941-1947	багатоводна	350	8
1948-1961	маловодна	299	13
1962-1970	багатоводна	326	9
1971-1977	маловодна	254	7
1978-1987	багатоводна	373	11
1988-1997	маловодна	324	9
1998-2007	багатоводна	379	10
2008-2020	маловодна	243	13
Середня багаторічна витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$	у багатоводну фазу	372	
	у маловодну фазу	281	
Стандартне відхилення витрат води, $\text{м}^3/\text{с}$	у багаторічну фазу, $\sigma_{б-Q}$	33	
	у маловодну фазу, $\sigma_{м-Q}$	30	
Ймовірне відхилення витрат води, $\text{м}^3/\text{с}$	у багаторічну фазу, $\delta_{б-Q}$	22	
	у маловодну фазу, $\delta_{м-Q}$	20	
Середня тривалість	багатоводної фази, $T_{б}$		10
	маловодної фази, $T_{м}$		9
Середнє квадратичне відхилення тривалості	багатоводної фази, $\sigma_{б-T}$		± 2
	маловодної фази, $\sigma_{м-T}$		± 2

Базуючись на всебічному аналізі минулого можна зробити прогностні оцінки на майбутнє (табл. 3.5 та рис.3.6).

Таблиця 3.5. Прогнозні оцінки водності до середини поточного століття за стохастичними закономірностями у мінливості середнього річного стоку води (р. Десна – м. Чернігів)

Періоди та фази водності		Середня витрата води у фазі водності	Тривалість фаз водності
		$Q_{сер}, \text{м}^3/\text{с}$	$T, \text{роки}$
2021±2 - 2030±2	багатоводна	372±22	10±2
2031±2 - 2039±2	маловодна	281±20	9±2
2040±2 - 2049±2	багатоводна	372±22	10±2

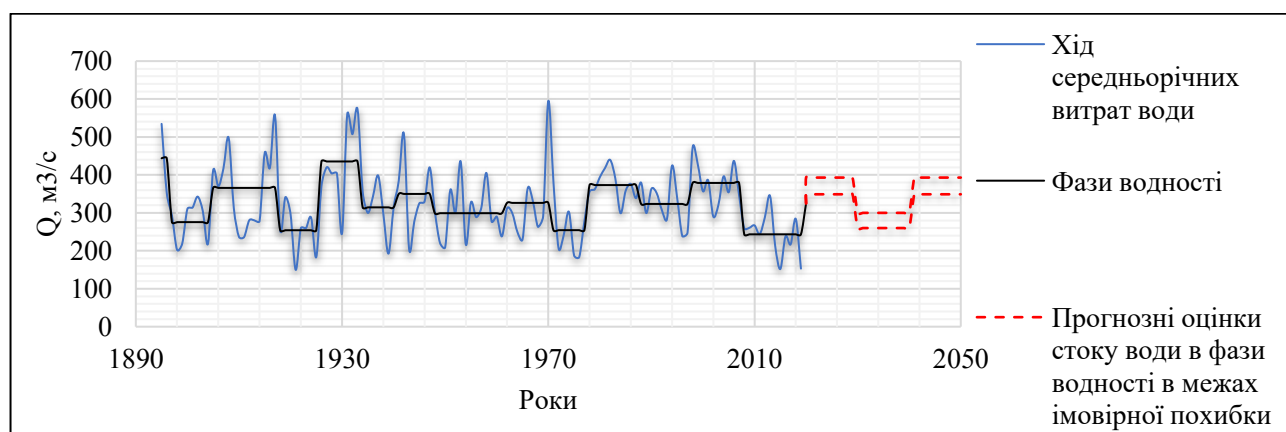


Рисунок 3.6. Фази водності та прогнозні оцінки середньорічного стоку р. Десна – м. Чернігів

В ході проведеного аналізу, виявлено, що стохастичні закономірності коливань стоку води р. Десна – м. Чернігів проявляються у мінливості стоку інших розглянутих у дослідженні річок (табл. 3.6).

Спираючись на вищенаведені розрахунки, виявлено, що середній річний стік води в багатоводну фазу для річок Сула, Псел, Ворскла, Південний Буг, Сіверський Донець, Бахмут, Айдар вище, в середньому, на 16-17% від норми, а в маловодну нижче, в середньому, на 13-14% від норми, тобто різниця величин середнього річного стоку у протилежних фазах водності може досягати $\approx 30\%$. Отже, виявлені стохастичні закономірності коливань стоку води р. Десна – м. Чернігів дуже добре описують мінливість стоку для всієї групи досліджуваних річок.

Таблиця 3.6. Середній стік води у фази водності досліджуваних річок за даними спостережень

Фаза водності		Річка - пост						
		р. Сула - м. Лубни	р. Псел - с. Запсілля	р. Ворскла - м. Кобеляки	р. Південний. Буг - смт Олександрівка	р. Сіверський. Донець - м. Лисичанськ	р. Бахмут - м. Сіверськ	р. Айдар - с. Новоселівка
		Площа водозбору, км ²						
		14200	21800	13500	46200	52400	1560	6370
		Середня витрата води у фази водності, Qсер., м ³ /с						
1897-1904	маловодна					88,5		
1905-1917	багатоводна				69,6	108		
1918-1925	маловодна				78,3			
1926-1933	багатоводна		66,1		96,1	132		
1934-1940	маловодна	29,4	42,6		85,6	92,7		
1941-1947	багатоводна	36,4	61,1		108	145		
1948-1961	маловодна	26,0	45,2		76,1	102	2,01	11,6
1962-1970	багатоводна	26,8	45,4	30,6	101	107	3,67	16,6
1971-1977	маловодна	27,6	44,2	25,0	92,8	56,8	3,00	10,8
1978-1987	багатоводна	40,0	71,1	43,8	117	112	3,97	14,7
1988-1997	маловодна	27,6	52,9	36,3	77,7	91,0	3,98	13,9
1998-2007	багатоводна	28,6	50,7	34,0	94,6	86,8	4,07	15,8
2008-2020	маловодна	13,9	29,9	22,8	52,0	60,6	2,04	7,48
Норма річних витрат води за період спостережень		27,6	49,7	32,3	86,5	97,7	3,4	12,8
Середня витрата води в багатоводну фазу, м ³ /с		33,0	58,9	36,1	97,7	115	3,90	15,7
Середня витрата води в маловодну фазу, м ³ /с		24,9	43,0	28,0	77,1	81,9	2,76	10,9

Базуючись на результатах стохастичного аналізу мінливості річного стоку води для попередньо прийнятого аналогового гідрологічного поста р. Десна – м. Чернігів ідентифіковано циклічну складову для річок басейну Сіверського Дінця. Використовуючи отримані параметри по р. Десна, а саме тривалість і характер чергування циклів та фаз водності, надано прогностні оцінки змін водності до середини поточного століття для річок басейну Сіверського Дінця (табл. 3.7): р. Сіверський. Донець - м. Лисичанськ, р. Бахмут - м. Сіверськ, р. Айдар - с. Новоселівка [11].

Таблиця 3.7. Середній стік води у фази водності та прогнозні оцінки середнього річного стоку до середини поточного століття (річки басейну Сіверського Дінця)

Характеристики		Річка - пост								
		р. Сіверський. Донець - м. Лисичанськ			р.Бахмут - м.Сіверськ			р.Айдар - с.Новоселівка		
		$Q_{сер}$	σ_Q	δ_Q	$Q_{сер}$	σ_Q	δ_Q	$Q_{сер}$	σ_Q	δ_Q
		м ³ /с								
Стік води у багатоводну фазу		115	19,0	12,8	3,90	0,17	0,11	15,7	0,78	0,53
Стік води у маловодну фазу		81,9	17,0	11,5	2,76	0,81	0,55	10,9	2,30	1,55
Межі мінливості стоку води з врахуванням імовірної похибки	багатоводна фаза	128			4,02			16,2		
		102			3,79			15,2		
	маловодна фаза	93,4			3,30			12,5		
		70,5			2,21			10,9		
Прогнозні оцінки										
2021±2 - 2030±2	багатоводна	115±13			3,9±0,11			15,7±0,53		
2031±2 - 2039±2	маловодна	81,9±11			2,76±0,55			10,9±1,55		
2040±2 - 2049±2	багатоводна	115±13			3,9±0,11			15,7±0,53		

* $Q_{сер}$ - середня витрата води; σ_Q - стандартне відхилення; δ_Q - ймовірне відхилення.

Найбільш показовим щодо прогнозних оцінок водності в досліджуваному басейні є гідрологічний пост р. Сіверський Донець - м. Лисичанськ, який має велику площу водозбору та найдовший період спостережень (рис.3.7), проте мінливість коливань стокових характеристик на р. Бахмут та р. Айдар підтверджують закономірності коливань стоку в великому басейні.

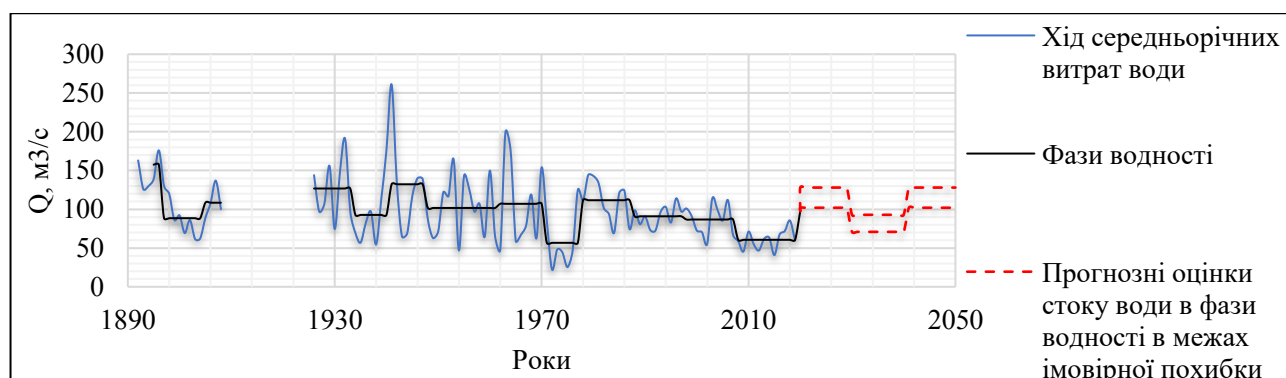


Рисунок 3.7. Фази водності та прогнозні оцінки середньорічного стоку р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ

В ході проведеного дослідження встановлено закономірності багаторічної мінливості середньорічного стоку води річок басейну Сіверського Дінця, ідентифікована циклічна складова, виявлена тривалість і характер чергування циклів водності та в їх межах маловодних і багатоводних фаз. Використовуючи виявлені стохастичні закономірності за історичними даними, виконано передбачення стоку на найближчу перспективу. Отримані результати узгоджуються з прогнозними оцінками змін водного стоку, отриманими за сценаріями очікуваних змін основних метеорологічних величин (РТК 2.6 та РТК 8.5) [1, 98].

3.3. Максимальний стік та його сучасні зміни

Максимальні витрати води весняного водопілля та дощових паводків обумовлюють загальні риси режиму стоку річок. Об'єм стоку вищенаведених фаз водного режиму становить переважну частину стоку, а для малих річок степової зони може складати весь річний стік [36].

Багаторічні коливання максимального стоку в басейні Сіверського Дінця оцінено за допомогою апарату різницевих інтегральних кривих [7].

Для проведення дослідження використано дані спостережень максимальних строкових витрат води весняного водопілля та дощових паводків теплого і холодного періоду року в басейні Сіверського Дінця. Таблиці «Максимальні витрати весняного водопілля» та «Максимальні витрати води дощових паводків» не складались для річок стік яких зарегульовано (р. Сіверський Донець – смт Печеніги, р. Оскіл – Оскільська ГЕС, р. Кривий Торець – смт Олексієво-Дружківка) та для гідрологічних постів зі значною площею водозбору, паводки на яких не виділяються (гідрологічні пости на р. Сіверський Донець та р. Оскіл – м. Куп'янськ).

Колівання максимальних витрат води лівих приток, правих приток та, власне, Сіверського Дінця мають дещо інші тенденції відносно коливань середньорічного стоку. За допомогою порівняльного аналізу коливань

характеристик стоку трьох вищенаведених груп річок, виявлено синфазні коливання максимальних витрат води весняного водопілля лівих приток, правих приток та, власне, річки Сіверський Донець (рис.3.8).

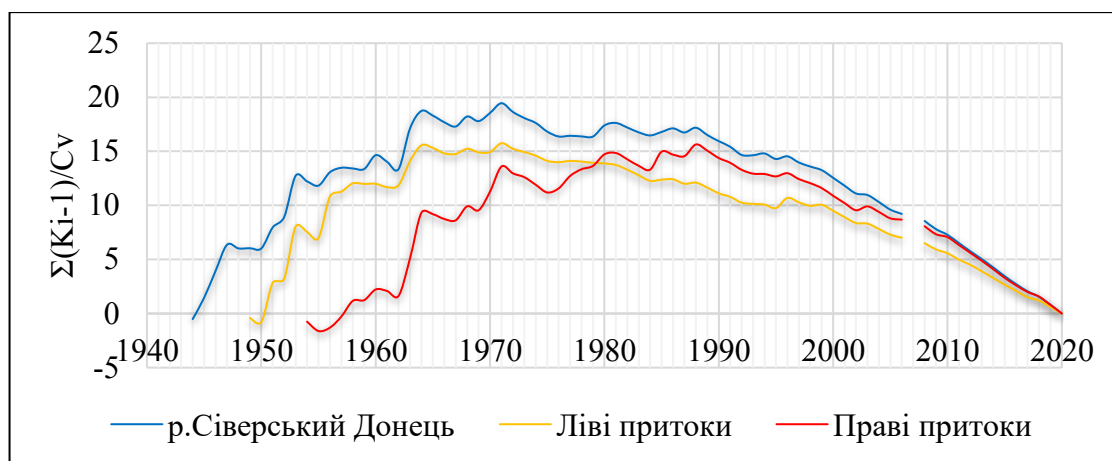


Рисунок 3.8. Суміщені різницеві інтегральні криві коливань осереднених максимальних витрат води весняного водопілля р. Сіверський Донець та її приток

На сучасному етапі (з 1989 року) виявлено тенденцію до зниження максимальних витрат води весняного водопілля річок правобережжя. На самому Сіверському Дінці та його лівих притоках така тенденція проявляється ще від початку 70-х років минулого століття.

Багаторічні коливання величин паводкового стоку характеризуються значною мінливістю, оскільки територія басейну знаходиться в зоні розвинутої зливної діяльності. Зливові опади найчастіше бувають на території Донецького кряжу (праві притоки) та Середньоруської височини (ліві притоки), тут характерні дуже різкі коливання інтенсивності дощів за короткі проміжки часу.

Різницеві інтегральні криві максимальних витрат води паводків теплого періоду року, побудовані для річок окремих частин басейну свідчать про те, що їх коливання є синфазними, але в окремі роки спостерігається асинхронність коливань, обумовлена нерівномірністю випадінні зливових дощових опадів в межах басейну (рис.3.9). Річки лівобережжя характеризуються більшою мінливістю багаторічних коливань стоку в порівнянні з річками правобережжя.

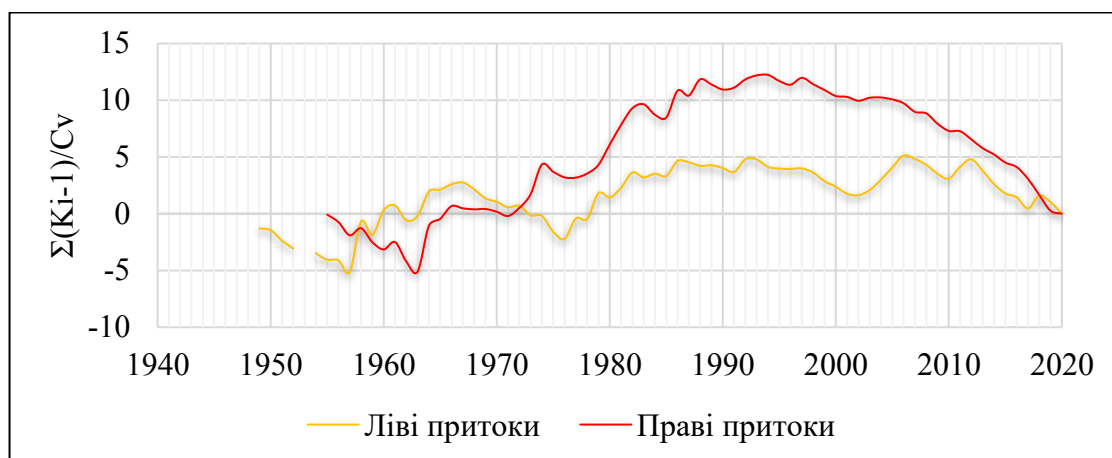


Рисунок 3.9. Суміщені різницеві інтегральні криві коливань осереднених максимальних витрат води дощових паводків теплого періоду року річок басейну Сіверського Дінця

Максимальні витрати води дощових паводків холодного періоду року характеризуються асинхронними коливаннями в період 1964-1987 рр. - праві притоки мають тенденцію до збільшення величин максимальних паводкових витрат, а ліві притоки, в свою чергу, до їх зменшення (рис.3.10).

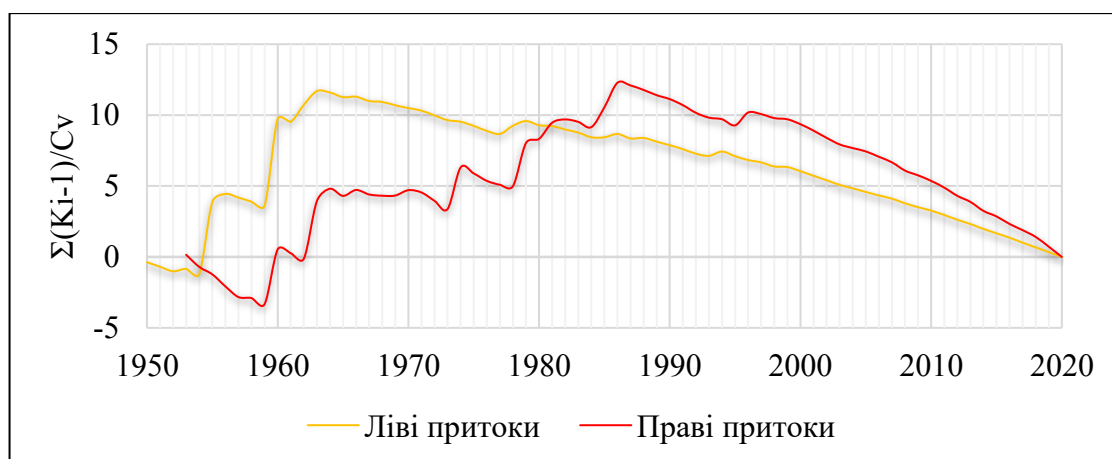


Рисунок 3.10. Суміщені різницеві інтегральні криві коливань осереднених максимальних витрат води дощових паводків холодного періоду року річок басейну Сіверського Дінця

Наразі, в наших роботах виявлено тенденцію до зниження максимальних витрат води дощових паводків теплого та холодного періоду року. Максимальні витрати води під час весняної повені значно перевищували максимальні витрати води для паводків теплого та холодного періодів, але з початку 90-х років їх абсолютні значення майже вирівнюються. [79]. Така ситуація безпосередньо пов'язана з сучасними змінами клімату: підвищенням температури повітря, зростанням зимової температури повітря, збільшенням тривалості відлиг, зменшенням висоти снігового покриву та збільшенням кількості опадів у теплий період.

3.4. Сучасні зміни мінімального стоку

Формування зимових мінімумів обумовлюється характером зими, наявністю чи відсутністю відлиг, умовами снігонакопичення в межах окремих басейнів, глибиною промерзання ґрунту, факторами підстильної поверхні - характером ґрунтового покриву та геологічною будовою.

Річки лівобережжя Сіверського Дінця беруть свій початок на південних схилах Середньоруської височини (річки Вовча, Оскіл); правобережжя - стікають зі східних, північних та західних схилів Донецького кряжу (річки Казенний Торець, Сухий Торець, Бахмут). Праві притоки Сіверського Дінця протікають в зоні нестійкого зимового режиму з довготривалими відлигами та значним підвищенням температур. Це призводить до формування зимових паводків різної інтенсивності. Для верхньої течії Сіверського Дінця та басейнів його лівих приток характерні короткострокові відлиги, які не сприяють утворенню значного поверхневого стоку.

Розподіл мінімального стоку води теплого періоду року обумовлений геологічними факторами, глибиною врізу русла та господарською діяльністю людини на водозборах і в руслах річок.

Аналіз сучасних тенденцій коливань мінімального стоку річок басейну виконано на основі матеріалів спостережень за мінімальними витратами води зимового періоду та періоду відкритого русла (найменша витрата води за 1 добу).

Оцінка виконана для р. Сіверський Донець, її лівих приток: рр. Оскіл, Айдар, Вовча, Красна, Жеребець, Євсуг; та правих приток: рр. Казенний Торець, Лопань, Сухий Торець, Бахмут, Уди. Для зарегульованих річок (р. Сіверський Донець – Печеніги, Чугуїв, Яремівка; р. Уди – смт Безлюдівка, р. Харків – смт Циркуни, р. Оскіл – Оскільська ГЕС, р. Кривий Торець – смт Олексієво-Дружківка) оцінка не проводилась, через значний вплив регулюючих споруд на величину мінімального стоку.

В ході дослідження було побудовано різницеві інтегральні криві коливань мінімального стоку для окремих гідрологічних постів та здійснено їх осереднення для виділених груп річок. Виявлено відмінність у тенденціях коливання стоку води річок лівобережжя у порівнянні із річками правобережжя та, власне, самою р. Сіверський Донець. Коливання мінімальних витрат води зимового періоду є синфазними (рис.3.11).

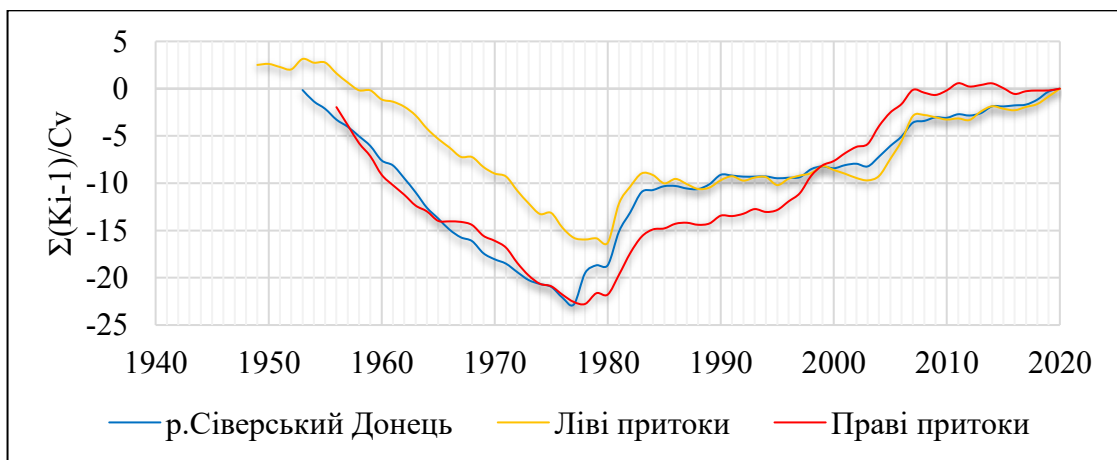


Рисунок 3.11. Суміщені різницеві інтегральні криві коливань осереднених мінімальних витрат води зимового періоду р. Сіверський Донець та її приток

З початку спостережень три групи річок мають однакову тенденцію до зменшення мінімальних витрат води зимового періоду. Зміна тенденції відбулася наприкінці 70-х років минулого століття, коли на річках басейну почалося зростання величин мінімального стоку річок протягом зимового періоду. Починаючи з 1984 року до 2003 року на річках лівобережжя спостерігається певна

стабілізація мінімальних витрат води зимового періоду, в той час як на правобережжі та безпосередньо на р. Сіверський Донець витрати зростають.

Аналіз багаторічних коливань стоку в басейні показав, що мінімальні витрати води зимового періоду мають протилежну направленість тренду до зростання в останні десятиріччя в порівнянні з коливаннями максимальних витрат води холодного періоду року. Така ситуація може бути пояснена тим, що протягом останніх десятиліть режим зимової межені неодноразово порушується досить тривалими відлигами, під час яких спостерігається формування паводків різної інтенсивності.

В ході оцінки різницевої інтегральної кривої мінімальних витрат води періоду відкритого русла встановлено, що річки правобережжя та р. Сіверський Донець мають синхронні коливання. Річки лівобережжя характеризуються синфазними коливаннями, відносно двох вищезгаданих груп, але в окремі періоди спостерігаються асинхронні коливання (рис.3.12).

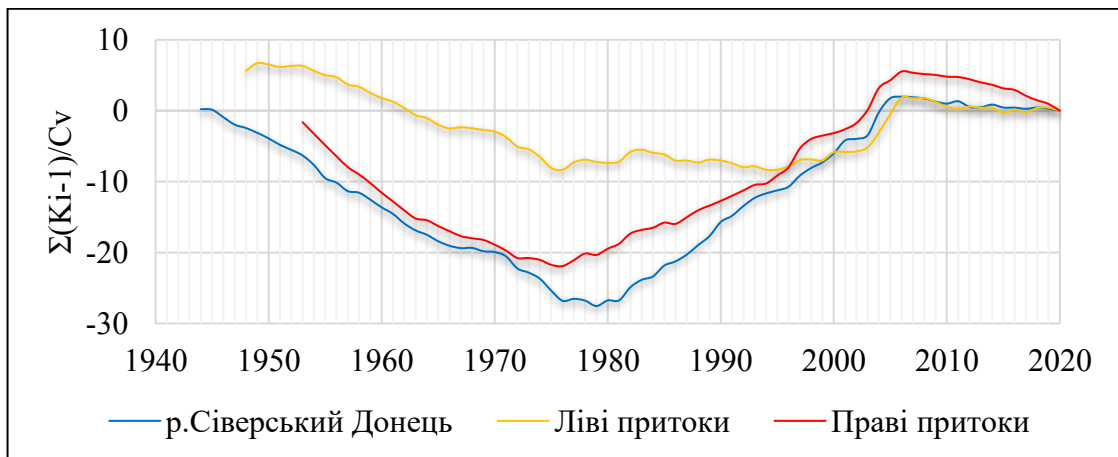


Рисунок 3.12. Суміщені різницево-інтегральні криві коливань осереднених мінімальних витрат води періоду відкритого русла р. Сіверський Донець та її приток

Загалом на річках басейну Сіверського Дінця простежується вирівнювання коливань мінімальних витрат води періоду відкритого русла з тенденцією до зменшення їх значень починаючи з 2008 року [9].

Значна відмінність мінливості коливань стокових характеристик в басейні Сіверського Дінця пов'язана зі значним антропогенним навантаженням. На р. Сіверський Донець розташовані великі міста такі як: Ізюм, Зміїв, Лисичанськ, які здійснюють значний водозабір для господарських та промислових потреб. Також на гідрологічний режим значною мірою впливають Печенізьке та Оскільське водосховища, відбувається забір води в канал Сіверський Донець – Донбас. Річки лівобережжя та правобережжя значно зарегульовані, вище створів спостережень знаходяться водосховища та ставки, що суттєво змінює гідрологічний режим [8].

Отже, можемо зробити висновок, що тенденції багаторічних коливань характеристик мінімальних витрат води зазнали суттєвих змін. З 2008 р. абсолютні значення характеристик мінімального стоку зростають, особливо відчутне зростання спостерігається для мінімальних витрат води зимового періоду що безпосередньо є наслідком впливу сучасних кліматичних змін та антропогенного навантаження.

Висновки до розділу 3

1. Виявлено відмінності в коливаннях характеристик стоку лівих та правих приток р. Сіверський Донець, що пов'язано зі різними фізико-географічними умовами та антропогенним навантаженням в окремих частинах басейну. Річки правобережжя та, власне, сама р. Сіверський Донець, характеризуються вищим рівнем господарського використання. Гідрологічний режим річок басейну суттєво порушується впливом водосховищ, найбільше - Оскільського та Печенізького, а також перекиданнями стоку каналами Дніпро-Сіверський Донець та Сіверський Донець-Донбас.
2. Аналіз (за допомогою різницевої інтегральної кривої) багаторічних коливань стоку в басейні Сіверського Дінця дав змогу виявити, що коливання середнього річного та максимального стоку річок правобережжя басейну дещо відхиляються від загальних тенденцій. Загалом на річках

басейну спостерігається тенденція до зниження водності, починаючи з 2008 року. Виключенням є мінімальні витрати води зимового періоду, які мають тенденцію до зростання в останні десятиріччя.

3. Спільне використання автокореляційного та спектрального аналізу дозволило виділити для річок басейну Сіверського Дінця цикли водності тривалістю 19-24 роки. Виділено фази водності (багатоводні та маловодні) з прив'язкою до конкретних років. За критерієм серій встановлено, що тривалість маловодних фаз може складати 9 ± 2 років, а багатоводних - 10 ± 2 років.
4. Прогнозні оцінки показали, що до 2021 ± 2 р. на річках басейну спостерігається маловодна фаза водності, яка почалася у 2008 р. З 2021 ± 2 по 2030 ± 2 рр. передбачається багатоводна фаза, що у період 2031 ± 2 - 2039 ± 2 рр. знов зміниться на маловодну. У період з 2040 ± 2 по 2049 ± 2 рр., імовірно, слід очікувати підвищення водності на річках басейну Сіверського Дінця.
5. Отримані результати можна використовувати для подальшого прогнозування змін стоку на річках басейну, для вирішення задач інтегрованого управління водними ресурсами та складання відповідних розділів Плану управління річковим басейном Дону, складовою частиною якого є суббасейн Сіверського Дінця.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ЗМІН ВНУТРІШНЬОРІЧНОГО РОЗПОДІЛУ СТОКУ ЗА ХАРАКТЕРНІ ПЕРІОДИ

Внутрішньорічний розподіл стоку річок обумовлюється зональними та азональними факторами. Зональні фактори в більшій мірі обумовлюють розподіл стоку великих та середніх річок, азональні – малих. Розподіл стоку по місяцях та сезонах визначається переважно кліматичними факторами: внутрішньорічною зміною кількості опадів та температури повітря [36]. Для аналізу змін внутрішньорічного стоку річок басейну Сіверського Дінця в роботі детально розглянуто зміни основних кліматичних характеристик за обрані нами характерні періоди.

4.1. Зміни складових водного балансу

На земній поверхні завдяки надходженню сонячного тепла та дії сили тяжіння відбувається безперервний вологообіг (випадіння атмосферних опадів, процеси стікання, випаровування вологи). Однією з характеристик вологообігу є водний баланс, який може бути визначений для будь-якої території та за будь-якій проміжок часу і який відповідає існуючим в природі співвідношенням між приходною вологою, витратною вологою та її змінами (рівновага вологи). Дослідження водно-балансових співвідношень дозволяє розкрити роль окремих джерел в живленні водних об'єктів, розглядати всі ланки гідрометеорологічних процесів і явищ у взаємозв'язку і забезпечувати їх кількісну ув'язку.

Річкові басейни, як відокремлені стокоформуєчі комплекси, є основними об'єктами водно-балансових досліджень. Водно-балансові співвідношення є основою для розробки методичних підходів в гідрологічних розрахунках, прогнозах, математичному моделювання процесів формування стоку в річковому басейні тощо. Також водно-балансові дослідження широко застосовуються при проектуванні гідротехнічних споруд чи при проведенні меліоративних заходів,

оскільки господарська діяльність в межах річкового басейну значно впливає та змінює величини елементів водного балансу. По суті, метод водного балансу є єдино надійним способом наукового обґрунтування для оцінки результатів господарської діяльності в басейні річки.

Метод водного балансу заснований на загальних положеннях закону збереження маси (води). Для будь якого підконтрольного контуру кількість води, що в нього увійшла, без врахування води, що вийшла з нього, повинна дорівнювати збільшенню чи зменшенню її всередині замкненого контуру. Математичною моделлю методу є рівняння водного балансу, основними структурними елементами якого для багаторічного періоду є (формула 4.1):

$$P = R + E \pm \eta, \quad (4.1)$$

де P , R , E – середні багаторічні значення, відповідно, атмосферних опадів, річкового стоку води, сумарного випаровування з поверхні річкового басейну, $\pm \eta$ – остаточний член (нев'язка) розрахунку водного балансу.

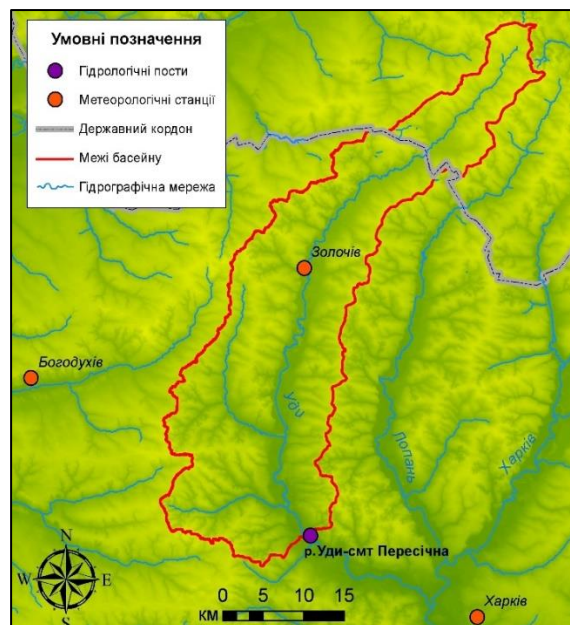
Основною умовою водно-балансових розрахунків є те, що всі елементи рівняння повинні бути розраховані незалежними методами. Але оскільки виміри та розрахунки окремих елементів проводяться з деякими неточностями (похибками), рівняння водного балансу не замикається, тобто алгебраїчна сума його складових не дорівнює нулю. Таким чином, при визначенні водно-балансових співвідношень в межах річкових басейнів завжди є невіязка розрахунку водного балансу. При цьому, чим менше невіязка, яка визначається як остаточний член рівняння, тим точніше складений водний баланс.

Розрахунок водного балансу виконано нами за два тридцятирічні періоди: стандартної кліматологічної норми – 1961-1990 рр. та сучасний період – 1991-2020 рр. Дослідження проведено для чотирьох водозборів в басейні Сіверського Дінця:

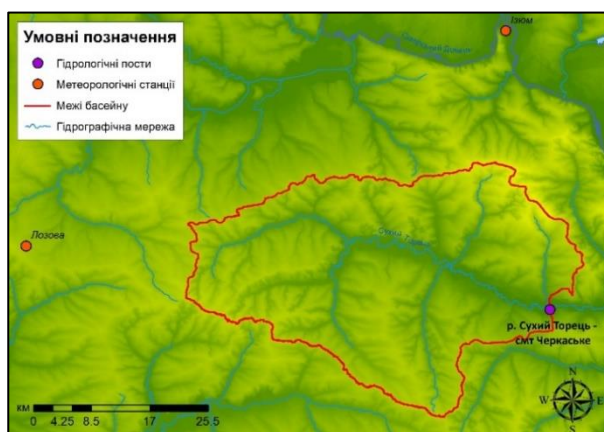
р. Жеребець – с. Торське, р. Сухий Торець – смт Черкаське, р. Уди – смт Безлюдівка та р. Уди – смт Пересічна (рис. 4.1).



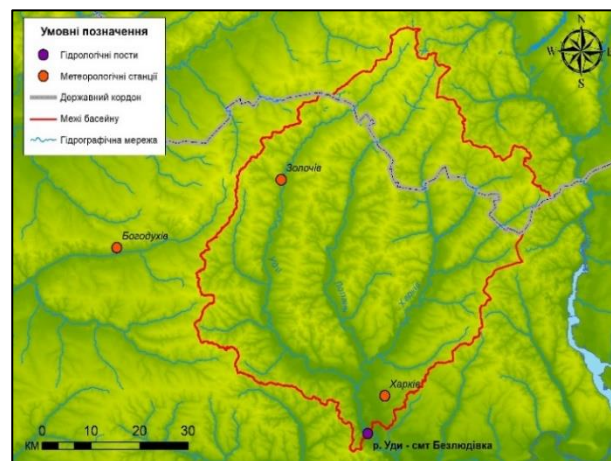
р. Жеребець – с. Торське



р. Уди – смт Пересічна



р. Сухий Торець – смт Черкаське



р. Уди – смт Безлюдівка

Рисунок 4.1. Карто-схеми водозборів досліджуваних річок басейну Сіверського Дінця

Вищенаведений вибір гідрологічних постів визначається тим, що вони дають можливість в повній мірі оцінити водно-балансові співвідношення та їх зміни в

межах басейну на сучасному етапі. Обрані водозбори відповідають наступним вимогам:

- мають оптимальну площу розрахункових басейнів, яка знаходиться в межах 1000 - 10000 км² [22];
- знаходяться в різних фізико-географічних зонах (р. Уди - лісостепова зона, р. Жеребець та р. Сухий Торець – степова зона);
- відносяться до різних виділених груп річок (ліві та праві притоки), що мають відмінності у формуванні стоку;
- характеризуються різним ступенем антропогенного навантаження.

Для визначення складової рівняння – річкового стоку, використовувались середньомісячні витрати води (м³/с), що вимірюються в замикальних створах досліджуваних водозборів. Оскільки всі елементи водного балансу повинні бути представлені в одних одиницях виміру і, в основному, подаються у вигляді шару стоку в міліметрах, витрати води перераховано в шари стоку (мм).

Для оцінки складових водного балансу – середніх місячних величин опадів та сумарного випаровування, використано дані спостережень метеорологічних станцій, розташованих в басейні р. Сіверський Донець - Золочів, Богодухів, Харків, Ізюм, Лозова, Покровськ та Сватове. Опади по окремим станціям визначалися безпосередньо за даними спостережень, а значення сумарного випаровування (через відсутність моніторингових даних) розраховано через температуру повітря та абсолютну вологість повітря (парціальний тиск) за методом А.Р. Константінова [22], що заснований на теорії турбулентної дифузії.

Так як мережа метеостанцій розташована неоднорідно на території річкових басейнів і відображає значення кліматичних характеристик у окремих точках, існує необхідність визначати значення метеорологічних параметрів в межах досліджуваних водозборів. З метою отримання осереднених для досліджуваних басейнів величин опадів та випаровування застосовано метод зважування (полігони Тисена), який дозволяє визначити зони впливу певних метеостанцій відносно конкретного водозбору завдяки ваговим коефіцієнтам. Для поділу водозбору на

окремі площі впливу (ваги) кожної метеостанції в межах досліджуваних водозборів використовувався інструментарій ГІС-системи - ArcGIS (рис. 4.2).

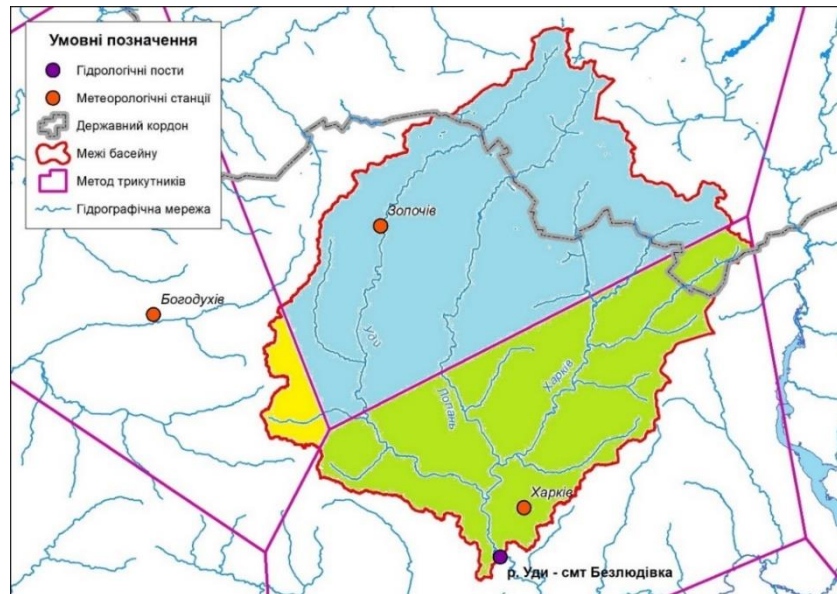


Рисунок 4.2. Визначення вагових коефіцієнтів метеостанцій на прикладі водозбору р. Уди – смт Безлюдівка

Метод водного балансу дозволяє порівняти окремі елементи приходної і витратної частини вологи в різні проміжки часу в межах заданої території та встановити їх вплив на загальний водний режим даної території. Рівняння водного балансу може бути складене для будь-якого періоду часу або для окремих фаз гідрологічного режиму. В роботі рівняння складено для окремих місяців та гідрологічного року. За гідрологічний рік прийнято річний інтервал, що містить періоди накопичення та витрачання води в басейні річки. Початок кожного гідрологічного року є індивідуальним, проте для території України зазвичай приймають постійні межі гідрологічного року, що відносяться до початку одного з місяців. У роботі такі межі обрані відповідно до рекомендацій М.Г. Галушенка [22] – початок гідрологічного року 1 листопада.

Використовуючи вищезазначені методичні підходи, визначено складові водного балансу для водозборів басейну р. Сіверський Донець за два тридцятирічні періоди (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Водний баланс водозборів досліджуваних річок за характерні періоди

Складові водного балансу	Місяць												Рік
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
р. Уди - смт Пересічна													
<i>1961-1990 рр.</i>													
Опади, P (мм)	46,6	49,9	42,8	35,2	32,0	39,1	44,7	61,4	71,2	53,0	48,7	38,9	563
Стік, R (мм)	7,3	7,1	6,0	8,7	25,7	29,4	6,1	4,2	4,8	2,9	3,2	5,0	111
Випаровування, E (мм)	18,9	4,2	2,5	3,3	18,9	58,4	72,8	80,2	80,6	69,6	47,9	31,9	489
Нев'язка, η (мм)	20	39	34	23	-13	-49	-34	-23	-14	-19	-2	2	-36
<i>1991-2020 рр.</i>													
Опади, P (мм)	42,7	43,4	41,3	35,1	39,5	34,9	55,9	62,9	69,3	39,6	52,3	50,7	568
Стік, R (мм)	5,4	4,8	4,9	7,0	13,1	12,0	4,8	2,9	2,3	1,4	1,9	3,8	64,6
Випаровування, E (мм)	23,1	4,5	3,8	4,6	27,2	57,9	77,8	83,9	87,6	73,5	51,2	35,6	530
Нев'язка, η (мм)	14	34	33	24	-1	-35	-27	-24	-21	-35	-1	11	-27
р. Уди - смт Безлюдівка													
<i>1961-1990 рр.</i>													
Опади, P (мм)	45,9	49,0	43,3	34,4	30,5	38,2	45,7	60,3	67,9	52,2	46,3	37,6	551
Стік, R (мм)	11,5	13,5	12,6	13,1	27,1	27,6	12,1	8,7	10,2	8,6	9,1	10,4	165
Випаровування, E (мм)	19,2	4,2	2,7	3,5	19,3	58,4	72,6	79,2	80,3	69,6	48,8	32,5	491
Нев'язка, η (мм)	15	31	28	18	-16	-48	-39	-28	-23	-26	-12	-5	-104
<i>1991-2020 рр.</i>													
Опади, P (мм)	42,6	42,3	40,1	34,6	38,7	33,9	55,3	61,2	67,5	39,5	49,7	48,7	554
Стік, R (мм)	11,2	11,2	11,2	12,8	20,1	18,7	11,9	10,2	9,3	7,7	8,1	9,9	142
Випаровування, E (мм)	23,5	4,7	3,8	4,8	27,3	57,6	76,0	83,3	85,8	72,4	48,8	35,9	524
Нев'язка, η (мм)	8	26	25	17	-9	-42	-33	-32	-28	-41	-7	3	-112

Продовження таблиці 4.1

Складові водного балансу	Місяць												Рік
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
р. Сухий Торець - смт Черкаське													
<i>1961-1990 рр.</i>													
Опади, Р (мм)	48,1	55,5	53,3	39,6	36,5	39,5	50,7	61,9	61,1	47,5	42,0	31,1	567
Стік, R (мм)	1,4	2,3	3,5	7,7	14,9	6,0	1,6	1,6	0,9	0,6	0,9	1,2	43
Випаровування, E (мм)	21,2	5,0	2,7	4,3	21,3	59,8	75,1	80,8	81,0	70,7	52,0	34,0	508
Нев'язка, η (мм)	26	48	47	28	0	-26	-26	-20	-21	-24	-11	-4	17

<i>1991-2020 рр.</i>													
Опади, Р (мм)	40,4	47,1	45,4	39,4	45,1	40,8	53,1	60,6	49,9	40,9	46,3	44,5	554
Стік, R (мм)	2,0	2,1	2,8	4,4	8,5	6,8	2,2	1,3	1,0	0,8	1,2	1,6	35
Випаровування, E (мм)	26,4	5,5	4,4	5,4	27,4	58,9	78,5	83,3	85,3	73,8	55,7	37,8	542
Нев'язка, η (мм)	12	40	38	30	9	-25	-28	-24	-37	-34	-11	5	-24

р. Жеребець - с. Торське													
<i>1961-1990 рр.</i>													
Опади, Р (мм)	46,9	51,0	48,8	36,1	33,0	42,6	43,0	58,3	59,3	45,9	42,7	29,8	537
Стік, R (мм)	2,6	3,3	3,5	7,1	17,7	12,0	2,6	2,3	1,8	2,8	5,1	4,9	65,8
Випаровування, E (мм)	21,0	5,1	2,6	4,2	19,3	58,0	70,7	76,5	78,5	68,1	50,5	32,7	487,2
Нев'язка, η (мм)	23	43	43	25	-4	-28	-30	-21	-21	-25	-13	-8	-16

<i>1991-2020 рр.</i>													
Опади, Р (мм)	40,0	46,2	43,5	38,0	36,6	38,1	54,1	63,1	53,2	35,9	45,0	39,5	533
Стік, R (мм)	3,1	2,9	3,8	5,3	7,8	8,8	3,9	2,6	2,8	4,4	8,2	7,4	60,9
Випаровування, E (мм)	24,8	5,1	4,0	5,0	28,0	58,2	77,3	84,1	85,1	72,7	54,4	36,8	535,5
Нев'язка, η (мм)	12	38	36	28	1	-29	-27	-24	-35	-41	-18	-5	-63

Оцінка часової динаміки складових водного балансу показала, що середня температура в межах водозборів зросла на 1,0 - 1,2°C в сучасний період порівняно з періодом кліматологічної стандартної норми (1961-1990 рр.), що характерно і для інших рівнинних водозборів на території України [75]. Максимуми підвищення температури зафіксовано в січні (2,2 – 2,5°C), лютому (1,5 – 2,0°C), березні (1,6 – 1,9°C), липні та серпні (1,3 – 1,6°C) місяцях.

На фоні загального підвищення температури в басейні, виявлено зростання величини випаровування для всіх розглянутих гідрологічних постів. Підвищення зафіксовано для всіх місяців, з максимумами зростання в січні (30 – 39%), лютому (21 – 28%) та березні (22 – 31%). Найбільші зміни абсолютних значень сумарного випаровування в сучасний період виявлено для березня та липня, в діапазоні 6,2 – 8,7 мм та 4,4 – 6,9 мм. Восени найбільше підвищення величини випаровування зафіксовано в листопаді – в діапазоні 3,8 – 5,2 мм, а взимку найбільше зростання виявлено в січні – в діапазоні 1,2 – 1,7 мм.

Аналізуючи розподіл елементів водного балансу лівої притоки р. Жеребець виявлено зменшення величини атмосферних опадів в холодний період в діапазоні 9 – 15% та влітку (липень та серпень на 10 та 22%, відповідно). Збільшення атмосферних опадів зафіксовано в травні (21%) та жовтні (24%). Незначне збільшення опадів спостерігається також в лютому, березні, червні та вересні.

Зміни у внутрішньорічному розподілі опадів виявлено і для водозбору р. Сухий Торець. Спостерігається тенденція до зменшення величини атмосферних опадів в літні місяці (липень – 18%, серпень – 14%) та в холодний період (листопад – 16%, грудень, січень – по 15%). Незначне збільшення (1 – 9%) величини атмосферних опадів в сучасний період характерне для лютого, квітня, травня та вересня.

Стік води з водозборів р. Жеребець та р. Сухий Торець суттєво зменшився в період формування та проходження весняного водопілля. В сучасний період стік води в січні місяці на гідрологічному посту р. Сухий Торець – смт Черкаське зменшився на 20%, а в лютому та березні – на 43%. Збільшення стоку

відзначається в літні та осінні місяці – з липня по листопад, в діапазоні 14 – 31%. Середньомісячний стік р. Жеребець – с. Торське також зменшився в лютому (25%) та березні (56%). Проте, на відміну від р. Сухий Торець, де стік протягом квітня несуттєво зріс (12%), стік у квітні місяці р. Жеребець зменшився на 27%. В річному розподілі зростає частка меженних місяців (липень – жовтень) на 33 – 38% порівняно з періодом кліматичної норми. Для обох водозборів також зростає і частка травня місяця на 28 – 33%.

В річному розрізі виявлено зменшення опадів (1 – 2%), стоку води (7 – 18%) та збільшення величини випаровування (6 – 9%). При однакової динаміці змін кліматичних показників в сучасний період, виявлено відмінності в тенденціях змін стокових характеристик. Середньорічний стік річки правобережжя Сіверського Дінця (р. Сухий Торець – смт Черкаське) зменшився на 18%, а річки лівобережжя (р. Жеребець – с. Торське) – на 7%.

Господарська діяльність в межах водозбору значно змінює величину елементів водного балансу. Наприклад, будівництво водосховищ збільшує величину випаровування та підвищується рівень ґрунтових вод. Значно впливають на величину стоку водозабори та скиди стічних вод [27].

В наших роботах, шляхом порівняння розрахованого водного балансу водозборів р. Уди (р. Уди – смт Пересічна та смт Безлюдівка), оцінено зміни складових водного балансу річкових водозборів, які викликані, по перше, змінами клімату та, по друге, різним рівнем антропогенного навантаження [83, 86].

Гідрологічний пост р. Уди – смт Пересічна знаходиться у верхній течії р. Уди, вище за течією від великих населених пунктів, тому господарська діяльність в басейні істотно не впливає на водний режим, на відміну від іншого обраного для дослідження пункту спостережень. Нижче м. Харків (великий промисловий центр), в середній течії р. Уди розташовано гідрологічний пост р. Уди – смт Безлюдівка, що зазнає значного антропогенного навантаження (Диканівські та Безлюдівські очисні споруди м. Харків).

Аналізуючи зміни метеорологічних характеристик в сучасний період для водозбору з меншим антропогенним навантаженням (р. Уди – смт Пересічна) можемо зробити наступні висновки: величина атмосферних опадів в басейні характеризується незначним збільшенням в червні та вересні – 2-7%; суттєвіше зростання виявлено для березня, травня та жовтня - 24-30%; сума опадів за січень, липень та листопад зменшилась на 3-8%; більш виражене зменшення величини атмосферних опадів відзначається в грудні, квітні та серпні – 11-25%.

В річному розрізі відзначається збільшення сумарного випаровування протягом всіх місяців, з максимумом зростання в грудні – березні (37-48%).

Щодо річного значення, то отримані результати вказують на те, що в сучасний період річна сума опадів та сумарного випаровування збільшились на 1 та 7-8%, відповідно.

Аналогічні зміни кліматичних характеристик прослідковуються і для басейну з високим рівнем антропогенного навантаження - р. Уди – смт Безлюдівка. Проте виявлено відмінності у розподілі стокових характеристик двох досліджуваних водозборів, що пов'язано з впливом господарської діяльності, саме тому для водозбору р. Уди – смт Безлюдівка оцінено додатковий вплив скиду стічних вод.

На гідрологічний режим водозбору р. Уди – смт Безлюдівка істотно впливає скид стічних вод комунальних та промислових підприємств Харківського регіону. В річку скидають стічні води Харківська ТЕЦ-5, Комплекси біологічної очистки “Безлюдівський” та “Диканівський” (м. Харків). Загальний обсяг скиду стічних вод, згідно звітності водокористування 2-ТП Державного агентства водних ресурсів України [38] становить, в середньому, близько 170 млн.м³ на рік.

За даними дослідження, середньомісячний стік води з досліджуваних водозборів р. Уди вагомо зменшився порівняно з періодом кліматичної норми. Для гідрологічного поста р. Уди – смт Пересічна місячний стік зменшився в діапазоні 18-59%, в той час як для гідрологічного поста р. Уди – смт Безлюдівка цей діапазон менший і становить 1-32%. Річний стік зменшився на 14% та 42%,

відповідно. Яскраво вираженим є зменшення стоку періоду весняного водопілля, що в свою чергу безпосередньо пов'язано з підвищенням температури повітря в період формування об'єму стоку водопілля (зимові температури зросли на 2–2,5 °С) та зменшенням кількості опадів за зимові місяці.

Для підтвердження достовірності водно-балансових розрахунків обчислено нев'язки водного балансу, вони становлять 3 - 6% для періоду кліматичної норми та 4 – 12% для сучасного періоду. Найбільші значення нев'язки отримано для водозбору гідрологічного поста р. Уди – смт Безлюдівка, проте додавши в прихідну частину балансу величину скиду води, що здійснюється підприємствами, відповідно до звітності з водокористування, величина нев'язки не перевищує допустимі межі в 20% і становить 17-19% від кількості опадів. Отже, з врахуванням антропогенної складової розрахунки водного балансу є репрезентативними.

Таким чином, в наших дослідженнях виявлено, що елементи водного балансу характеризуються зміною розподілу протягом року [80] в сучасний період, порівняно з періодом кліматичної норми. В сучасний період при відносно несуттєвій зміні прихідної частини балансу (атмосферних опадів) відбувся перерозподіл витратної частини (зростання величини сумарного випаровування та зменшення величини стоку води). Отримані результати підтверджуються науковими дослідженнями для інших річок України [55].

4.2. Оцінка основних кліматичних характеристик та величин стоку води за два характерні періоди

Сучасні закономірності водного режиму річок на фоні змін клімату визначаються коливанням основних кліматичних характеристик – опадів та температури повітря, що, в свою чергу, визначає величину випаровування. Вони мають істотний вплив на хід багаторічних та внутрішньорічних коливань річкового стоку. Зокрема, внутрішньорічний перерозподіл опадів відображається у відповідних змінах річкового стоку.

Оцінка характеру змін в басейні р. Сіверський Донець кліматичних характеристик (опадів і температури повітря) та параметрів річкового стоку в сучасний період (1991-2020 рр.) проведена шляхом їх співставлення з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.).

Оскільки розташування метеорологічних станцій в межах басейну Сіверського Дінця неоднорідне, то для обчислення зведених метеорологічних характеристик водозбору у роботі використано метод зважування, відповідно до якого визначено зони впливу окремих метеостанцій [10]. В якості замикального створу обрано гідрологічний пост – р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ.

Отримані нами результати дозволяють зробити наступні висновки.

Тенденція до підвищення температури повітря в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми в межах басейну прослідковується протягом усіх місяців року – рис.3.13. Але, відзначається суттєва нерівномірність внутрішньорічного розподілу величини зростання температури повітря з максимумами в зимовий (+1,5°C) та літній (+1,2°C) сезони. Тоді як навесні (+0,9°C) та восени (+0,7°C) відповідні показники зростання температури повітря є меншими. По окремих місяцях найбільші зміни температури відмічаються у січні (+2,3°C), лютому (+1,8 °C), березні (+1,8°C) та серпні (+1,4 °C) місяцях [10].

На фоні несуттєвого (близько 1%) зростання річної кількості опадів в регіоні за останні десятиліття виявлено їх перерозподіл між сезонами та окремими місяцями. Спостерігається тенденція до зменшення кількості опадів, особливо в літні місяці (липень – на 11%, серпень – на 19%) [80]. Слід відзначити зміщення максимальної місячної суми опадів з липня (за період 1961-1990 рр.) на червень (в сучасний період) [85]. Відзначається значне (на 11%) зменшення кількості опадів в холодний період року (листопад - лютий) – рис.3.13. Це обумовлює (поряд з іншими чинниками) зменшення величини снігозапасів та, відповідно, величини стоку весняного водопілля. Відзначаються часті випадки невираженого водопілля на річках басейну. Величина стоку протягом березня - квітня (періоду проходження водопілля в межах української частини басейну)

скоротилася майже на третину. Середньомісячний стік у басейні Сіверського Дінця суттєво зменшився в лютому (на 21%), березні (на 31%), квітні (на 47%) місяцях – рис.3.13. Несуттєве збільшення стоку восени - вересень, жовтень, листопад (1-2%) [10]. Зростання величини опадів впродовж травня - червня (обумовлене дощовою складовою) визначає відповідне (хоча і незначне) зростання стоку цих місяців.

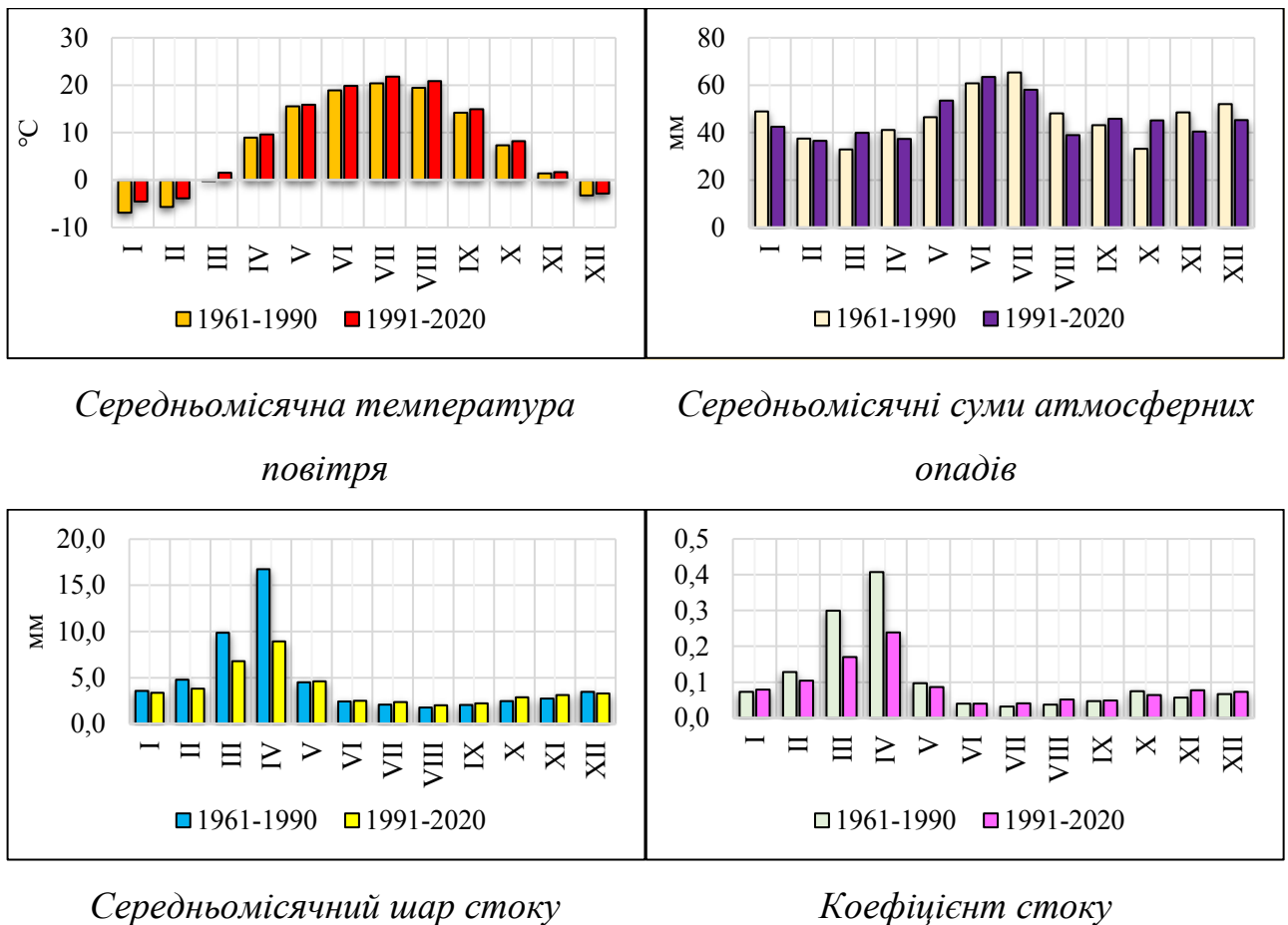


Рисунок 3.13. Внутрішньорічний розподіл окремих гідрометеорологічних характеристик басейну Сіверського Дінця за обрані періоди (для замикального створу р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ)

З метою визначення змін характеристик водного балансу басейну під час однорідних фаз водності в період кліматичної норми (1961-1990 рр.) та в сучасний період (з 1991 р.) кліматичні показники було оцінено відповідно до попередньо визначених в наших дослідженнях фаз водності [79]. Для річок

басейну Сіверського Дінця за досліджуваний період 1961-2020 рр. було виділено дві маловодні фази - 1961-1976, 2007-2020 рр. та багатоводна фаза – 1977-2006 рр. яку (відносно обраних для дослідження часових відрізків) поділено на дві частини: 1977-1990, 1991-2006 рр. Таким чином, для проведення дослідження виділено однорідні фази водності однакової тривалості в межах 30-ти річних періодів.

Аналіз внутрішньорічного розподілу температури повітря, кількості опадів та величини стоку за дві маловодні фази, одна з яких відноситься до періоду кліматичної норми, а друга – до сучасного періоду, показав наступне.

Як і раніше, в сучасний період найвищі значення температури повітря спостерігаються в липні та серпні, а найнижчі в січні та лютому (рис.3.14). Але абсолютна величина цих значень зросла (в січні та лютому – на 2,9°C та 2,7°C; липні та серпні – на 1,6°C та 2,1°C).

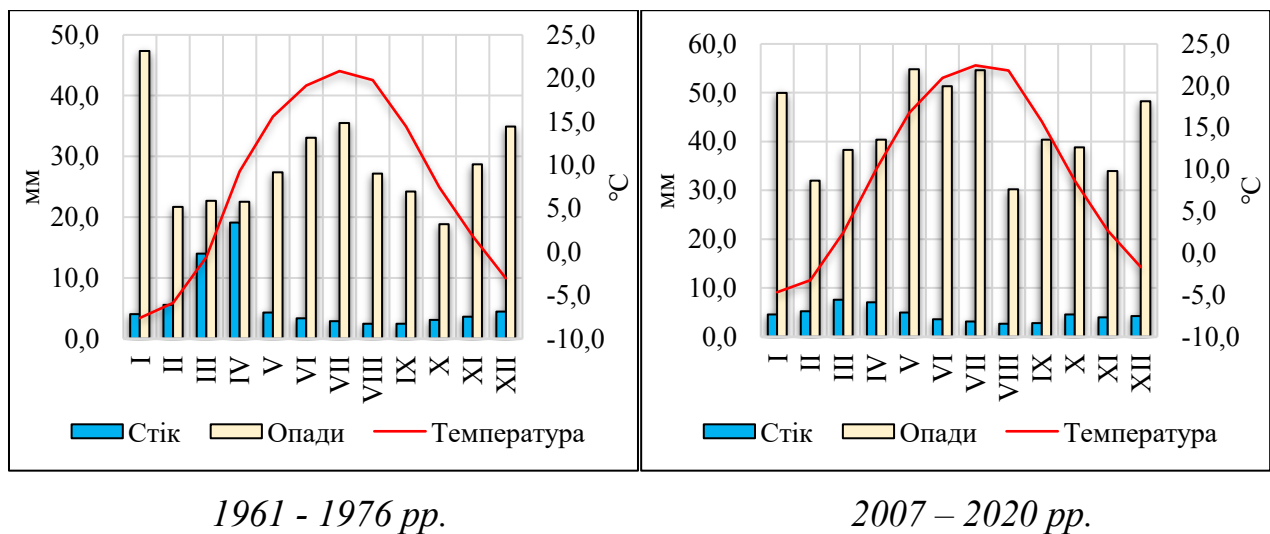


Рисунок 3.14. Внутрішньорічний розподіл окремих гідрометеорологічних характеристик басейну Сіверського Дінця за маловодну фазу (для замикального створу р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ)

Найбільша кількість опадів у маловодну фазу припадає на літні та зимові місяці. В сучасний період (2007-2020 рр.) відбулося зростання величин літніх

(червень – серпень) та зимових (грудень – лютий) величин атмосферних опадів, відповідно, на 13,5 мм та 8,7 мм.

Зростання кількості опадів у літні місяці не призвело до відповідного зростання величини стоку, що обумовлено зростанням температури повітря та, відповідно, величини випаровування. Значне (до 63%) зниження стоку виявлено для весняних місяців.

Зростання середньомісячних показників температури повітря відзначено і для багатоводної фази (рис. 3.15). Підвищення фіксується як у літні (липень – 1,3°C, серпень – 0,9°C), так і у зимові (січень – 1,7°C, лютий – 1,0°C) місяці.

Як у період кліматичної норми, так і в останні роки, найбільші місячні суми опадів в багатоводну фазу припадають на червень, липень та січень (рис.3.15). Виявлено, що під час багатоводної фази місячний максимум опадів змістився з січня (зменшення з 49 до 39 мм) на червень (зростання з 41 до 43 мм).

Відзначається також зменшення середньомісячних значень стоку у весняні місяці – березень, квітень, хоча і не таке суттєве, порівняно з маловодною фазою.

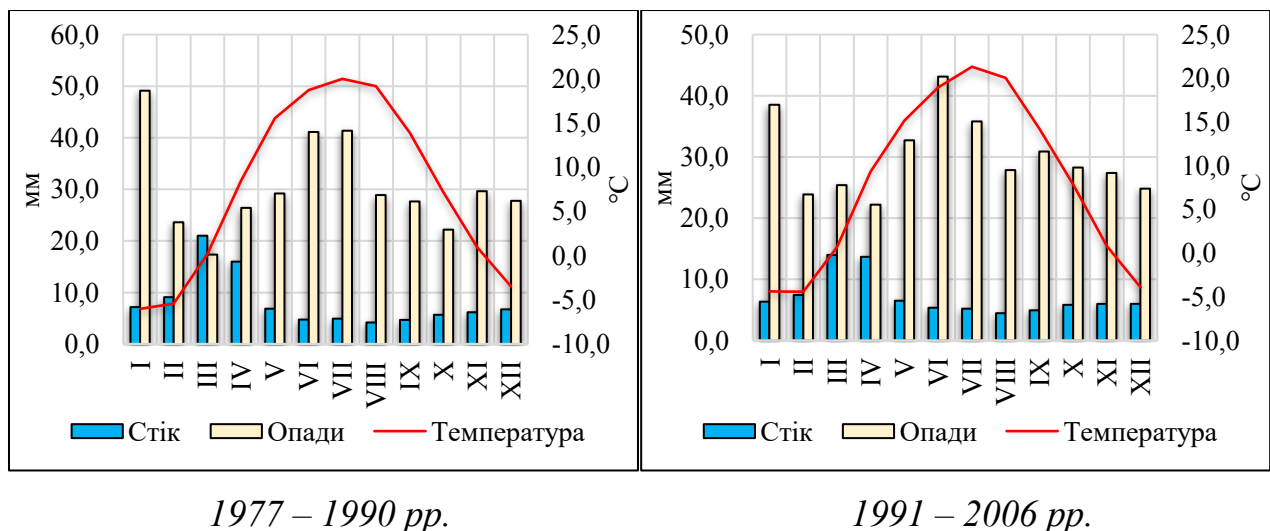


Рисунок 3.15. Внутрішньорічний розподіл окремих гідрометеорологічних характеристик басейну Сіверського Дінця за багатоводну фазу (для замикального створу р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ)

Оцінено також внутрішньорічний розподіл за маловодну та багатоводну фази такого показника як коефіцієнт стоку (рис.3.16).

Отримані результати свідчать про те, що відношення величини шару стоку до кількості опадів, що випали на площу водозбору і зумовили виникнення стоку значно вищі для багатоводної фази та мають найвищі свої значення в березні, квітні (період весняного водопілля). Найнижчі значення спостерігаються в червні – вересні (літньо-осіння межень).

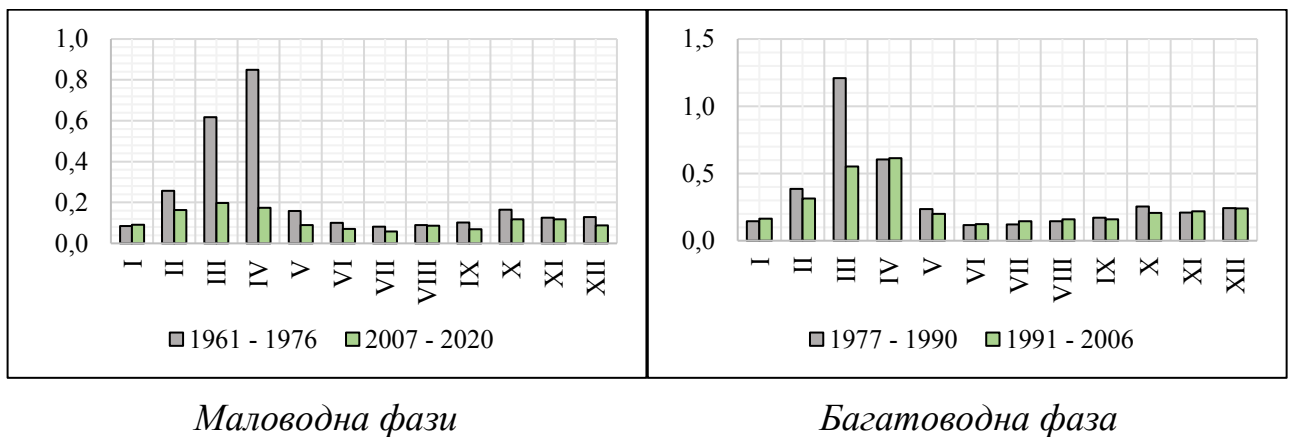


Рисунок 3.16. Внутрішньорічний розподіл значень коефіцієнту стоку за маловодну та багатоводну фази для басейну Сіверського Дінця (для замикального створу р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ)

Отже, оцінка гідрометеорологічних показників для території басейну Сіверського Дінця виявила, що тенденції їх коливань та розподіл протягом року зазнали суттєвих змін впродовж останніх десятиліть, що пов'язано з внутрішньорічним перерозподілом опадів в басейні, зростанням температури повітря та, відповідно, величини випаровування, а також антропогенними факторами.

4.3. Внутрішньорічний розподіл стоку характерних за водністю років

Вивчення та розрахунки внутрішньорічного розподілу стоку є надзвичайно важливим завданням гідрології як з практичної, так і з наукової точки зору.

Найбільші водосховища в басейні Сіверського Дінця мають сезонне регулювання стоку – в режимі роботи водосховища вирішальне значення має внутрішньорічний розподіл стоку. Об'єм водосховища залежить від співставлення у часі природного притоку води та його споживання, а отже необхідним є вивчення коливань стоку за сезонами та фазами водності.

Внутрішньорічний розподіл стоку визначають, переважно, кліматичні фактори. Зміни клімату, через зміни складових водного балансу, визначають зміни у внутрішньорічному розподілі стоку. Місцеві фізико-географічні фактори (озерність, залісеність, заболоченість, площа водозбору, ґрунтовий покрив, глибина залягання ґрунтових вод, карст та інші), в свою чергу, також впливають на внутрішньорічний розподіл стоку.

Фактори впливу на внутрішньорічний розподіл стоку поділяються на дві основні групи: кліматичні фактори та фактори підстильної поверхні (до них відносять і антропогенний фактор). Серед представлених вище груп виділяють стокоутворюючі фактори (прямі), які формують стік, непрямі та умовні. Стокоутворюючі – опади та підземні води, їх розподіл по території підпорядковується закону географічної зональності. Непрямі – температура повітря і ґрунту, дефіцит вологості повітря, випаровування. Умовні – площа басейну, середня висота/довжина/ширина водозбору, глибина ерозійного врізу русла, похил русла, густина річкової мережі. Антропогенний вплив відносять до факторів впливу підстильної поверхні, а за генетичним впливом до непрямих факторів [36].

Основними кліматичними характеристиками, що визначають внутрішньорічний розподіл стоку є атмосферні опади, випаровування, температура повітря та їх розподіл протягом року. Величина снігозапасів зимового періоду безпосередньо визначає величину весняного водопілля. Величина випаровування літнього періоду обумовлює величину меженного стоку, а температурний режим та кількість атмосферних опадів визначає величину стоку води.

Водозбори річок басейну Сіверського Дінця, що замикаються досліджуваними гідрологічними постами, характеризуються наявністю великої кількості ставків та стариць і заболочених територій в заплавах річок (Розділ 2). Ставки та болота, в свою чергу, є регуляторами стоку - вода, яка утворюється під час сніготанення чи надходить від дощів, не одразу стікає у річку, а у значній кількості збирається та накопичується у ставках або болотах і вже пізніше поступово віддається ними на стік. Це у свою чергу веде до зниження максимальних витрат води під час водопілля та паводків і до збільшення їх тривалості.

Ліс, лісосмуги та інші види рослинного покриву, як непрямий фактор впливу на внутрішньорічний розподіл стоку, сприяють уповільненню поверхневого стікання та менш інтенсивному сніготаненню, завдяки чому збільшується частка ґрунтового живлення та тривалість періоду весняного водопілля. Безпосередній вплив рослинності на стік полягає у збільшенні шорсткості земної поверхні. Територія басейну Сіверського Дінця, переважно, безліса рівнина зі зрідженою рослинністю, винятком є лише борові тераси та ділянка Донецького кряжу вздовж лівого берега (до кордону з Росією тягнеться широка смуга лісів). Таким чином, в межах басейну не відбувається тривалого снігонакопичення, весняне водопілля не розтягнуте у часі, а ґрунти є недостатньо зволженими. Ґрунти річкового басейну у значній мірі визначають його водопоглинаючу здатність - чим більше зволожені ґрунти, тим менше вони можуть поглинути води у подальшому і створюються більш сприятливі умови для формування стоку. Переважна частина басейну розорана, що, в свою чергу, зменшує шорсткість земної поверхні та пришвидшує процеси стікання.

Значний вплив на стік має карст. Наявність карстових порід характерна для лівих приток Сіверського Дінця – рр. Оскіл, Айдар, Деркул, що може збільшувати величину стоку (за рахунок переходу вод з іншого басейну) або зменшувати її.

Особливості рельєфу території, в певній мірі, обумовлюють різницю у режимі стоку однакових за типом річок. У рівнинних басейнах дуже багато

різного роду замкнених улоговин, що збирають та затримують воду, уповільнюючи процеси стікання. Вищенаведений вплив рельєфу на річковий стік обумовлює відмінності у внутрішньорічному розподілі стоку р. Сіверський Донець, її правих та лівих приток. В межах Середньоруської та Донецької височин випадає більша кількість опадів та пришвидшені процеси стікання порівняно з рештою території басейну.

За водозбірною площею, розглянуті в ході дослідження водозбори басейну Сіверського Дінця, що замикаються гідрологічними постами, середні та великі. Отже, протягом року стік розподілений більш рівномірно, порівняно з малими водозборами та вплив азональних факторів на розподіл стоку незначний.

Одним з визначальних факторів впливу на внутрішньорічний розподіл стоку басейну Сіверського Дінця є господарська діяльність в межах басейнів річок. Водогосподарський комплекс регулює стік та співвідношення водного балансу басейну річки або її ділянки (спорудження гребель і водосховищ, каналів, забір/скид води, перекидання стоку та ін.). Так, зі створенням водосховищ збільшується випаровування з водної поверхні, а отже й зменшується стік, особливо в посушливих районах. Басейн Сіверського Дінця розташований, переважно, в степовій – посушливій фізико-географічній зоні, в межах промислового регіону України. Значний вплив на розподіл стоку протягом року мають також агротехнічні та лісотехнічні заходи (вирубання/насадження лісів, розорювання земель, меліораційні заходи та ін.). Високий ступінь розорювання в басейні Сіверського Дінця впливає на умови формування поверхневого стоку, переважно зменшуючи його.

Аналіз зміни розподілу внутрішньорічного стоку під впливом кліматичних змін потребує детального розгляду, особливо для промислового регіону басейну Сіверського Дінця. На основі розрахунку внутрішньорічного розподілу стоку виконуються водогосподарські розрахунки, що має важливе практичне значення для істотно зарегульованого досліджуваного басейну.

За наявності достатніх даних спостережень (не менше 15 років) розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку рекомендовано виконувати за моделлю

реального року або методом компонування сезонів. Найбільш поширеним методом розрахунку внутрішньорічного стоку є розрахунок за моделлю реального року. Цей метод полягає у виборі з наявного ряду спостережень за стоком води моделей трьох реальних років, характерних за водністю і розподілом стоку з емпіричною забезпеченістю річного та сезонного стоку близькою до заданої [22, 27].

Внутрішньорічний розподіл стоку розраховується за водогосподарськими роками, початок яких припадає на багатоводний сезон (для басейну Сіверського Дінця – весняне водопілля). Межі сезонів обираються однаковими для всіх років за період спостережень з заокругленням до місяця.

Відповідно до строків проходження гідрологічних явищ в басейні [39], виділено гідрологічні сезони (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Межі гідрологічних сезонів для обраних річок в басейні Сіверського Дінця

Річка	Сезон		
	Весняне водопілля	Літньо-осіння межень	Зимова межень
р. Уди, р. Лопань, р. Вовча, р. Оскіл, р. Жеребець, р. Красна, р. Айдар, р. Сіверський Донець	березень - квітень	травень - листопад	грудень - лютий
р. Казенний Торець, р. Кривий Торець, р. Сухий Торець, р. Бахмут	лютий - квітень	травень - листопад	грудень - січень
р. Сіверський Донець	березень - квітень	травень - листопад	грудень - лютий

Розрахункова імовірність перевищення стоку за рік визначається у відповідності до водогосподарського використання стоку річки. Враховуючи те, що басейн Сіверського Дінця знаходиться, переважно, в степовій (посушливій) фізико-географічній зоні з відчутним дефіцитом водних ресурсів, в маловодні роки раціональне управління водними ресурсами регіону має вирішальне значення, а вплив кліматичних змін на внутрішньорічний розподіл стоку яскраво виражений саме для посушливих років, для розрахунку внутрішньорічного стоку в басейні Сіверського Дінця обрано три роки моделі (градації водності):

1. Середній за водністю рік – величина середньорічної витрати води близька до середньорічної витрати води 50%-ї забезпеченості, а розподіл стоку по місяцях близький до середнього розподілу за всі роки ряду спостережень.
2. Маловодний рік - величина середньорічної витрати води близька до середньорічної витрати води 75%-ї забезпеченості;
3. Дуже маловодний рік - величина середньорічної витрати води близька до середньорічної витрати води 95%-ї забезпеченості; рік з найбільш низьким та тривалим меженним періодом протягом зимового чи літнього сезону.

При розрахунках за матеріалами спостережень стік за водогосподарський рік і за окремі сезони та періоди виражається сумою середніх місячних витрат води $\sum Q$. Емпірична забезпеченість сезонних і річних величин стоку розраховується за формулою 4.2:

$$p = \frac{m}{n + 1} * 100\% \quad (4.2)$$

де m – порядковий номер члена ряду величини стоку, розташованих у спадному порядку; n – загальна к-ть членів ряду.

З отриманих розрахункових даних обираються три роки, характерні за своєю водністю і розподілом стоку, з емпіричними забезпеченостями річного і сезонного стоку, близькими до заданих. Розрахункові величини заданої імовірності перевищення знімаються з кривої забезпеченості. За відносним розподілом витрат (%) реальних років-моделей розраховуються середньомісячні і середньосезонні витрати води років різної забезпеченості [40].

Басейн Сіверського Дінця є дуже складним об'єктом через своєрідні фізико-географічні умови, тому внутрішньорічний розподіл стоку дещо відрізняється для лівих приток, правих приток та, власне, самої річки Сіверський

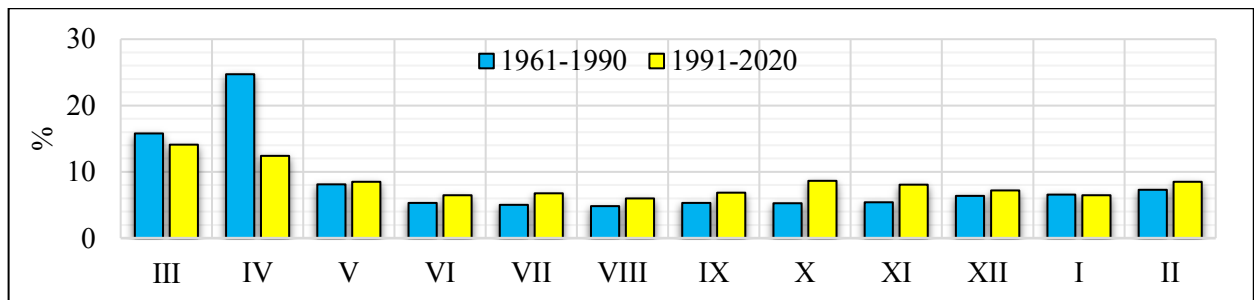
Донець. Подібної схеми поділу території басейну при виконанні досліджень притримуються й інші науковці у своїх роботах [30, 32].

Внутрішньорічний розподіл стоку річок басейну спершу було оцінено за весь період спостережень. Для річки Сіверський Донець найбільшими за обсягами стоку місяцями є березень та квітень, на них припадає 13 - 23% від загального об'єму річного стоку, залежно від забезпеченості року. Найменшими за об'ємом стоку є меженні місяці – серпень та вересень, на них припадає 3 - 6% від річного стоку. Найбільша частка річного стоку води припадає на березень - квітень для лівих приток Сіверського Дінця та на лютий - квітень для правих [13]. За обраний для дослідження період (1961 – 2020 рр.), найбільш забезпеченим сезоном для усіх трьох груп річок є літньо – осіння межень, під час якої проходить 40 – 48% річного стоку води.

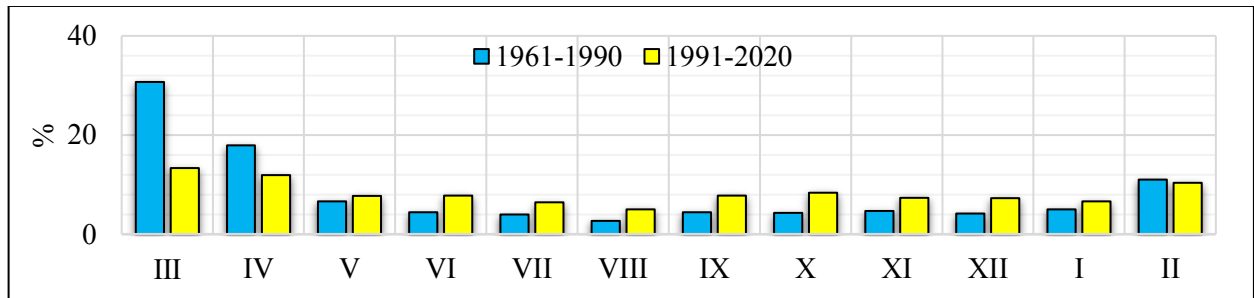
В ході роботи оцінено внутрішньорічний розподіл стоку для річок басейну Сіверського Дінця та виконано порівняльний аналіз внутрішньорічного розподілу стоку для двох періодів (1961-1990 та 1991-2020 рр.), з метою виявлення впливу сучасних кліматичних змін. Розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку води в басейні Сіверського Дінця виконано для трьох характерних груп річок: ліві притоки (рр. Вовча, Оскіл, Жеребець, Красна, Айдар), праві притоки (рр. Уди, Лопань, Казенний Торець, Кривий Торець, Сухий Торець, Бахмут) та, власне, р. Сіверський Донець. Середньомісячний стік води для трьох виділених нами в басейні груп річок (Розділ 3) був осереднений по сезонах та місяцях для двох тридцятирічних періодів та трьох градацій водності (середній за водністю, маловодний та дуже маловодний роки).

За допомогою проведеного аналізу визначено, що у середній за водністю рік значно зменшились частки стоку березня та квітня місяців в річному розподілі. Для правих приток відносні значення березня місяця зменшились на 28%, для лівих приток – на 57%, а для самої р. Сіверський Донець – на 11%. Зменшення відносних значень стоку квітня характерне для лівих приток - 34% та р. Сіверський Донець - 50%. В сучасний період (1991 – 2020 рр.) збільшились витрати літньо – осіннього сезону. Стік літніх місяців (червень – серпень) зріс на

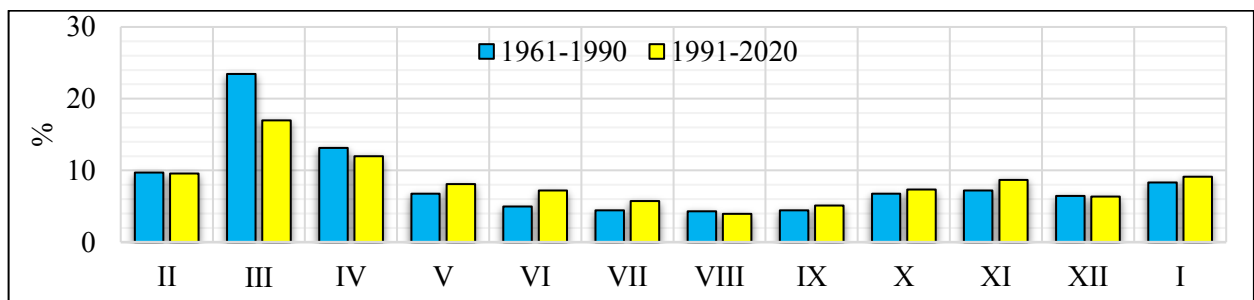
18 – 26% для р. Сіверський Донець та на 38 – 46% для лівих приток. Для правих приток зросли значення червня та липня на 30 та 22%, відповідно, проте, відзначається незначне зменшення частки стоку серпня місяця (8%). Для всіх трьох груп річок зросла частка стоку вересня, жовтня та листопада в річному розрізі. Найбільше зростання відмічається для лівих приток – 36 – 48%, та р. Сіверський Донець – 23 – 39% (рис. 4.3).



а) р. Сіверський Донець



б) ліві притоки



в) праві притоки

Рисунок 4.3. Внутрішньорічний розподіл стоку води річок басейну Сіверського Дінця по сезонам за характерні періоди (середній за водністю рік – 50%)

Внутрішньорічний розподіл стоку річок басейну дещо вирівнявся за останні десятиліття. Виявлено, що найбільша частка (від об'єму річного стоку) середнього за водністю року для періоду 1961 – 1990 рр. припадала на весняне водопілля для всіх трьох груп річок. Проте в період сучасних кліматичних змін (1991 – 2020 рр.) ситуація змінилась в бік переважання частки стоку літньо – осінньої межени. Так, для р. Сіверський Донець частка весняного водопілля у внутрішньорічному розподілі стоку зменшилась на 35 %, для лівих приток – на 48%, а для правих приток – на 17%. Витрати періоду літньо – осінньої межени, відповідно, найбільше зросли для лівих приток - на 38%. Також на сучасному етапі виявлено незначне зростання відносних значень стоку зимової межени (табл. 4.3).

Таблиця 4.3. Внутрішньорічний розподіл стоку води річок басейну Сіверського Дінця по сезонам за характерні періоди (середній за водністю рік – 50%)

№ п/п	Річка - пост	Сезонний стік, %					
		весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень	весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень
		1961-1990 рр.			1991-2020 рр.		
р. Сіверський Донець							
1	р. Сіверський Донець - с. Огірцеве	43	38	19	30	52	18
2	р. Сіверський Донець - м. Чугуїв	43	40	16	19	59	22
3	р. Сіверський Донець - м. Зміїв	35	46	19	23	54	23
4	р. Сіверський Донець - м. Ізюм	31	47	22	20	53	27
5	р. Сіверський Донець - с. Стародубівка	44	33	24	28	49	22
6	р. Сіверський Донець - м. Лисичанськ	46	31	22	38	40	21
Середнє по групі постів		41	39	20	26	51	22
Ліві притоки							
1	р. Вовча - м. Вовчанськ	54	35	11	27	49	25
2	р. Оскіл - м. Куп'янськ	36	44	20	27	48	26

Продовження таблиці 4.3.

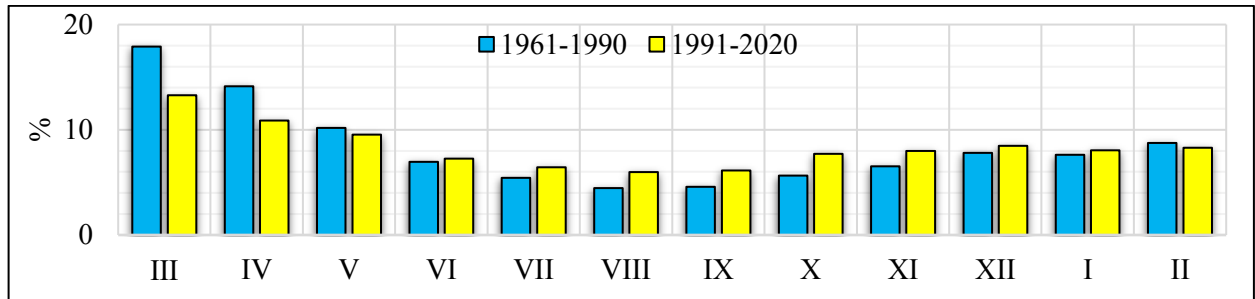
№ п/п	Річка - пост	Сезонний стік, %					
		весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень	весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень
		1961-1990 рр.			1991-2020 рр.		
3	р. Жеребець - с. Торське	43	19	38	24	58	18
4	р. Красна - с. Червонопопівка	57	29	14	26	45	28
5	р. Айдар - смт Білолуцьк	55	28	17	25	46	28
6	р. Айдар - с. Новоселівка	47	33	20	22	57	21
Середнє по групі постів		49	31	20	25	50	24
Праві притоки							
1	р. Уди - смт Безлюдівка	30	47	23	28	44	28
2	р. Лопань - с. Козача Лопань	57	27	16	32	49	19
3	р. Казенний Торець - смт Райське	45	40	15	37	45	18
4	р. Кривий Торець - смт Олексієво-Дружківка	31	48	21	29	54	17
5	р. Сухий Торець - смт Черкаське	60	29	11	54	32	13
6	р. Бахмут - м. Сіверськ	33	47	20	32	51	17
Середнє по групі постів		43	40	18	35	46	19

В маловодний рік найбільша частка стоку зафіксована для березня та квітня місяців, проте, на сучасному етапі (1991 – 2020 рр.) їх частка в річному розрізі істотно зменшилась (рис. 4.4).

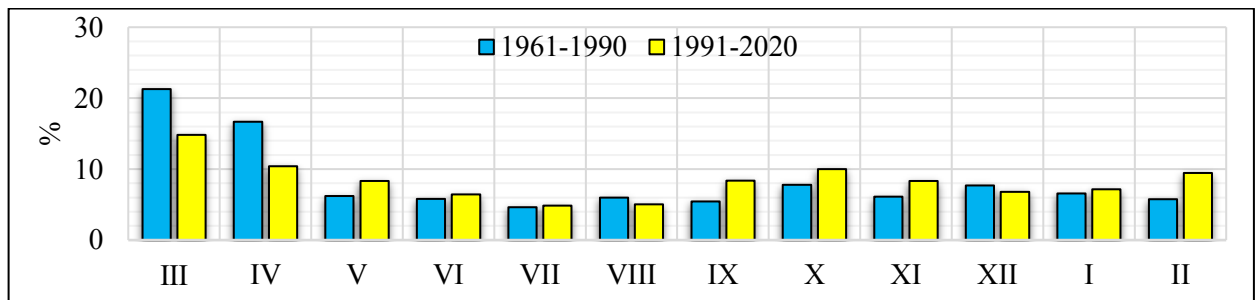
Так, для р. Сіверський Донець частка березня місяця зменшилась на 26 %, квітня – на 23 %, для його правих приток на 30 % та 22 %, відповідно. Найбільші зміни виявлено для лівих приток басейну, в річному розподілі частка березня місяця зменшилась на 30 %, а квітня – на 38 %. Несуттєво зменшилась також частка серпня (3 – 16%) та грудня (4 – 12%) місяців для лівих та правих приток, а для р. Сіверський Донець відмічається зменшення частки травня (6%) та лютого (5%) (рис. 4.4).

Аналізуючи сучасні зміни внутрішньорічного розподілу стоку зафіксовано збільшення частки об'ємів стоку червня, липня, вересня, жовтня, листопада та січня місяців.

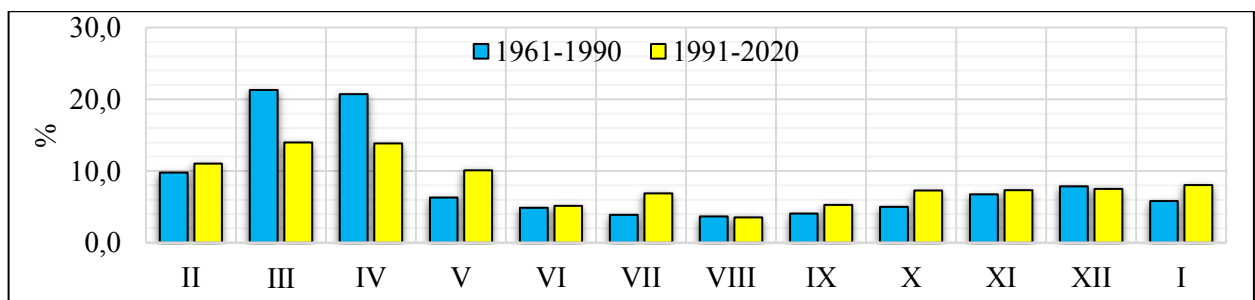
Для лівих, правих приток та, власне, самої р. Сіверський Донець найбільше збільшилась частка стоку осінніх місяців – вересня (35 %, 23% та 25%, відповідно) та жовтня (22 %, 31% та 27%, відповідно). Слід також відмітити значне зростання частки стоку лютого місяця (39%) в річному розподілі стоку лівих приток та липня (43%) - правих.



а) р. Сіверський Донець



б) ліві притоки



в) праві притоки

Рисунок 4.4. Внутрішньорічний розподіл стоку води річок басейну Сіверського Дінця по сезонам за характерні періоди (маловодний рік – 75%)

Стік по сезонам в рік 75% - забезпеченості також зазнав суттєвих переформувань під дією сучасних кліматичних змін. Частка періоду весняного водопілля для виділених груп річок зменшилась в діапазоні 23 – 36%. Збільшився стік літньо-осінньої та зимовою межені. Найбільш помітні зміни виявлено для літньо - осіннього сезону – збільшення від 14% до 28% в сучасний період (табл. 4.4). Через значну зарегульованість стоку, р. Сіверський Донець має більш рівномірний розподіл стоку протягом року, а отже, для неї зафіксовано менш виражені зміни, порівняно з правими та лівими притоками.

Таблиця 4.4. Внутрішньорічний розподіл стоку води річок басейну Сіверського Дінця по сезонам за характерні періоди (маловодний рік – 75%)

№ п/п	Річка - пост	Сезонний стік, %					
		весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень	весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень
		1961-1990 рр.			1991-2020 рр.		
р. Сіверський Донець							
1	р. Сіверський Донець - с. Огірцеве	35	43	23	22	50	28
2	р. Сіверський Донець - м. Чугуїв	33	46	21	23	51	26
3	р. Сіверський Донець - м. Зміїв	25	51	24	21	55	25
4	р. Сіверський Донець - м. Ізюм	26	48	25	24	50	25
5	р. Сіверський Донець - с. Стародубівка	37	39	24	26	53	21
6	р. Сіверський Донець - м. Лисичанськ	36	36	28	29	47	24
Середнє по групі постів		32	44	24	24	51	25
Ліві притоки							
1	р. Вовча - м. Вовчанськ	56	31	13	27	51	23
2	р. Оскіл - м. Куп'янськ	39	42	19	28	47	25
3	р. Жеребець - с. Торське	38	34	28	25	55	19
4	р. Красна - с. Червонопопівка	34	42	24	28	43	29
5	р. Айдар - смт Білолуцьк	42	34	25	25	50	24
6	р. Айдар - с.Новоселівка	38	34	28	25	55	19
Середнє по групі постів		41	36	23	26	50	23

Продовження таблиці 4.4.

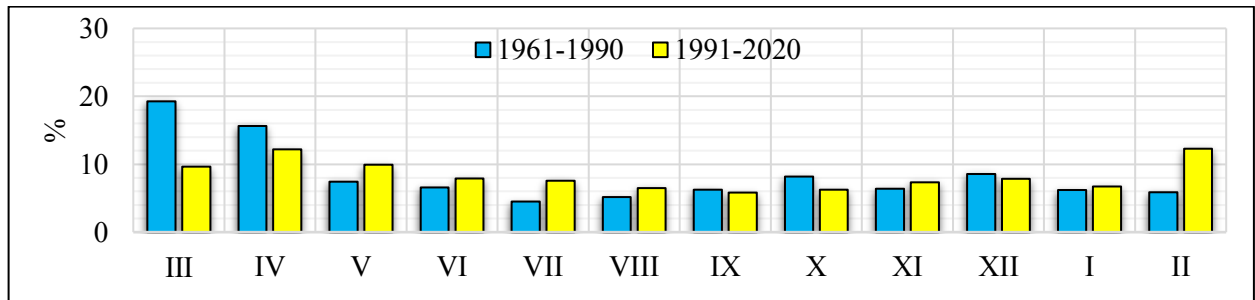
№ п/п	Річка - пост	Сезонний стік, %					
		весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень	весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень
		1961-1990 рр.			1991-2020 рр.		
Праві притоки							
1	р. Уди - смт Безлюдівка	38	40	22	29	46	24
2	р. Лопань - с.Козача Лопань	57	24	19	36	46	18
3	р. Казенний Торець - смт Райське	54	28	18	40	41	18
4	р. Кривий Торець - смт Олексієво-Дружківка	32	49	19	25	60	16
5	р. Сухий Торець - смт Черкаське	65	27	9	60	27	13
6	р. Бахмут - м. Сіверськ	43	44	14	32	50	18
Середнє по групі постів		48	35	17	37	45	18

Розподіл стоку по місяцях в дуже маловодний рік характеризується подібними до середнього за водністю та маловодного років – моделей особливостями змін у внутрішньорічному розподілі стоку (рис. 4.5). Проте для дуже маловодного року переформування під дією кліматичних змін та антропогенного навантаження виражені яскравіше в порівнянні з роками інших забезпеченостей.

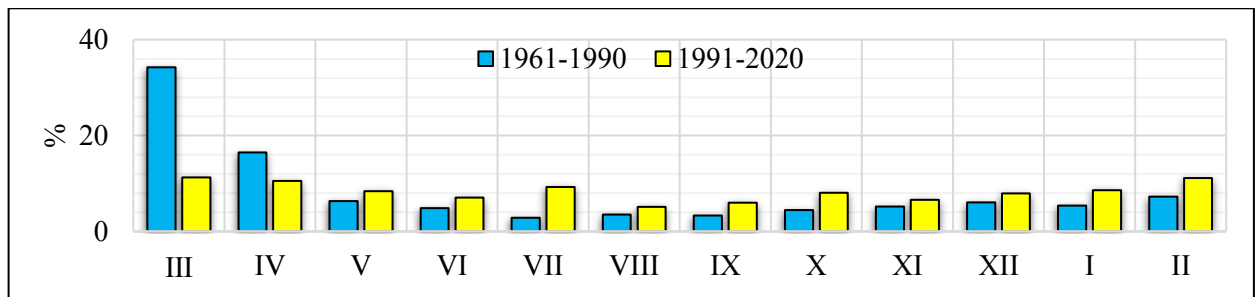
Частка стоку весняних місяців (березень та квітень) для року 95% - забезпеченості істотно зменшилась для лівих приток (березень – на 67%, квітень – на 36%) та правих приток (березень – на 34%, квітень - на 33%). Для гідрологічних постів, розташованих безпосередньо на р. Сіверський Донець частка стоку березня місяця зменшилась на 50%, а квітня на 22% (рис. 4.5).

В ході порівняння двох, обраних для дослідження, 30-ти річних періодів виявлено збільшення частки стоку літніх місяців (червень - серпень), а також травня та січня місяців для всіх трьох груп річок. В сучасний період для дуже маловодного року найбільші зміни зафіксовано для липня місяця, стік його збільшився для лівих приток на 69%, для правих - на 53%, для р. Сіверський Донець на 40%, порівняно з періодом кліматичної норми (1961 – 1990 рр.). Для річок лівобережжя та правобережжя збільшилась частка стоку січня місяця на

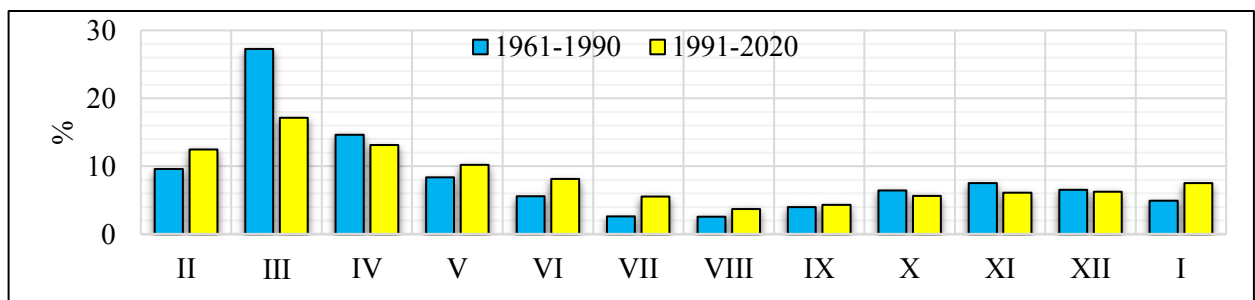
69% та 28% відповідно, що може бути викликано збільшенням кількості зимових паводків в сучасний період.



а) р. Сіверський Донець



б) ліві притоки



в) праві притоки

Рисунок 4.5. Внутрішньорічний розподіл стоку води річок басейну Сіверського Дінця по сезонам за характерні періоди (дуже маловодний рік – 95%)

Особливістю внутрішньорічного розподілу стоку у рік 95%-забезпеченості р. Сіверський Донець є збільшення стоку лютого на 52%. Частка стоку лютого, на сучасному етапі майже дорівнює частці стоку квітня, на який припадала одна з найбільших часток об'єму річного стоку. Наразі водопілля, порівняно з

періодом до початку сучасних кліматичних змін, досить невиражене, значно збільшилась частка меженних місяців. Для більшості постів в басейні збільшився стік зимового періоду [84].

Аналізуючи розподіл стоку дуже маловодного року можемо зробити висновок, що частка стоку, що проходить в період весняного водопілля істотно зменшилась, а частка літньо-осінньої та зимової межени збільшилась, порівняно з періодом до 1990 року. Найбільші зміни виявлено для лівих приток басейну, частка весняного водопілля зменшилась на 56%, а частка літньо-осінньої межени збільшилась на 35%. Зміни у внутрішньорічному розподілі стоку р. Сіверський Донець та її правих приток характеризуються подібними тенденціями, в порівнянні з лівими притоками, їх сучасні зміни виражені менш яскраво. Така ситуація може бути пов'язана з тим, що праві притоки та р. Сіверський Донець зазнають більшого антропогенного навантаження, внутрішньорічний перерозподіл стоку здійснюється системою водосховищ.

Характерним для внутрішньорічного розподілу стоку дуже маловодного року річок басейну Сіверського Дінця є значне зростання частки зимової межени. Так, в сучасний період для р. Сіверський Донець зафіксовано збільшення на 23%, для її лівих приток – на 29%, а для правих – на 22% (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. Внутрішньорічний розподіл стоку води річок басейну Сіверського Дінця по сезонам за характерні періоди (дуже маловодний рік – 95%)

№ п/п	Річка - пост	Сезонний стік, %					
		весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень	весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень
		1961-1990 рр.			1991-2020 рр.		
р. Сіверський Донець							
1	р. Сіверський Донець - с. Огірцеве	38	44	18	19	57	24
2	р. Сіверський Донець - м. Чугуїв	31	54	15	19	53	28
3	р. Сіверський Донець - м. Зміїв	25	51	24	23	48	28
4	р. Сіверський Донець - м. Ізюм	29	39	33	21	50	29

Продовження таблиці 4.5							
№ п/п	Річка - пост	Сезонний стік, %					
		весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень	весн. водоп.	літньо-осіння межень	зимова межень
		1961-1990 рр.			1991-2020 рр.		
5	р. Сіверський Донець - с. Стародубівка	41	42	17	24	50	26
6	р. Сіверський Донець - м. Лисичанськ	45	37	18	26	49	25
Середнє по групі постів		35	44	21	22	51	27
Ліві притоки							
1	р. Вовча - м. Вовчанськ	44	40	16	25	52	23
2	р. Оскіл - м. Куп'янськ	40	39	21	23	52	25
3	р. Жеребець - с. Торське	47	32	21	15	57	28
4	р. Красна - с. Червонопопівка	56	30	14	25	41	34
5	р. Айдар - смт Білолуцьк	45	24	31	21	45	34
6	р. Айдар - с. Новоселівка	47	32	21	15	57	28
Середнє по групі постів		47	33	20	21	51	29
Праві притоки							
1	р. Уди - смт Безлюдівка	38	40	22	28	47	24
2	р. Лопань - с. Козача Лопань	64	25	11	34	37	29
3	р. Казенний Торець - смт Райське	44	40	16	43	40	17
4	р. Кривий Торець - смт Олексієво-Дружківка	31	54	15	30	55	15
5	р. Сухий Торець - смт Черкаське	66	27	7	62	31	7
6	р. Бахмут - м. Сіверськ	42	45	13	31	54	16
Середнє по групі постів		47	39	14	38	44	18

Аналіз отриманих результатів дозволив виявити, що за своїм внутрішньорічним розподілом стоку ліві та праві притоки Сіверського Дінця мають певні відмінності, що обумовлено факторами підстильної поверхні та ступенем антропогенного навантаження. В наших роботах встановлено, що частка весняного стоку в річному розподілі річок лівобережжя басейну Сіверського Дінця істотно зменшилась в сучасний період, в той час як для правих приток басейну вона майже не змінилась [13].

Протягом останніх десятиліть зимовий та літньо – осінній стік річок басейну Сіверського Дінця характеризується збільшенням. Слід зазначити, що

поряд з відносними значеннями, зростають й абсолютні значення стокових характеристик виділених сезонів.

Висновки до розділу 4

1. За допомогою водно-балансового методу проведено оцінку та порівняння складових водного балансу для водозборів української частини басейну Сіверського Дінця за характерні періоди 1961-1990 та 1991-2020 рр. Середньорічна температура в басейні підвищилась на 1,0 - 1,2°C, що, в свою чергу спричинило збільшення величини сумарного випаровування на 6 – 9%. Річна сума опадів зросла несуттєво (0,5 - 2%), проте відбувся їх перерозподіл упродовж року.
2. Зміни складових водного балансу призвели до того, що середньорічний стік річок, загалом, зменшився і найбільш суттєвого зменшення у внутрішньорічному розрізі зазнав стік весняного водопілля. Яскраво вираженим є вплив антропогенних чинників на стік води з досліджуваних водозборів. Серед обраних для дослідження водозборів вплив господарської діяльності на стік особливо позначився для водозбору р. Уди – смт Безлюдівка з вищим рівнем антропогенного навантаження (зарегулювання стоку, скиди стічних вод). Стік води в створі цього гідрологічного поста є значно завищеним і не відповідає природньому просторовому розподілу шару стоку в межах річкового басейну. Також виявлено, що зменшення річного стоку в сучасний період для досліджуваних водозборів р. Уди відбулося неоднозначно – на 42% (смт Пересічна) та на 14% (смт Безлюдівка), тобто різниця в зменшенні стоку з досліджуваних водозборів становить 28% за рахунок скидів стічних вод в створі нижнього (за течією) поста.
3. Під дією сучасних змін клімату відбувся перерозподіл гідрометеорологічних характеристик протягом року. Внутрішньорічний

перерозподіл опадів та температури повітря (опосередковано, через випаровування) відображається в змінах характеристик річкового стоку.

4. Певні відмінності простежуються між лівими та правими притоками української частини басейну. Для річок лівобережжя, антропогенний вплив на які є меншим, зміни клімату призвели до суттєвого зростання стоку літньо-осінньої межені (28 – 38%). На правих притоках Сіверського Дінця, що протікають в межах індустріальної частини Донбасу, частка літньо-осіннього меженного стоку істотно не змінилася. Це пояснюється зменшенням обсягів водовідведення шахтних вод через скорочення обсягів промислового виробництва в регіоні, що певною мірою компенсувало природне зростання водності. Праві притоки характеризуються подібними до самої р. Сіверський Донець закономірностями внутрішньорічного розподілу стоку. Частка річного стоку, що припадає на зимовий період, збільшилась для всіх трьох виділених груп річок. Найбільші зміни виявлено у внутрішньорічному розподілі стоку дуже маловодного року – частка стоку зимової межені зросла 22 – 29% в порівнянні з періодом кліматичної норми.
5. На сучасному етапі (1991-2020 рр.) внутрішньорічний розподіл стоку річок української частини басейну Сіверського Дінця зазнав суттєвих змін: зменшився стік весняного водопілля та збільшився стік літньо-осінньої та зимової межені. Відбулося вирівнювання внутрішньорічного розподілу стоку. Наразі, у маловодні роки водопілля практично не виділяється на річному гідрографі стоку.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано та узагальнено існуючі підходи до оцінки впливу кліматичних змін на водний режим річок. За допомогою теоретичних методів синтезу та узагальнення інформації визначено, що репрезентативні висновки можна отримати шляхом комплексної оцінки результатів, які отримано найбільш вживаними методами, такими як гідролого-генетичний метод, методи математичної статистики, теорії ймовірності та водно – балансовий метод;
2. Сформовано вихідну базу даних гідрометеорологічних характеристик в межах української частини басейну Сіверського Дінця, з метою виявлення впливу сучасних кліматичних змін. Для дослідження обрано два тридцятирічні періоди: період кліматичної норми – 1961 – 1990 рр. та сучасний період – 1991 – 2020 рр. Виконано перевірку на однорідність вихідних даних спостережень за стоковими та кліматичними характеристиками. Встановлено, що за параметричним критерієм Стьюдента та за непараметричним критерієм Вількоксона однорідними є, відповідно, 78% та 85% рядів спостережень за середньорічними витратами води. Встановлена однорідність досліджуваних рядів річних сум опадів та середньорічних значень температури повітря за критерієм Фішера. Порушення однорідності рядів середньорічних витрат води виявлено за критерієм Фішера, а рядів середньорічних значень температури повітря та річних сум опадів за критеріями Стьюдента та Вількоксона. Оцінка отриманих результатів, з використанням гідролого-генетичного методу, показала відсутність відхилень у спрямуванні тренду річних сум опадів, проте, виявлено, що ряди середньорічних витрат води та середньої річної температури повітря в басейні Сіверського Дінця характеризуються зміною направленості тренду.
3. Проаналізовано умови формування стоку в межах басейну Сіверського Дінця. Відповідно до умов формування стоку в басейні виділено дві

частини – лівобережну (річки, що стікають з Середньоруської височини) та правобережну (річки, що стікають з Донецького кряжу), що обумовлено своєрідними фізико-географічними умовами. Особливістю української частини басейну Сіверського Дінця є високий рівень водогосподарського використання. Річкових стік істотно зарегульовано системою водосховищ, ставків та каналів, що акумулюють водні ресурси для забезпечення потреб населення та промисловості. Раціональне управління водними ресурсами басейну, наразі, значно ускладнюється через бойові дії в регіоні.

4. Оцінено, за допомогою різницевих інтегральних кривих, багаторічні коливання стоку в басейні Сіверського Дінця за обраний період спостережень. Виявлено відмінності в коливаннях характеристик стоку лівих та правих приток р. Сіверський Донець, що пов'язано зі різними фізико-географічними умовами та антропогенним навантаженням в окремих частинах басейну. Річки правобережжя та, власне, сама р. Сіверський Донець, характеризуються вищим рівнем господарської діяльності. Гідрологічний режим річок басейну суттєво порушується впливом водосховищ, найбільше - Оскільського та Печенізького, а також перекиданнями стоку каналами Дніпро-Сіверський Донець та Сіверський Донець-Донбас. Встановлено, що сучасний період характеризується тенденцією до зниження величин стокових характеристик.
5. Встановлено закономірності багаторічної мінливості середнього річного стоку води річок басейну Сіверського Дінця. Ідентифікована циклічна складова, встановлена тривалість циклів водності та, в їх межах, маловодних і багатоводних фаз. Виділено фази водності (багатоводні та маловодні) з прив'язкою до конкретних років. Спільне використання автокореляційного та спектрального аналізу дозволило виділити для річок басейну Сіверського Дінця взаємо підтвержені цикли водності тривалістю 19-24 роки. За критерієм серій встановлено, що тривалість періодів маловодних років можуть скласти 9 ± 2 роки, а багатоводних - 10 ± 2 . Використовуючи виявлені стохастичні закономірності за

історичними даними, виконано прогностні оцінки стоку на найближчу перспективу. Прогностні оцінки показали, що до 2021±2 р. на річках басейну, ймовірно, буде спостерігатись маловодна фаза водності, яка почалася у 2008 р. З 2021±2 по 2030±2 рр. передбачається багатоводна фаза, потім в період 2031±2 - 2039±2 рр. – маловодна. У період з 2040±2 по 2049±2 рр., ймовірно, слід очікувати підвищення водності на річках басейну Сіверського Дінця.

6. За допомогою водно-балансового методу проведено оцінку та порівняння складових водного балансу для водозборів української частини басейну Сіверського Дінця за характерні періоди 1961-1990 та 1991-2020 рр. Середньорічна температура в басейні підвищилась на 1,0 - 1,2 °С, що, в свою чергу спричинило збільшення величини сумарного випаровування на 6 – 9%. Річна сума опадів зросла несуттєво (0,5 - 2%), проте відбувся їх перерозподіл упродовж року: незначне збільшення в червні та вересні – 2-7%; суттєвіше зростання виявлено для березня, травня та жовтня - 24-30%; сума опадів за січень, липень та листопад зменшилась на 3-8%; більш виражене зменшення величини атмосферних опадів відмічається в грудні, квітні та серпні – 11-25%.
7. Зміни кліматичних складових водного балансу призвели до того, що середньорічний стік річок, загалом, зменшився. Сучасний внутрішньорічний розподіл стоку річок басейну Сіверського Дінця в межах України характеризується: зменшенням об'єму стоку весняного водопілля (на 17-56%), що пов'язано з підвищенням температури повітря в період формування снігозапасів та зменшенням кількості опадів взимку (у маловодні роки водопілля практично не виділяється на річному гідрографі стоку); збільшенням стоку літньо-осінньої та зимової межени (збільшення в діапазоні 2-29% - зимова межень та 13-35% - літньо-осіння межень) від об'єму річного стоку, порівняно з періодом кліматичної норми. Відбулося вирівнювання внутрішньорічного розподілу стоку.

Певні відмінності у змінах внутрішньорічного розподілу стоку простежуються між лівими та правими притоками Сіверського Дінця.

8. Яскраво вираженим в окремих частинах басейну є вплив антропогенних чинників на стік води. Серед обраних для дослідження водозборів вплив господарської діяльності на стік особливо позначився для водозбору р. Уди – смт Безлюдівка з вищим рівнем антропогенного навантаження (зарегулювання стоку, скиди стічних вод м. Харків). Стік води в створі цього гідрологічного поста є значно завищеним і не відповідає природньому просторовому розподілу шару стоку в межах річкового басейну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України : резюме дослідження / під ред. С.С. Садогурської. Київ : «Екодія», 2021. 32 с.
2. Архипова Л. М., Пернеровська С. В. Прогноз гідрологічних параметрів водних об'єктів методом сингулярного спектрального аналізу. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2015. № 2. С. 45-50.
3. Бабаєва О.В. Річний стік в басейні Сіверського Донця : автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07. Одеса, 2009. 20 с.
4. Балабух В.А. Региональное проявление глобального изменения климата в бассейне р. Днестр. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. 2012. № 2(27). С. 117 – 129.
5. Балабух В.О., Лук'янець О.І. Зміна клімату та його наслідки у Рахівському районі Закарпатської області. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2015. № 2(37). С. 132-148.
6. Батурінець А.Г., Антоненко С.В. Ідентифікація складових часового ряду гідрологічних даних. *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*. 2018. Том 22. С. 16 – 29.
7. Ботьбот Г.В. Оцінка багаторічних коливань максимальних витрат води річок басейну Сіверського Дінця. Матеріали III-го всеукраїнського пленера з питань природничих наук, м. Одеса, 20 – 22 червня 2019 р. Одеса: ОДЕКУ, 2019. С. 13-15.
8. Ботьбот Г.В. Оцінка багаторічних коливань мінімальних витрат води річок басейну Сіверського Дінця. *Рельєф, клімат та поверхневі води як об'єкти природничо-географічних досліджень (до 70-річчя кафедр землезнавства та геоморфології, метеорології та кліматології, гідрології та гідроекології)*: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*: періодичний науковий збірник. № 3 (54), м. Київ, 2-4 жовтня 2019 р. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2019. С. 31-33.

9. Ботьбот Г.В., Гребінь В.В. Аналіз сучасних тенденцій у коливаннях мінімального стоку річок басейну Сіверського Дінця. *Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів*: Збірник матеріалів VIII з'їзду Гідроекологічного товариства України, присвяченого 110-річчю заснування Дніпровської біологічної станції, м. Київ, 6 - 8 листопада 2019 р. Київ, 2019. С. 240-242.
10. Ботьбот Г.В., Гребінь В.В. Вплив кліматичних змін на складові водного балансу басейну Сіверського Дінця у періоди низької водності. *Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд*: тези доповідей, м. Одеса, 7-9 жовтня 2021 р. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 39-40.
11. Ботьбот Г.В., Лук'янець О.І., Гребінь В.В. Структура часових рядів річного стоку води річок басейну Сіверського Дінця на основі стохастичного аналізу його багаторічних коливань. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 4(62). С. 18-34. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.4.2>.
12. Ботьбот, Г.В., Гребінь, В.В. Аналітичний огляд досліджень впливу змін клімату на стік води річок. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 4(55). С. 64-73. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.5>.
13. Ботьбот, Г.В., Гребінь, В.В. Сучасна трансформація сезонного розподілу стоку води річок басейну Сіверського Дінця. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. № 3(58). С. 48-58. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.5>.
14. Василенко Є.В. Характеристики весняного водопілля правобережних приток р. Прип'ять в сучасних кліматичних умовах : автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07. Київ, 2012. 20 с.
15. Вижда З.О. Статистичне моделювання в геології : навч. посібник. Київ : електронне видання, 2019. 395 с.
16. Вишневський В.І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний та льодовий режим річок. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2002. Вип. 250. С. 190-201.

17. Вишневецький В.І. Зміни клімату і річкового стоку на території України і Білорусі. *Наук.праці УкрНДГМІ*. 2001. Вип. 249. С. 89-105.
18. Вишневецький В.І. Про зміни клімату і стоку річок в Україні. *Меліорація і водне господарство*. 1996. Вип. 83. С. 72-81.
19. Вишневецький В.І. Річки і водойми України. Стан і використання : монографія. Київ: Віпол, 2000. 376 с.
20. Вишневецький В.І., Куций А.В. Багаторічні зміни водного режиму річок України : монографія. Київ, 2022. 252 с.
21. Водний фонд України: Штучні водойми - водосховища і ставки : довідник / Гребінь В.В., Хільчевський В. К., Сташук В.А., Чунарьов О.В., Ярошевич О.Є. Київ : Інтер-прес ЛТД, 2014. 164 с.
22. Гидрологические и водно-балансовые расчеты / под ред. Н.Г. Галущенко. Киев: Вища школа, 1987. 247 с.
23. Гідрологічні розрахунки для річок України : монографія / за ред. Г.І. Швеця. Київ : АН УРСР, 1962. 386 с.
24. Гідролого-гідрохімічні характеристики річок Житомирського Полісся в умовах глобального потепління : монографія. Житомир : Волинь, 2017. 239 с.
25. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального. *Гидробиологический журнал*. 2000. Т. 36. № 3. С. 67–78.
26. Гопченко Є.Д., Діденко Г.В., Довгич М.І. Особливості багаторічної мінливості річного стоку деяких річок України. *Наук.праці УкрНДГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 223-232.
27. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки : підручник. Одеса : ТЕС, 2014. 484 с.
28. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакірзанова Ж.Р. Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Прип'ять. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. № 3(20). С. 50 – 59.

29. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакірзанова Ж.Р. Зміни гідрометеорологічних характеристик весняного водопілля на рівнинних річках України. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. Т. 10. С. 133-142.
30. Горбачова Л., Христюк Б., Заболотня Т. та ін. Встановлення просторово-часових тенденцій та статистичних характеристик середньорічного стоку води та його внутрішньорічного розподілу і випаровування з водної поверхні в басейні р. Сіверський Донець : звіт про НДР. Київ: Український гідрометеорологічний інститут, 2021. 77 с.
31. Горбачова Л.О. Оцінка можливих майбутніх змін водного стоку річок України (на середину ХХІ століття). *Культура народів Причорномор'я*. 2014. № 267. С.89-94.
32. Горбачова Л.О. Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України. *Український географічний журнал*. 2015. № 3. С. 16-23.
33. Гребень В.В. Современные особенности внутригодового распределения стока рек Украины. *Глобальне и региональные изменения климата*. 2011. С. 391-401.
34. Гребінь В. В. Бойко В. М., Адаменко Т. І. Гідрологічна посуха 2015 року в Україні: чинники формування, перебіг та можливі наслідки. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2015. Т. 3. С. 44-54.
35. Гребінь В.В. Оцінка сучасних змін стоку річок басейну Дніпра (в межах України). *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2008. Вип. 50. Ч. 2. С. 108-113.
36. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) : монографія. Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
37. Гребінь В.В., Хільчевський В.К., Андрела С.П. Розробка рекомендацій розрахунку водогосподарського балансу (на прикладі району річкового басейну Сіверського Дінця) : звіт про НДР. Київ: КНУ ім.Тараса Шевченка, 2015. 112 с.

38. Державне агентство водних ресурсів України : офіційний вебсайт // Державний облік водокористування. URL: <https://www.davr.gov.ua/derzhavnij-oblik-vodokoristuvannya> (дата звернення: 17.12.2021).
39. Державний водний кадастр. Розділ 1. Поверхневі води. Серія 3. Багаторічні дані. Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші (за 2011 – 2015 рр. та весь період спостережень). Частина 1. Річки і канали. Випуск 3. Басейни Сіверського Дінця, річок Приазов'я : довідкове видання. Київ, 2017. 162 с.
40. Дубняк С.С. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Річковий стік та гідрологічні розрахунки» для студентів географічного факультету : навч. посіб. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2006. 37 с.
41. Железняк Й.А. Внутрішньорічний розподіл стоку річок України. Київ : АН УРСР, 1959. 136 с.
42. Железняк И.А., Подольская И.Я. Внутригодовое распределение стока малых рек Украины и Молдавии. *Тр. УкрНИГМИ*. 1982. Вып. 190. С. 91-102.
43. Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України : кліматологічний довідник / за ред. О. Косовця та Н. Швень. Київ, 2011. 461 с.
44. Киреева М.Б. Водный режим рек бассейна Дона в условиях меняющегося климата : автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27. Москва, 2013. 30 с.
45. Кіндюк Б.В. Гідрографічна мережа та зливовий стік річок Українських Карпат : автореф. дис. ... д-ра. геогр. наук: 11.00.07. Київ, 2004. 30 с.
46. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, 2003. 344 с.
47. Корнилов А.Г., Лебедева М.Г., Решетников В.С. Тренды изменения годового и сезонного стока р. Северский Донец за период

- инструментальных гидрологических наблюдений (на территории Белгородской области). *Научные ведомости, серия Естественные науки*. 2017. Выпуск 38. С.133-140.
48. Крайнюков, О. М. Сучасний екологічний стан водних об'єктів басейну річки Сіверський Донець. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2015. № 3-4(24). С. 71-77.
49. Купріков І. Вплив клімату на внутрірічний хід річкового стоку та атмосферних опадів в Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. 2009. Вип. 56. С. 25–28.
50. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами. *Україна: географічні проблеми сталого розвитку*: Зб. наук. пр. Укр. географ. тов. 2004. Т. 3. С. 144-146.
51. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках : навч. посібник. Одеса : Екологія, 2006.194 с.
52. Лобода Н.С., Мельник С.В. Многолетняя изменчивость климата и водного режима рек Подолии. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. № 5. С. 184-191.
53. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В). *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. С.149-159.
54. Лук'янець О.І. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Математичні методи в гідрометеорології» для студентів географічного факультету : навч. посіб. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2010. 60с.
55. Лук'янець О.І., Гребінь В.В. Часова динаміка водно-балансових складових в басейні р. Псел. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 1(59). С. 28-36. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.3>.
56. Лук'янець О.І., Камінська Т.П. Закономірності та просторова синхронність багаторічних циклічних коливань водного стоку річок

- Українських Карпат. *Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наукових праць*. 2015. Вип. 744–745: Географія. С. 18-24.
57. Лук'янець О.І., Ободовський О.Г., Гребінь В.В., Почаєвець О.О., Корнієнко В.О. Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України. *Український географічний журнал*. 2021. N1. С. 06-14. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>.
58. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу / В.В. Гребінь, В.Б. Мокін, В.А. Сташук, В.К. Хільчевський, М.В. Яцюк, О.В. Чунар'юв, Є.М. Крижановський, В.С. Бабчук, О.Є. Ярошевич. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2013. 55 с.
59. Ободовський О. Г., Данько К. Ю., Почаєвець О.О. та ін. Гідроекологічна оцінка енергетичного потенціалу річок басейну Дніпра (в межах України) в умовах змін клімату : звіт про НДР. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2017. 291 с.
60. Ободовський О. Г., Розлач З. В., Онищук В. В. та ін. Гідроекологічна оцінка і прогноз енергетичного потенціалу річок Українських Карпат : звіт про НДР. Київ: Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2015. 224 с.
61. Ободовський О. Г., Сніжко С. І., Гребінь В.В. та ін. Гідроекологічна оцінка енергетичного потенціалу річок України в умовах кліматичних змін: звіт про НДР. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2018. 194 с.
62. Про виділення суббасейнів та водогосподарських ділянок у межах встановлених районів річкових басейнів : Додаток до наказу Міністерства екології та природних ресурсів України від 26.01.2017 р. № 25. Назви суббасейнів та водогосподарських ділянок у межах районів річкових басейнів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0208-17> (дата звернення: 28.11.2022).
63. Проведення просторового аналізу змін водного режиму басейнів поверхневих водних об'єктів на території України внаслідок зміни

- клімату : звіт про НДР / Український гідрометеорологічний інститут. Київ, 2013. 228 с.
64. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6 : Украина и Молдавия. Вып.3. Бассейн Северского Донца и реки Приазовья / под ред. М.С. Каганера. Л. : Гидрометеиздат, 1967. 492 с.
65. Сіверський Донець: Водний та екологічний атлас / О. Г. Васенко, А. В. Гриценко, Г. О. Карабаш, П. П. Станкевич та ін. ; за ред. А. В. Гриценко, О. Г. Васенко. Харків: ВД «Райдер», 2006. 188 с.
66. Сіверсько-Донецьке басейнове управління водних ресурсів. Державне агентство водних ресурсів України : офіційний вебсайт. Діяльність: Управління водними ресурсами. URL: <https://sdbuvr.gov.ua/diyalnist/upravlinnya-vodnimi-resursami> (дата звернення: 28.11.2022).
67. Соседко М.Н. Исследование циклических колебаний дождевого стока в бассейне Днестра. *Тр. УкрНИГМИ*. 1974. Вып.127. С.16-37.
68. Степанян С.В. Закономірності та екологічне значення гідрологічних та гідрохімічних характеристик басейну р. Сіверського Дінця : автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07. Київ, 1999. 16 с.
69. Сусідко М. М., Лук'янець О. І. Багаторічні коливання водності в Україні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т.4 (21). С. 34–40.
70. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Можливості оцінювання річкового стоку в Карпатах на найближчі роки з урахуванням його багаторічних коливань. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 1998. Вип.246. С.46-55.
71. Ухань О.О. Особливості формування хімічного складу та якості поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець : дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07. Київ, 2013. 207 с.
72. Хільчевський В. К. Сіверський Донець // Велика українська енциклопедія. URL: https://vue.gov.ua/Сіверський_Донець (дата звернення: 20.01.2022).

73. Христофоров А.В. Теория случайных процессов в гидрологии. Москва : Изд-во МГУ, 1994. 140 с.
74. Чорноморець Ю. О., Гребінь В. В. Внутрішньорічний розподіл окремих елементів водного балансу річок басейну Десни (в межах України) та їх багаторічні коливання. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т. 18. С. 98-106.
75. Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І. Вплив сучасних змін у співвідношенні сніго-дощового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 4(55). С. 40-52. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.3>.
76. Bates, B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S. and Palutikof J.P. Climate Change and Water : Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat. Geneva, 2008. P. 210.
77. Blöschl G., Hall J., Parajka J., et al. Changing climate shifts timing of European floods. *Science (New York, N.Y.)*. 2017. Vol 357. Issue 6351. P. 588-590. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.
78. Bolbot H., Grebin V. Comparative analysis of the annual runoff distribution of the left-bank and right-bank tributaries of the Siverskyi Donets River Basin. *19th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2020: Conference Proceedings, Volume 2020*, Kyiv, Ukraine, 11–14 May 2020. Kyiv, 2020. P.1 - 5 DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo116>.
79. Bolbot H., Grebin V. Long-term dynamics and current trends in fluctuations of the flow characteristics of the Siverskyi Donets River Basin. *13th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2019: Conference Proceedings. Volume 2019*, Kyiv, Ukraine, 12–15 November 2019. Kyiv, 2019. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903229>.

80. Bolbot H., Grebin V., Obodovskyi O. and Snizhko S. Water budget elements of the Siverskyi Donets River Basin in different water runoff periods. *XXth International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2021: Conference Proceedings, Volume 2021, Kyiv, Ukraine, 10-14 May 2021. Kyiv, 2021. P. 1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521135>.*
81. Bolbot H., Grebin V., Osadchyi V. Assessment of perennial fluctuations of average annual water discharges of the Siverskyi Donets River Basin. *XXVIII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management: BOOK OF ABSTRACTS, Kyiv, Ukraine, 6-8 November, 2019. Kyiv, 2019. P. 22.*
82. Bolbot H., Lukianets O., Grebin V., Kosteckyi A. Analysis of long-term annual water runoff variability of the Desna River. *XV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*: Conference Proceedings, Volume 2021, Kyiv, Ukraine, 17–19 November 2021. Kyiv, 2021. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2073>.
83. Bolbot H., Lukianets O., Grebin V., Lobodzinskyi O. The anthropogenic factors influence on the water balance of the Udy catchments (The Siverskyi Donets Sub-Basin). *XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, Monitoring 2022: Conference Proceedings, Volume 2022, Kyiv, Ukraine, 15–18 November 2022. Kyiv, 2022. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580119>.*
84. Bolbot, H. and Grebin, V. Estimation of the annual runoff distribution of the Siverskyi Donets River Basin in the period of current climate change. *EGU General Assembly 2020: Online, EGU2020-7932, Vienna, Austria, 4–8 May 2020. Vienna, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-7932>.*
85. Bolbot, H. and Grebin, V. The «rainfall-runoff» system and its long-term fluctuations in the Siverskyi Donets River Basin (Ukraine). *EGU General*

- Assembly 2021*: Online, EGU21-1335019–30, Vienna, Austria, 19–30 April 2021. Vienna, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13350>.
86. Bolbot, H. and Grebin, V. The structure of the water budget of the Udy River (Ukraine) under the influence of present climate change. *EGU General Assembly 2022*: Online, EGU22-11365, Vienna, Austria, 23–27 May 2022. Vienna, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-11365>.
87. Brazdil R. Climatic Change in the Historical and the Instrumental Periods. *Climatic changes in the instrumental period in central Europe*. Brno : Masaryk University, 1990. P. 223–230.
88. Brockwell P.J., Davis R.A. Introduction to Time Series and Forecasting. Second Edition. New York : Springer-Verlag, 2002. 434 p.
89. Broomhead, D.S., King, G.P. Extracting qualitative dynamics from experimental data. *Physica D: Nonlinear Phenomena*. 1986. Volume 20. Issues 2–3. P. 217–236. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(86\)90031-X](https://doi.org/10.1016/0167-2789(86)90031-X).
90. Chang J., Wang Y., Istanbuluoglu E., et al. Impact of climate change and human activities on runoff in the Weihe River Basin, China. *Quaternary International*. 2015. Volumes 380–381. P. 169-179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.03.048>.
91. CLIMAT and CLIMAT TEMP Reporting : Handbook / World Meteorological Organization (WMO). Geneva, 2009. P. 115. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9253 (last accessed: 21.01.2020).
92. Climate Change 2013: The Physical Science Basis / Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Geneva, 2013. P. 203. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf. (last accessed: 21.01.2020).
93. Climate Change 2021: The Physical Science Basis / Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Geneva, 2021. P. 2391. URL: https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf. (last accessed: 26.09.2022).

94. Climatological Practices : Guide / World Meteorological Organization (WMO). Geneva, 2018. P. 139. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5541 (last accessed: 21.01.2020).
95. Dai, A., et al. Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004. *Journal of Climate*. 2009. Volume 22. Issue 10. P. 2773–2792. DOI: <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2592.1>.
96. de Wit, M.J.M., van den Hurk, B., Warmerdam, P.M.M. et al. Impact of climate change on low-flows in the river Meuse. *Climatic Change*. 2007. Volume 82. P. 351–372. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9195-2>.
97. Didovets Iu., Krysanova V., Bürger G., et al. Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2019. Volume 22. P. 1 – 14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.01.002>.
98. Didovets Iu., Krysanova V., Hattermann F. F., et al. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2020. Volume 32. P. 1 – 13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100761>.
99. Didovets, I., Lobanova, A., Bronstert, A., et al. Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources in Three Representative Ukrainian Catchments Using Eco-Hydrological Modelling. *Water*. 2017. Volume 9. Issue 3. P. 1 - 18. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9030204>.
100. Estrela T., Pérez-Martin M.A. & Vargas E. Impacts of climate change on water resources in Spain. *Hydrological Sciences Journal*. 2012. Volume 57. Issue 6. P. 1154-1167. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.702213>.
101. Fiala, T. Statistical characteristics and trends of mean annual and monthly discharges of Czech Rivers in the period 1961–2005. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2008. Volume 56. Issue 2. P. 133–140.
102. Fischer, S., Pluntke, T., Pavlik, D. et al. Hydrologic effects of climate change in a sub-basin of the Western Bug River, Western Ukraine. *Environmental*

- Earth Sciences*. 2014. Volume 72. Issue 12. P. 4727-4744. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3256-z>.
103. Flood Regime of Rivers in the Danube River Basin : Hydrological Monograph. Follow-up volume IX of the Regional Co-operation of the Danube Countries in IHP UNESCO / eds. Pekárová, P., Miklánek, P. Bratislava : IH SAS, 2019. P. 215. DOI: <https://doi.org/10.31577/2019.9788089139460>.
104. Golyandina, N., Zhigljavsky, A. Singular spectrum analysis for time series. Heidelberg : Springer, 2013. P.120. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-34913-3>.
105. Gudmundsson, L., et al. Low-frequency variability of European runoff. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2011. Volume 15. Issue 9. P. 2853–2869. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-15-2853-2011>.
106. Hanel, M., Vizina, A., Máca, P., & Pavlásek, J. A Multi-Model Assessment of Climate Change Impact on Hydrological Regime in the Czech Republic. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2012. Volume 60. Issue 3. P. 152-161. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10098-012-0013-4>.
107. Hannaford, J., et al., 2011. Decadal-scale river flow variability in Europe: evidence from long hydrometric record spanning 1900–2004. *EGU General Assembly 2011. Geophysical Research Abstracts*: Online, EGU201112053, Vienna, Austria, 3 - 8 April 2011. Vienna, 2011. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-12053.pdf> (last accessed: 18.06.2019).
108. Hassani, H. Singular Spectrum Analysis: Methodology and Comparison. *Journal of Data Science*. 2007. Volume 5. Issue 2. P. 239-257. DOI: [https://doi.org/10.6339/JDS.2007.05\(2\).396](https://doi.org/10.6339/JDS.2007.05(2).396).
109. Ilnicki P., Farat R., Górecki K. & Lewandowski P. Impact of climatic change on river discharge in the driest region of Poland. *Hydrological Sciences Journal*. 2014. Volume 59. Issue 6. P. 1117-1134. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2013.831979>.

110. Khilchevskiy V. K., Grebin V. V., H. V. Bolbot. River basins districts of Ukraine – comparison with the map of Russia's armed aggression (summer 2022). *XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*, *Monitoring 2022: Conference Proceedings*, Volume 2022, Kyiv, Ukraine, 15–18 November 2022. Kyiv, 2022. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580017>.
111. Khilchevskiy V., Grebin V., Dubniak S., et al. Large and small reservoirs of Ukraine. *Journal of Water and Land Development*. 2022. № 52 (I–III). P. 101–107. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2022.140379>.
112. Khilchevskiy V., Grebin V., Zabokrytska M., Zhovnir V., Bolbot H., Plichko L. Hydrographic characteristic of ponds distribution in Ukraine – Basin and regional features. *Journal of Water and Land Development*. 2020. № 46 (VII–IX). P. 140–145. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.134206>.
113. Kumar N., Tischbein B., Kusche J., et al. Impact of climate change on water resources of upper Kharun catchment in Chhattisgarh, India. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2017. Volume 13. P. 189-207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.008>.
114. Labat D., et al. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources*. 2004. Volume 27. P. 631–642. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(04\)00047-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(04)00047-8).
115. Lobanova, A., Stagl, J., Vetter, T., Hattermann, F. Discharge Alterations of the Mures River, Romania under Ensembles of Future Climate Projections and Sequential Threats to Aquatic Ecosystem by the End of the Century. *Water*. 2015. Volume 7. Issue 6. P. 2753-2770. DOI: <https://doi.org/10.3390/w7062753>.
116. Lohre M., Sibbertsen P., Konnig T. Modeling water flow of the Rhine River using seasonal long memory. *Water Resources Research*. 2003. Volume 39. Issue 5. P. 1 - 7. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002WR001697>.

117. Management of Water Resources and Applications of Hydrological Practices : Guide to Hydrological Practices. Volume II / World Meteorological Organization (WMO). Geneva, 2009. P. 302. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=222 (last accessed: 26.09.2022).
118. Marques C.A.F., Ferreira J.A., Rocha A., et al. Singular spectrum analysis and forecasting of hydrological time series. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2006. Volume 31. Issue 18. P. 1172-1179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.02.061>.
119. Miklanek, P. and Pekárová, P. Long-term Runoff Changes In Region of Slovakia. *International Conference on Water Observation and Information System for Decision Support BALWOIS : FP online*. 2004. P. 1 – 9. URL: https://balwois.com/wp-content/uploads/old_proc/ffp-1o-167.pdf (last accessed: 13.04.2021).
120. 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. Volume 234, Issues 1–2. P. 95-109. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00244-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00244-4).
121. Moses O., Hambira WL. Effects of climate change on evapotranspiration over the Okavango Delta water resources. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2018. Volume 105. P. 98-103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.03.011>.
122. Moskalenko S. O., Malytska L. V. Spatial correlation function of the mean annual water runoff of the river of Ukraine. *19th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2020: Conference Proceedings, Volume 2020, Kyiv, Ukraine, 11–14 May 2020*. Kyiv, 2020. P.1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo119>.
123. Nilawar A.P., Waikar M.L. Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river

- basin, India. *Science of The Total Environment*. 2019. Volume 650. Part 2. P. 2685-2696.
124. Obodovskyi O., Lukianets O. Patterns and Forecast of Long-term Cyclical Fluctuations of the Water Runoff of Ukrainian Carpathians Rivers. *Scientific Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 2017. Volume 73. №.1. P. 33 - 47. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.erem.73.1.15799>.
125. Orlando B. Climate change and water adaptation issues : The European Environment Agency, EEA Technical Report № 2/2007. Copenhagen : EEA, 2007. P. 110. URL: https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_2/file.
126. Osypov V., Osadcha N., Hlotka D., Osadchyi V., & Nabyvanets, J. The Desna River Daily Multi-Site Streamflow Modeling Using SWAT with Detail Snowmelt Adjustment. *Journal of Geography and Geology*. 2018. Volume 10. №3. P. 92-110. DOI: <https://doi.org/10.5539/jgg.v10n3p92>.
127. Pekarova P, Miklanek P, Pekar J. Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th–20th centuries. *Journal of Hydrology*. 2003. Volume 274. Issues 1 - 4. P. 62–79. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00397-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00397-9).
128. Pekarova P. and Pekar J. Long-term discharge prediction for the Turnu Severin station (the Danube) using a linear autoregressive model. *Hydrological Processes*. 2006. Volume 20. Issue 5. P. 1217–1228. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.5939>.
129. Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A. et al. European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*. 2004. Volume 22. P. 13–31. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0365-x>.
130. Rao AR, Hamed K. Multi-taper method of analysis of periodicities in hydrologic data. *Journal of Hydrology*. 2003. Volume 279. Issue 1. P. 125–143. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00176-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00176-8).

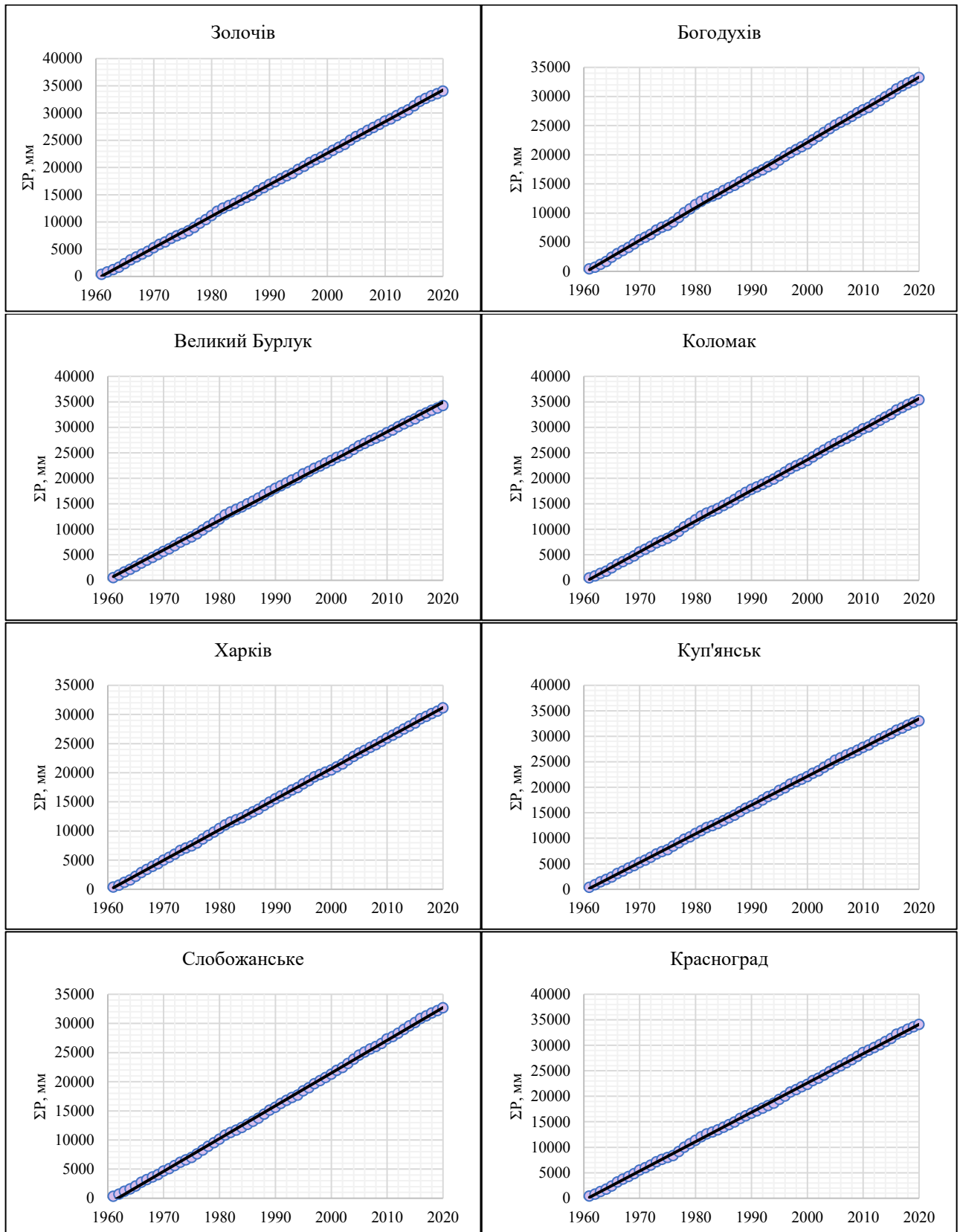
131. Reshmidevi, T. V., Nagesh Kumar, D. Mehrotra, R. Sharma, A. Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs. *Journal of Hydrology*. 2018. Volume 556. P. 1192-1204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.016>.
132. Rimbu, N., et al. Decadal variability of the Danube river flow in the lower basin and its relation with the North Atlantic Oscillation. *International Journal of Climatology*. 2002. Volume 22. Issue 10. P. 1169–1179. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.788>.
133. Šarauskienė D., Akstinas V., Kriaučiūnienė J., et al. Projection of Lithuanian river runoff, temperature and their extremes under climate change. *Hydrology Research*. 2018. Volume 49. Issue 2. P. 344–362. DOI: <https://doi.org/10.2166/nh.2017.007>.
134. Schneider, C., Laize, C.L.R., Acreman, M.C., Florke, M. How will climate change modify river flow regimes in Europe? *Hydrology and Earth System Sciences*. 2013. Volume 17. Issue 1. P. 325-339. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-17-325-2013>.
135. Sen, A.K. and Niedzielski, T. Statistical characteristics of riverflow variability in the Odra River Basin, Southwestern Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2010. Volume 19. Issue 2. P. 387–397.
136. Seventeenth World Meteorological Congress : Abridged final report with resolutions / World Meteorological Organization (WMO). Geneva, 2015. P. 695. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3138 (last accessed: 26.09.2022).
137. Shen, Y., Peng, F., and Li, B. Improved singular spectrum analysis for time series with missing data. *Nonlin. Processes Geophys.* 2015. Volume 22. Issue 4. P. 371–376. DOI: <https://doi.org/10.5194/npg-22-371-2015>.
138. Sipos G., Blanka V., Mezösi G., et al. Effect of Climate Change on the Hydrological Character of River Maros, Hungary-Romania. *Journal of Environmental Geography*. 2014. Volume 7. Issues 1 - 2. P. 49 – 56. DOI: <https://doi.org/10.2478/jengeo-2014-0006>.

139. Snizhko S., Yatsyuk M., Kuprikov I., et. al. Estimation of Possible Changes in Local Water Resources in Ukraine in the 21st Century. *Water management of Ukraine*. 2012. Volume 6 (102). P. 8 - 16.
140. Solanki S.K., Usoskin I.G., Kromer B., Schussler M., Beer J. Unusual activity of the sun during recent decades compared to the previous 11 000 years. *Nature*. 2004. Volume 431. P. 1084–1087. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature02995>.
141. Stagl, J.C., Hattermann, F.F. Impacts of Climate Change on the Hydrological Regime of the Danube River and Its Tributaries Using an Ensemble of Climate Scenarios. *Water*. 2015. Volume 7. Issue 11. P. 6139-6172. DOI: <https://doi.org/10.3390/w7116139>.
142. Technical Regulations : Basic Documents №2. Volume I – General Meteorological Standards and Recommended Practices / World Meteorological Organization (WMO). Geneva, 2019 (2021). P. 48. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10955 (дата звернення: 26.09.2022).
143. van Gelder P., Kuzmin V.A., Visser P.J. Analysis and statistical forecasting of trends in river discharges under uncertain climate changes. *Proceedings of the International Symposium on Flood Defence*. 2000. Volume 1. P. 13 - 22.
144. Vasylenko Ie., Grebin V. Influence of Climatic Changes on Characteristics of the Spring Flood of the Pripyat Basin Rivers Within the Limits of Ukraine. *International Conference on Water Observation and Information System for Decision Support BALWOIS : FP online*. 2010. P. 1 – 6. URL: https://balwois.com/wp-content/uploads/old_proc/ffp-1526.pdf.
145. Vautard, R., Yiou, P. and Ghil, M. Singular-spectrum analysis: A toolkit for short, noisy chaotic signal. *Physica D: Nonlinear Phenomena*. 1992. Volume 58. Issues 1–4. P. 95 - 126. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(92\)90103-T](https://doi.org/10.1016/0167-2789(92)90103-T).
146. Volchak, A.A., Bulskaya, I.V. Water Resources of Belarus under Changing Climate Conditions: Current Status and Prognosis. *Environmental Processes*.

2017. Volume 4. P. 125 – 136. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40710-017-0231-1>.
147. Walanus A, Soja R. The 3-5 yr period in river runoff—is it random fluctuation? *Proceedings of the Hydrological Processes in the Catchment*. 1995. P. 141–148.
148. Wang H., Chen L., Yu X. Distinguishing human and climate influences on streamflow changes in Luan River basin in China. *CATENA*. 2016. Volume 136. P. 182-188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.013>.
149. Williams G.R. Cyclical variations in the worldwide hydrological data. *Journal of the Hydraulics Division*. 1961. Volume 87. Issue 6. P. 71–88. DOI: <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0000668>.
150. Zhu Y., et al. Impacts of Climate Changes on Water Resources in Yellow River Basin, China. *Procedia Engineering*. 2016. Volume 154 P. 687-695. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.570>.

ДОДАТКИ

Додаток А. Сумарні криві гідрометеорологічних характеристик в басейні Сіверського Дінця за досліджуваний період (1961 – 2020 рр.)



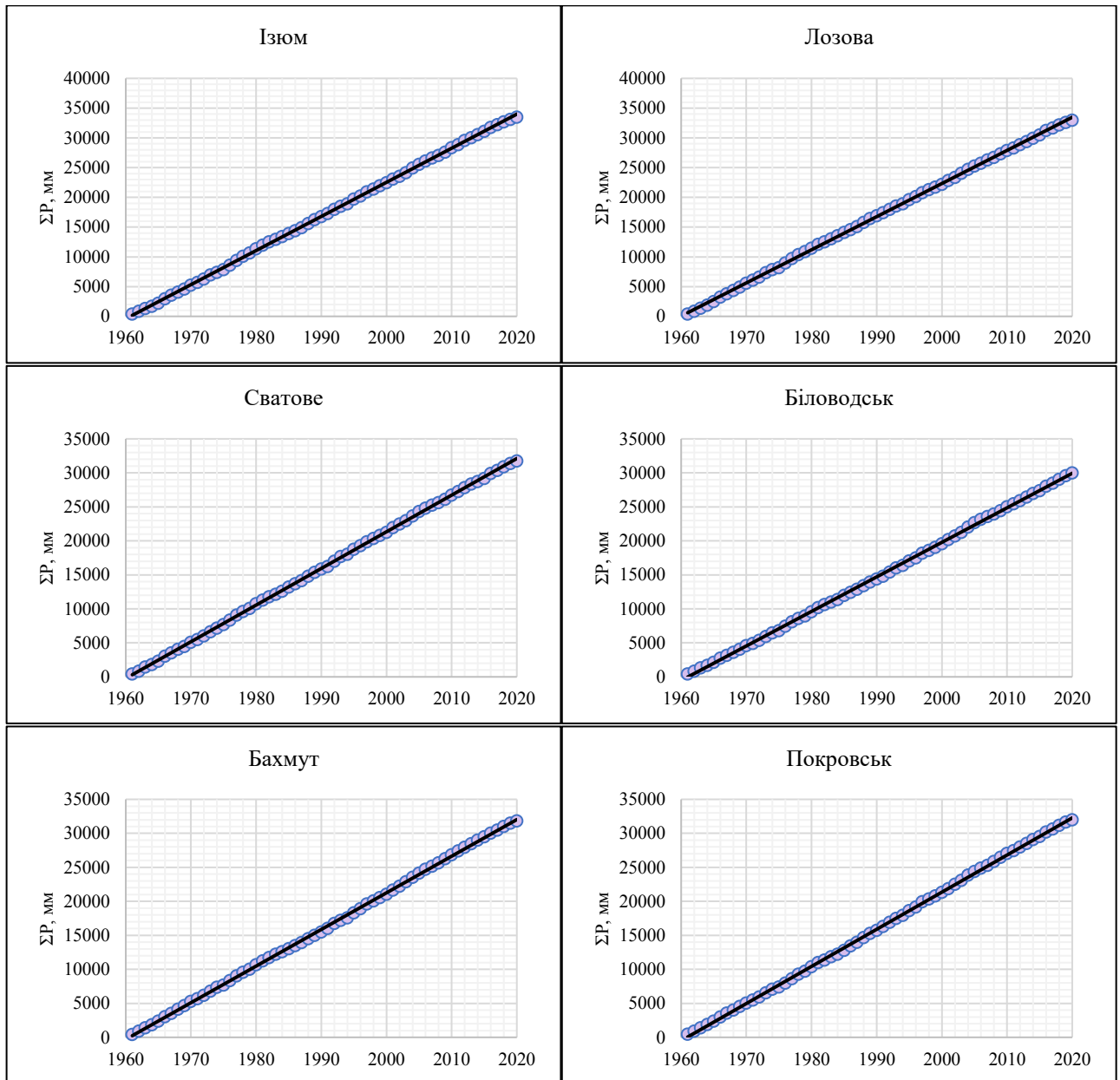
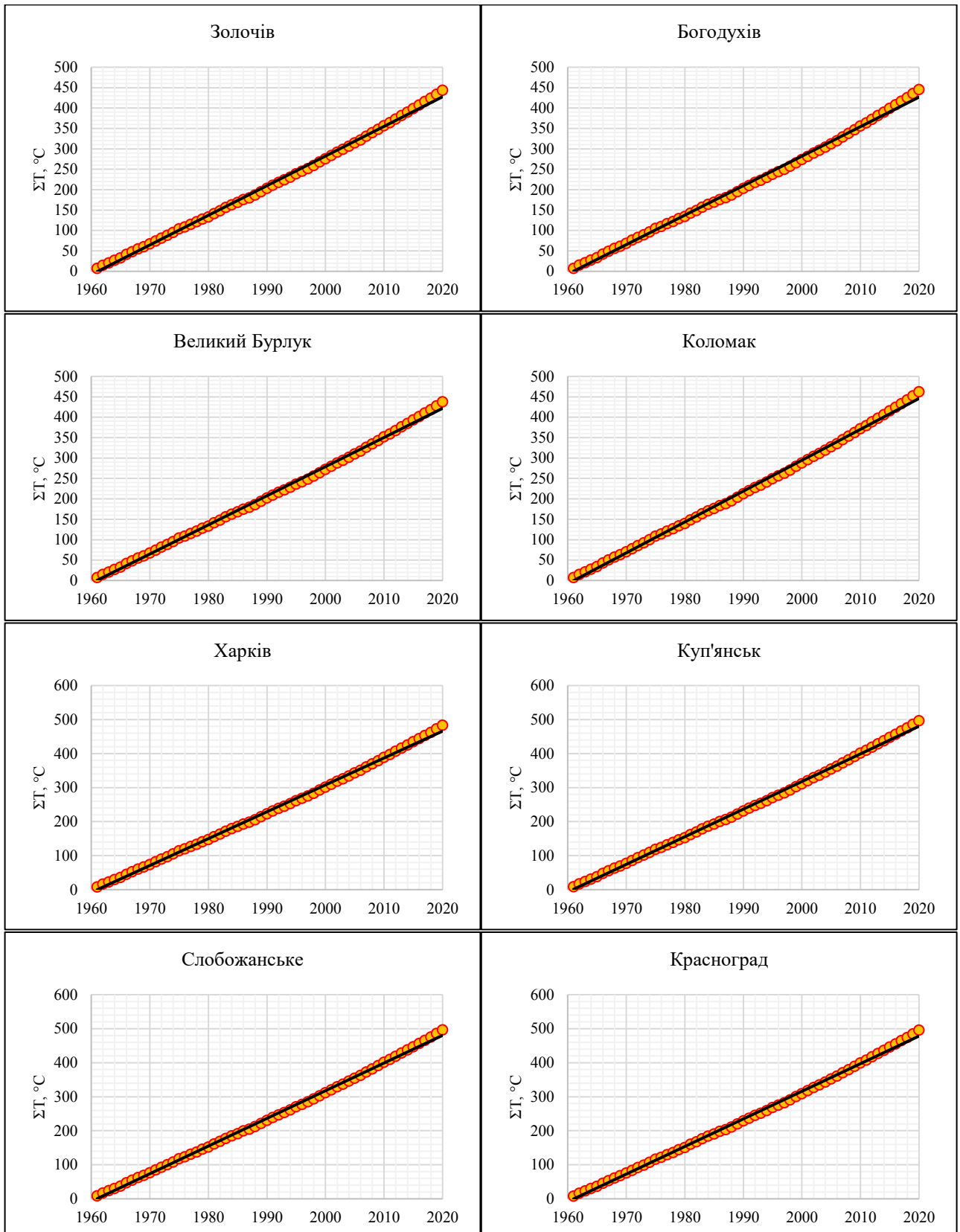


Рисунок А.1. Сумарні криві річних сум опадів за даними окремих метеостанцій у басейні р. Сіверський Донець



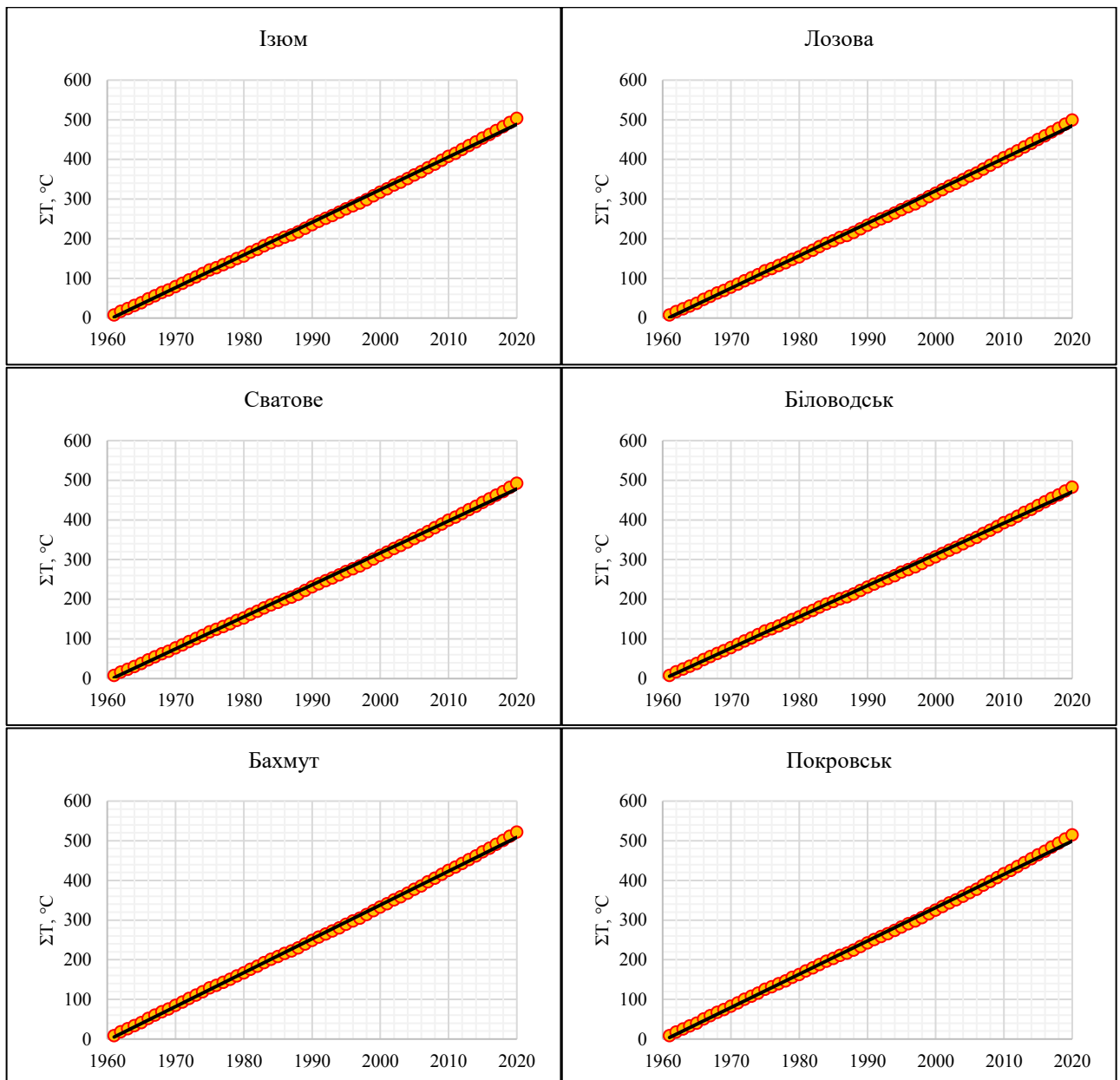
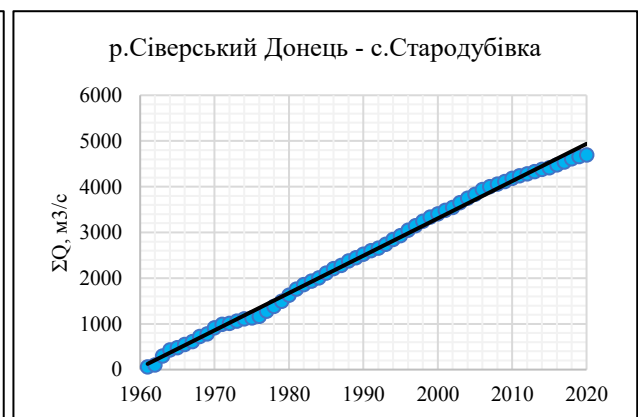
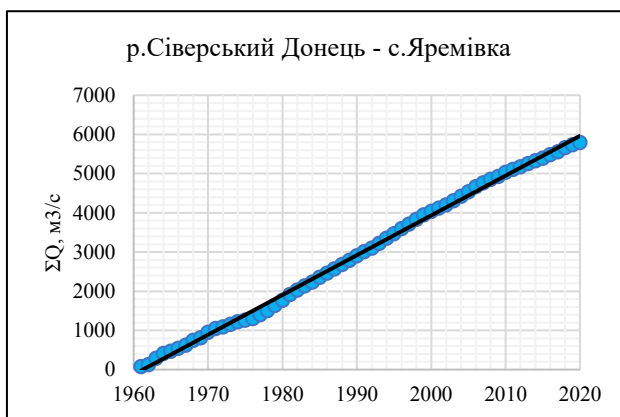
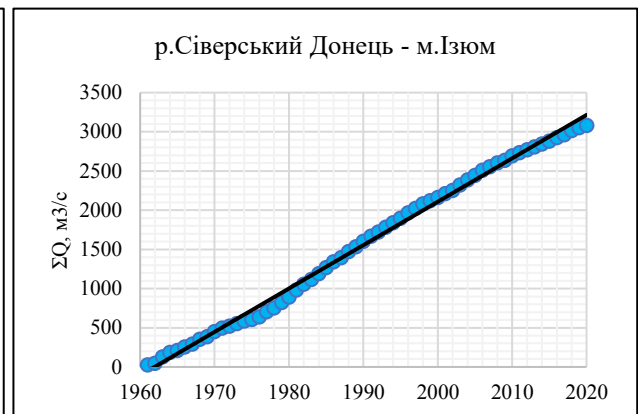
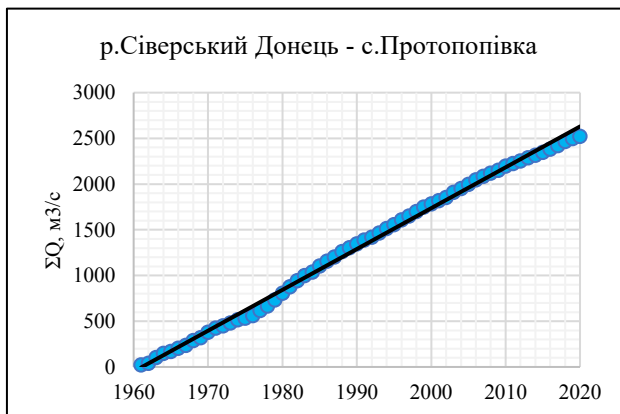
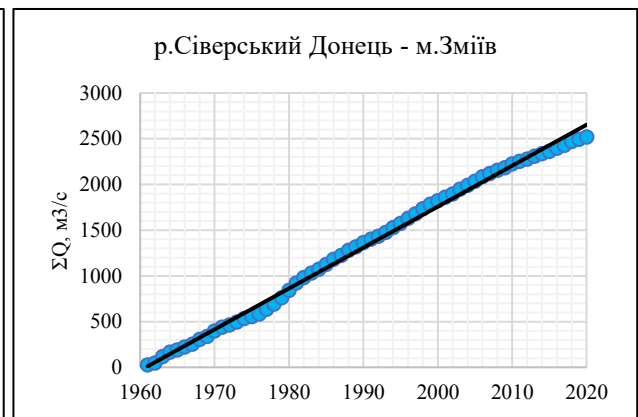
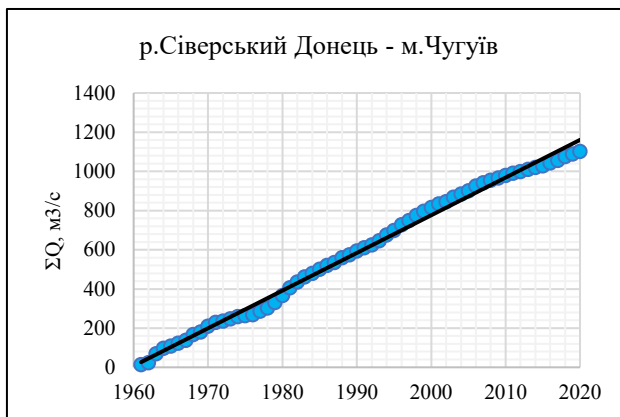
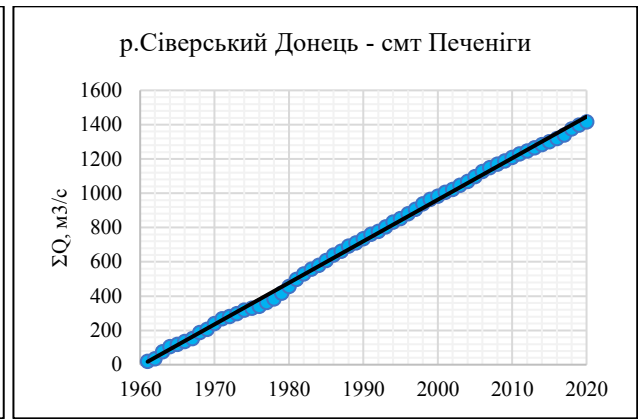
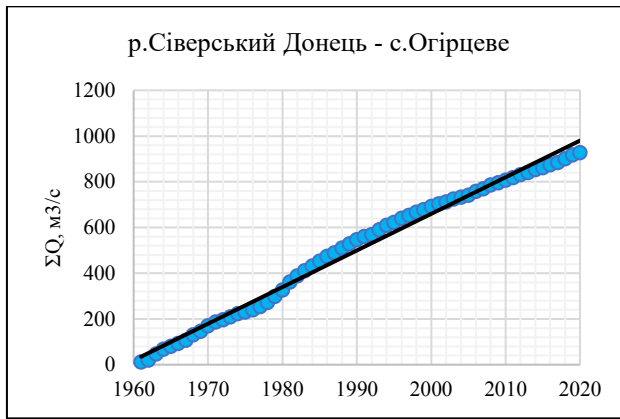
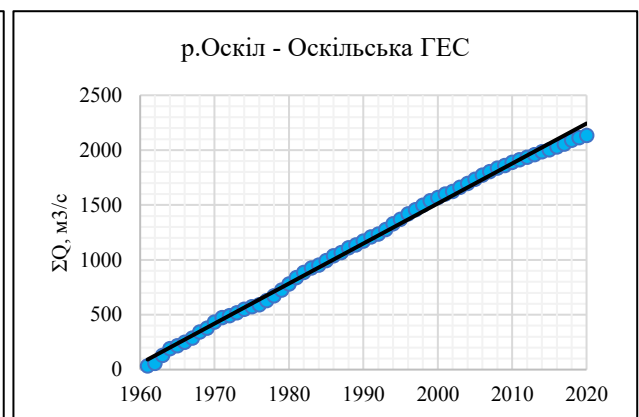
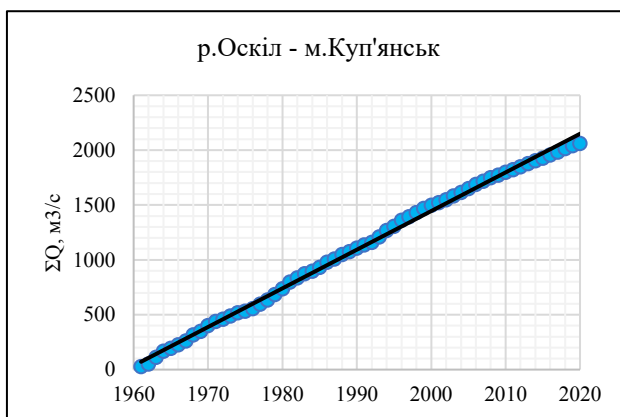
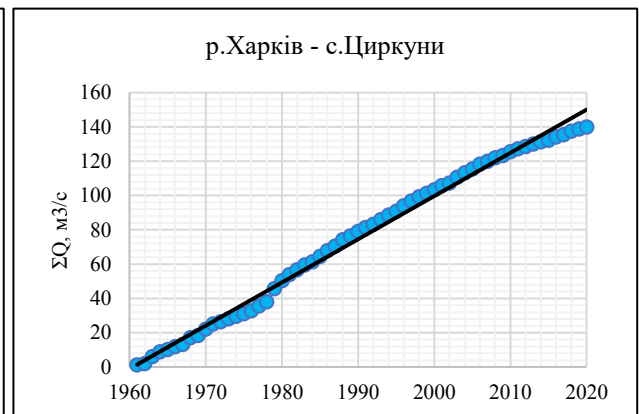
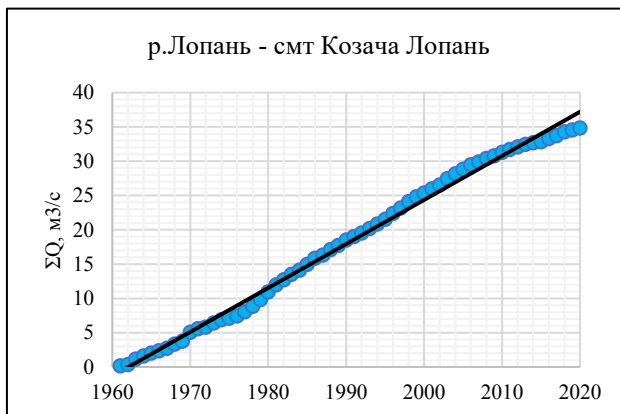
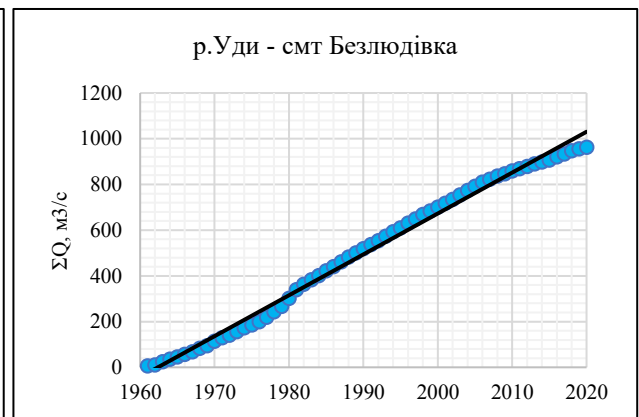
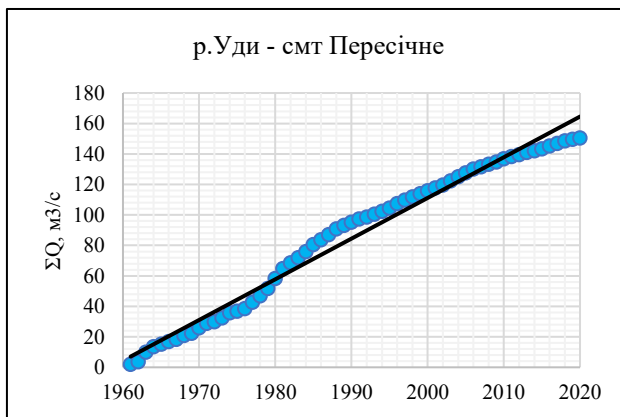
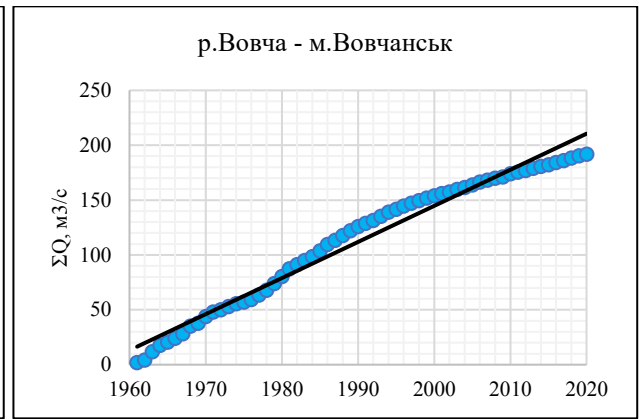
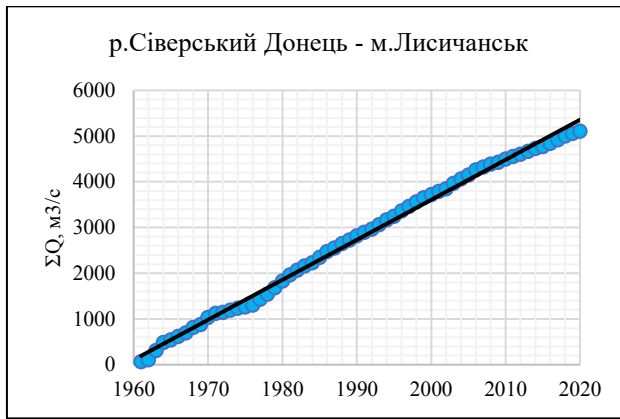
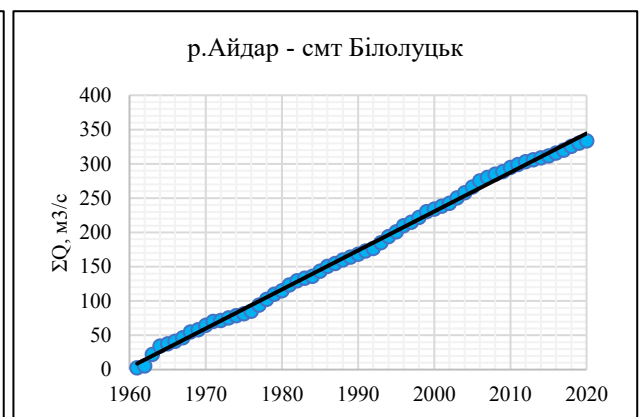
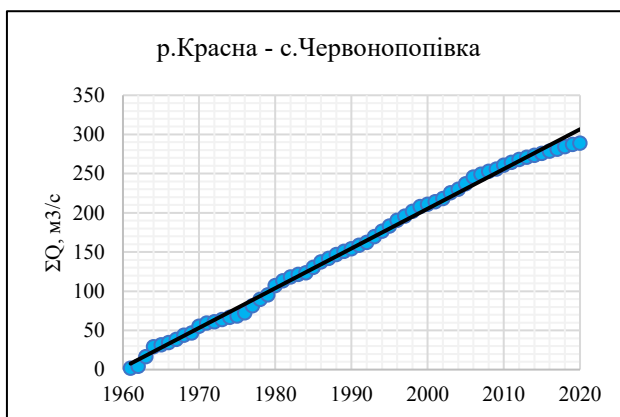
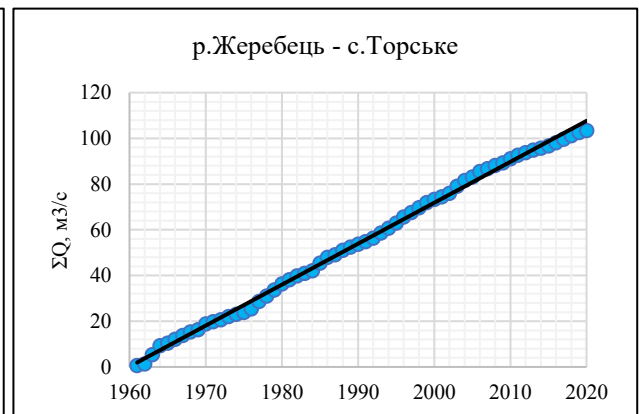
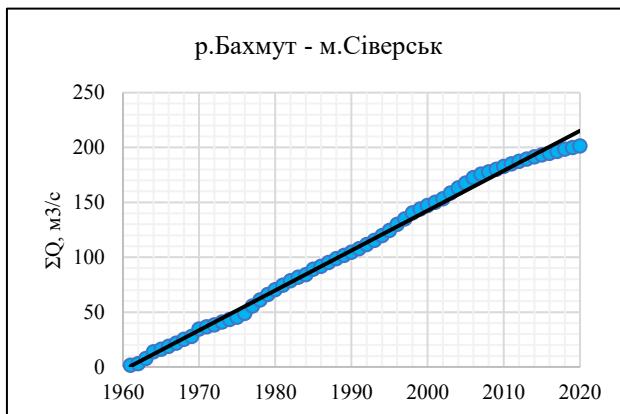
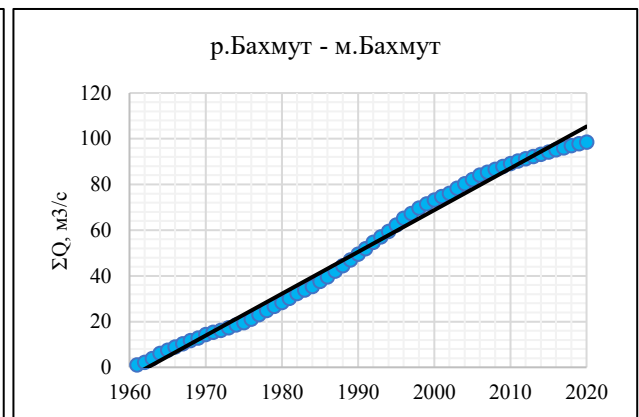
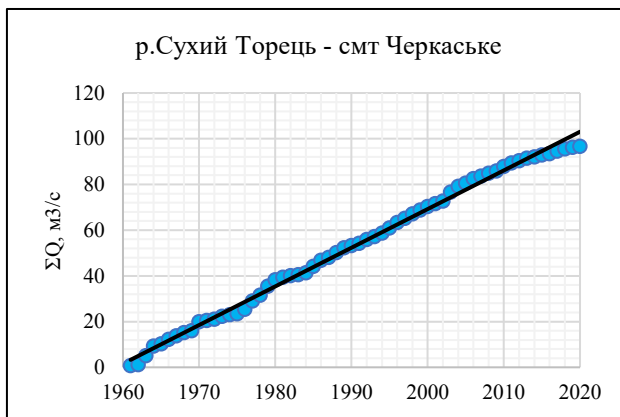
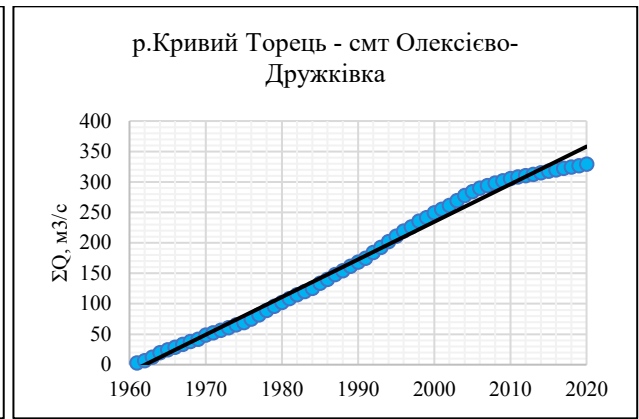
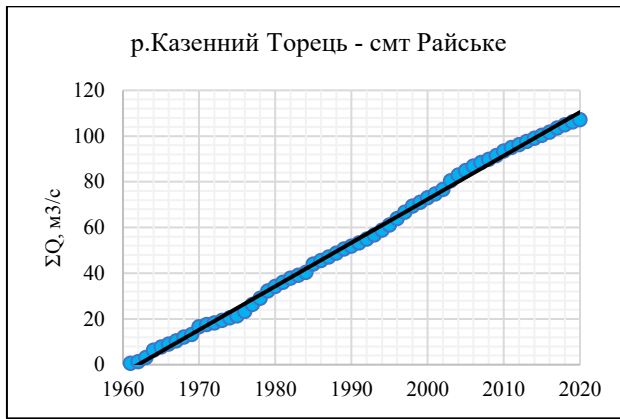


Рисунок А.2. Сумарні криві середньої річної температури повітря за даними окремих метеостанцій у басейні р. Сіверський Донець







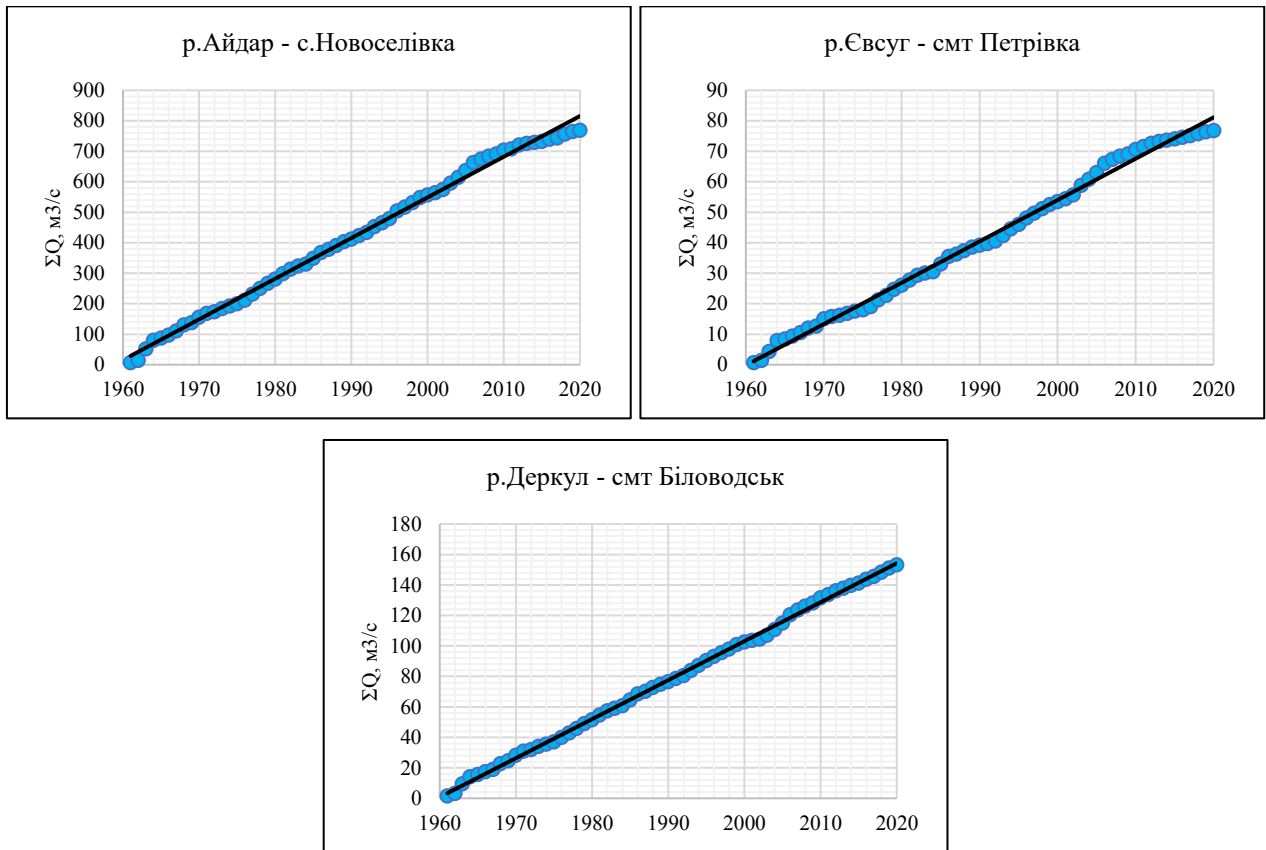


Рисунок А.3. Сумарні криві середньорічних витрат води за даними окремих гідрологічних постів у басейні р. Сіверський Донець

Додаток Б. Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

Статті у фахових наукових виданнях України, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. **Большот, Г.В.**, Гребінь, В.В. Аналітичний огляд досліджень впливу змін клімату на стік води річок. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 4(55). С. 64-73. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.5>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
2. **Большот, Г.В.**, Гребінь, В.В. Сучасна трансформація сезонного розподілу стоку води річок басейну Сіверського Дінця. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. № 3(58). С. 48-58. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.5>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
3. **Большот Г.В.**, Лук'янець О.І., Гребінь В.В. Структура часових рядів річного стоку води річок басейну Сіверського Дінця на основі стохастичного аналізу його багаторічних коливань. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 4(62). С. 18-34. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.4.2>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав:

4. Khilchevskiy V., Grebin V., Zabokrytska M., Zhovnir V., **Bolbot H.**, Plichko L. Hydrographic characteristic of ponds distribution in Ukraine – Basin and regional features. *Journal of Water and Land Development*. 2020. № 46 (VII–IX). P. 140–145. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.134206>. (Особистий внесок автора: пошук та аналітичний огляд літератури за темою дослідження, збір, обробка та аналіз вихідних даних для території басейну Сіверського Дінця, підготовка рукопису).

5. Khilchevskiy V., Grebin V., Dubniak S., Zabokrytska M., **Bolbot H.** Large and small reservoirs of Ukraine. *Journal of Water and Land Development*. 2022. № 52 (I–III). P. 101–107. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2022.140379>.
(Особистий внесок автора: пошук та аналітичний огляд літератури за темою дослідження, збір, обробка та аналіз вихідних даних для території басейну Сіверського Дінця, підготовка рукопису).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. **Болбот Г.В.** Оцінка багаторічних коливань максимальних витрат води річок басейну Сіверського Дінця. Матеріали III-го всеукраїнського пленера з питань природничих наук, м. Одеса, 20 – 22 червня 2019 р. Одеса: ОДЕКУ, 2019. С. 13-15.
7. **Болбот Г.В.**, Гребінь В.В. Аналіз сучасних тенденцій у коливаннях мінімального стоку річок басейну Сіверського Дінця. *Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів: Збірник матеріалів VIII з'їзду Гідроекологічного товариства України, присвяченого 110-річчю заснування Дніпровської біологічної станції, м. Київ, 6 - 8 листопада 2019 р. Київ, 2019. С. 240-242. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).*
8. **Болбот Г.В.** Оцінка багаторічних коливань мінімальних витрат води річок басейну Сіверського Дінця. *Рельєф, клімат та поверхневі води як об'єкти природничо-географічних досліджень (до 70-річчя кафедр землезнавства та геоморфології, метеорології та кліматології, гідрології та гідроекології: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: періодичний науковий збірник. № 3 (54), м. Київ, 2-4 жовтня 2019 р. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2019. С. 31-33.*
9. **Bolbot H.**, Grebin V., Osadchy V. Assessment of perennial fluctuations of average annual water discharges of the Siverskyi Donets River Basin. *XXVIII*

Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management: BOOK OF ABSTRACTS, Kyiv, Ukraine, 6-8 November, 2019. Kyiv, 2019. P. 22. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).

10. **Bolbot H.**, Grebin V. Long-term dynamics and current trends in fluctuations of the flow characteristics of the Siverskyi Donets River Basin. *13th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2019: Conference Proceedings. Volume 2019, Kyiv, Ukraine, 12–15 November 2019. Kyiv, 2019. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903229>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).*
11. **Bolbot, H.** and Grebin, V. Estimation of the annual runoff distribution of the Siverskyi Donets River Basin in the period of current climate change. *EGU General Assembly 2020: Online, EGU2020-7932, Vienna, Austria, 4–8 May 2020. Vienna, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-7932>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).*
12. **Bolbot H.**, Grebin V. Comparative analysis of the annual runoff distribution of the left-bank and right-bank tributaries of the Siverskyi Donets River Basin. *19th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2020: Conference Proceedings, Volume 2020, Kyiv, Ukraine, 11–14 May 2020. Kyiv, 2020. P.1 - 5 DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo116>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).*
13. **Bolbot, H.** and Grebin, V. The «rainfall-runoff» system and its long-term fluctuations in the Siverskyi Donets River Basin (Ukraine). *EGU General Assembly 2021: Online, EGU21-1335019–30, Vienna, Austria, 19–30 April 2021. Vienna, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13350>.*

(Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).

14. **Bolbot H.**, Grebin V., Obodovskyi O. and Snizhko S. Water budget elements of the Siverskyi Donets River Basin in different water runoff periods. *XXth International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2021: Conference Proceedings, Volume 2021*, Kyiv, Ukraine, 10-14 May 2021. Kyiv, 2021. P. 1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521135>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
15. **Большот Г.В.**, Гребінь В.В. Вплив кліматичних змін на складові водного балансу басейну Сіверського Дінця у періоди низької водності. *Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд: тези доповідей*, м. Одеса, 7-9 жовтня 2021 р. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 39-40. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
16. **Bolbot H.**, Lukianets O., Grebin V., Kosteckyi A. Analysis of long-term annual water runoff variability of the Desna River. *XV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*: Conference Proceedings, Volume 2021, Kyiv, Ukraine, 17–19 November 2021. Kyiv, 2021. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2073>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
17. **Bolbot, H.** and Grebin, V. The structure of the water budget of the Udy River (Ukraine) under the influence of present climate change. *EGU General Assembly 2022*: Online, EGU22-11365, Vienna, Austria, 23–27 May 2022. Vienna, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-11365>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
18. **Bolbot H.**, Lukianets O., Grebin V., Lobodzinskyi O. The anthropogenic factors influence on the water balance of the Udy catchments (The Siverskyi Donets

- Sub-Basin). *XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*, *Monitoring 2022: Conference Proceedings*, Volume 2022, Kyiv, Ukraine, 15–18 November 2022. Kyiv, 2022. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580119>. (Особистий внесок автора: збір та систематизація вихідних даних, розрахунки, узагальнення та аналіз результатів).
19. Khilchevskiy V. K., Grebin V. V, **H. V. Bolbot**. River basins districts of Ukraine – comparison with the map of Russia's armed aggression (summer 2022). *XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*, *Monitoring 2022: Conference Proceedings*, Volume 2022, Kyiv, Ukraine, 15–18 November 2022. Kyiv, 2022. P.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580017>. (Особистий внесок автора: аналіз вихідних даних, розрахунки, опис отриманих результатів).