Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти і науки України

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова

праця на правах рукопису

ПОЧАЄВЕЦЬ ОЛЕНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 556.167:556.5:528.8

ДИСЕРТАЦІЯ

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ДИНАМІКА МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ РІЧОК БАСЕЙНУ ТИСИ В МЕЖАХ УКРАЇНИ

11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук.
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Почаєвець О.О.

Науковий керівник – Ободовський Олександр Григорович, доктор географічних наук, професор

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Почаєвець О.О. Просторово-часова динаміка мінімального стоку річок басейну Тиси в межах України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук за спеціальністю 11.00.07 «Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія». – Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Міністерство освіти і науки України. Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню просторово-часової динаміки мінімального стоку води річок басейну Тиси в межах України.

У роботі використано дані Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського, Державного агентства водних ресурсів України, Геологічної служби США, Глобального дослідницького центру розвитку (The Global Development Research Center), Національного центру екологічної інформації (National Centers for Environmental Information), дані проекту Copernicus, супутникові знімки Landsat та Sentinel та ряд інших відкритих джерел інформації.

Об’єкт дослідження – мінімальний стік річок басейну Тиси в межах України.

Предмет дослідження – просторово-часова динаміка мінімального стоку води річок басейну Тиси.

Методику дослідження можна розділити на основні етапи:

1) аналіз попередніх досліджень; 2) збір вихідної інформації 3) формування банку даних; 4) розрахунки та аналіз просторово-часової динаміки мінімального стоку води річок басейну Тиси в межах України 5) створення картосхем модуля мінімального стоку води річок басейну Тиси в межах України.

Отримані результати в дисертаційній роботі можуть бути використані при сучасних оцінках та прогнозуванні мінімального стоку в структурах ДСНС України, Національної Академії наук України та в навчальному процесі Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Основна ідея дослідження полягала в тому, щоб провести комплексну оцінку просторово-часових змін мінімального стоку води на річках басейну Тиси в межах України.

При розгляді проблематики досліджень мінімального стоку було виявлено, що існують значні розбіжності у підходах до встановлення періодів мінімального стоку та основних розрахункових величин як у вітчизняних, так і у закордонних вчених. Було проведено детальний аналіз існуючої інформації, літературних та інтернет-джерел та виявлено основні відмінності та недоліки у підходах до визначення мінімального стоку. Встановлено, що важливою умовою для оцінки мінімального стоку води, особливо в гірських регіонах, є врахування генетичних особливостей формування мінімального стоку, а саме оцінка мінімальних витрат літньо-осінньої та зимової меженей.

Виявлено, що до визначальних факторів, які впливають на формування мінімального стоку річок басейну Тиси відносяться кліматичні умови, геологічна будова, гідрогеологічні умови, ґрунти, рослинність та господарська діяльність.

Для оцінки мінімального стоку було проведено аналіз необхідної вихідної інформації та зібрано банк даних гідрологічної інформації про щоденні витрати води для 22 гідрологічних постів в басейні Тиси в межах України та 8 гідрологічних постів за її межами за період від початку спостережень по 2015 рік. Для оцінки просторового розподілу мінімального стоку води використано також дані 26 гідрологічних постів суміжних басейнів в межах України. Для оцінки метеорологічних умов території басейну та впливу їх на мінімальний стік води були зібрані дані про щоденні опади, температуру повітря та сніговий покрив на метеостанціях та гідрологічних постах. Для оцінки просторового розподілу та зміни досліджуваних характеристик використана також інформація про розташування гідрологічних постів та метеостанцій (їх координати), річкову мережу у векторному форматі з атрибутивною інформацією, дані SRTM для створення цифрової моделі рельєфу та космічні знімки.

Встановлено, що паводковий режим басейну, особливо в гірській його частині, створює досить значні перешкоди до виділення тривалого меженного періоду у 30

діб, як рекомендується в нормативних документах. Тому за основний розрахунковий період було обґрунтовано і використано значення мінімальної 7-денної витрати води.

За внутрішньорічним розподілом в межах виділених лімітуючих сезонів за допомогою програмного комплексу ІНА були сформовані ряди мінімальних витрат води за 1 добу, 7 діб та 30 діб. Проведено розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку. На його основі виділено 2 райони в межах басейну Тиси – західний та східний. Межа районів проходить по басейну р.Ріка. Для західного району частка весняного стоку становить – 40,4%, літнього - 18,2%, осіннього – 16,7% та зимового 24,7%. На річках східного району на весняний сезон припадає 38,9% стоку, на літній - 27,5%, на осінній - 19,0%, лімітуючим сезоном є зима – 14,6%.

Ряди мінімальних витрат води за 1 добу, 7 та 30 діб були перевірені на часову однорідність з використанням параметричних критеріїв Стьюдента та Фішера, та непараметричного – Вількоксона. За критерієм Стьюдента гіпотеза про однорідність не спростовується у 95,5% випадків для 30 діб, більше як у 81% випадків для рядів за 1 добу та 7 діб. За критерієм Фішера всі ряди більш як у 90% випадків є однорідними. За непараметричним критерієм Вількоксона найбільш однорідними вважаються ряди за 30 діб – 95,5% випадків.

Оцінка мінливості мінімального стоку річок басейну Тиси засвідчила, що коефіцієнт варіації *Cv* для літньо-осінньої межені коливається в межах 0,28-0,68, а середнє його значення – 0,44. Найбільші показники *Cv* відносяться до водозборів воднобалансової станції в басейні р.Ріка. Щодо зимової межені, то коефіцієнти варіації коливаються від 0,3 до 0,67, середнє значення становить 0,45. Коефіцієнти асиметрії *Cs* мають переважно додатні значення, що свідчить про те, що в багаторічній мінливості на річках в межах гідрологічних постів переважають витрати води менші за середні багаторічні. Тільки для мінімальних витрат зимової межені для гідрологічного поста р.Тиса-Вилок спостерігається незначна від'ємна асиметрія. Узагальнене для річок басейну Тиси в межах України співвідношення $Cs/Cv \approx 1{,}8$, свідчить про помірно-асиметричний розподіл коливань стоку.

Оцінка багаторічних коливань мінімального стоку засвідчила відсутність завершених циклів водності. Зміна періодів пониженої та підвищеної водності мінімальних витрат води відбувається досить неоднорідно по території басейну. Для літньо-осінньої межені чітко прослідковується залежність коливань мінімального стоку від середньої висоти водозбору. Вціому для річок басейну Тиси прослідковуються синхронні та асинфазні коливання мінімального стоку води за 7 діб. Для всього басейну характерною є відсутність повноцінних циклів коливань водності, що може пояснюватися азональними особливостями формування мінімального стоку на більшості території басейну. Для більшості річок в межах західного району прослідковується період пониженої водності. А на річках східного району в той самий час мінімальний стік води за 7 діб зростає.

Для оцінки просторового розподілу мінімальних витрат води були розраховані забезпеченості рядів мінімальних витрат води за 30 та за 7 діб. Відповідно до різних потреб у водогосподарській сфері були обрані мінімальні витрати забезпеченостями від 75% і нижче. Між витратами води за 7 і за 30 діб встановлено зв’язки, які мають різний характер та змінюються залежно від районів розташування гідрологічних постів, а також від генетичного походження цих витрат. Для західного та східного районів та для басейну вцілому були розраховані перехідні коефіцієнти між витратами 80% забезпеченості та іншими заданими забезпеченостями. Залежно від існуючих потреб розрахункових витрат води було обрано 75%, 80%, 95% та 97% забезпеченості. Для вказаних забезпеченостей встановлені рівняння регресії, що дає можливість оцінювати мінімальний стік води річок за відсутності даних спостережень. Для таких річок величину витрат води можна отримати за відомими методами, в тому числі за картосхемами просторового розподілу модулів мінімального стоку води.

Встановлено залежність мінімального від середнього стоку води. Для річок басейну Тиси були розраховані коефіцієнти переходу від середнього стоку, до мінімального. Для східного району коефіцієнт переходу від середнього до мінімального за 7 діб стоку води для літньо-осінньої межені становить – 2,60, для

зимової – 3,88. Середнє значення перехідного коефіцієнта для річок західного району в період літньо-осінньої межені становить 5,15, а для зимової межені – 4,18.

Аналіз емпіричних регіональних залежностей та мінімального стоку води за 7 діб проводився з урахуванням різних факторів, таких як площа басейнів (менше та більше 1000км^2), глибиною ерозійного врізу, за районами внутрішньорічного розподілу стоку (східний та західний), а також для басейна вцілому. Було встановлено, що мінімальні витрати води зростають з площею водозбору. Для малих річок (до 1000 км^2) зв'язок витрати води з площею водозбору є більш тісним, коефіцієнт кореляції r=0,87 (зимова межень) та r=0,75 (літньо-осіння межень), ніж для великих річок r=0,74 (зимова межень) та r=0,71 (літньо-осіння межень). Для східного району кращі зв'язки між глибиною ерозійного врізу та модуля мінімального стоку спостерігаються в період зимової межені r=0,81, а для літньо-осінньої r=0,72. Для річок західного району більш тісними зв'язки ерозійного врізу і модуля мінімального стоку є для літньо-осінньої межені r=0,64. Для зимової межені коефіцієнт кореляції менший і становить r=0,56. Помітна незначна тенденція до зростання модуля стоку зі збільшенням глибини ерозійного врізу русел річок басейну Тиси. Також було встановлено, що значення мінімального модуля стоку за 7 діб збільшується зі зростанням висоти. Це підтверджується коефіцієнтами кореляції 0,67 для зимової та 0,83 для літньо-осінньої межені. Найменший вплив на формування мінімального стоку мають похили річки.

Для підтвердження необхідності створення сучасних картосхем мінімального стоку було проведено оцінку зміни мінімальних витрат води за два періоди. Перший - від початку спостережень по 1975 рік, другий – від початку спостережень по 2015 рік. Встановлено, що середнє багаторічне значення мінімальної витрати води за 30 діб для річок досліджуваного регіону змінилося порівняно з 1975 роком від 4,5% до 42% для літньо-осінньої межені і в межах 1-29% за період зимової межені. Запропоновані загальні методичні підходи побудови картосхем модулів мінімального стоку для літньо-осінньої та зимової межені, з урахуванням особливості гірської місцевості. Картосхеми створювались в середовищі QGIS та візуалізовані у вигляді ізоліній модуля мінімального стоку за 30 та за 7 діб 80%

забезпеченості. Для всіх картосхем проведена оцінка достовірності їх побудови. Коефіцієнти кореляції між фактичними та розрахованими за картосхемами значеннями мінімальних модулів стоку перевищують 0,97, а лінії зв'язку лежать на лінії рівних значень, що підтверджує можливість їх використання для розрахунків мінімального стоку невивчених територій.

Ключові слова: мінімальні витрати води, мінімальні витрати води за 7 діб, басейн Тиси, літньо-осіння межень, зимова межень, внутрішньорічний розподіл стоку, східний та західний райони, перехідні коефіцієнти, регіональні залежності мінімального стоку води, картосхеми модуля мінімального стоку води.

ANNOTATION

Pochaievets O. «Spatio-temporal dynamics of the minimum flow of the Tisza River basins within Ukraine». - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences in the speciality 11.00.07 "Hydrology of land, water resources, hydrochemistry". - The Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ministry of Education and Science of Ukraine. The Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the study of spatiotemporal dynamics of the minimum water runoff of the Tisza River basins within Ukraine.

This paper uses data from Boris Sreznevsky Central Geophysical Observatory, State Water Agency of Ukraine, US Geological Survey, The Global Development Research Center, National Centers for Environmental Information, Copernicus project data, satellite snapshots of Landsat and Sentinel and some other open-source information.

The object of study is the minimal flow of the Tisza River basins within Ukraine.

The subject of the study is the spatial-temporal dynamics of the minimal water runoff of the Tisza River basins.

The research methodology was divided into main stages:

1) analysis of previous studies; 2) collecting background information 3) forming a data bank; 4) calculations and analysis of the spatial and temporal dynamics of the minimum water runoff of the Tisza River basins within Ukraine 5) creation of mapping diagrams of the minimal water runoff module of the Tisza River basins within Ukraine.

The results obtained in the dissertation can be used for new assessments and forecasting of minimum runoff in the structures of the SES of Ukraine, the National Academy of Sciences of Ukraine and the educational process of the Taras Shevchenko National University of Kyiv.

The main idea of the study was to conduct a comprehensive assessment of the spatial and temporal changes of the minimum water runoff on the Tisza River basins within Ukraine.

When considering the problems of the minimum runoff studies, it was founded that there are considerable differences in the approaches to the establishment of the minimum runoff periods and the fundamental estimated values of both domestic and foreign scientists. A detailed analysis of existing information, literary and online sources was conducted, and significant differences and shortcomings in the approaches to determining the minimum runoff were identified. It is established that an essential condition for the estimation of the minimum runoff of water, especially in mountainous regions, is the consideration of the genetic features of the formation of the minimum runoff, namely the estimation of the minimum costs of summer-autumn and winter borders.

It is revealed that the determining factors that influence the formation of the minimum flow of rivers of the Tisza River basin include climatic conditions, geological structure, hydrogeological conditions, soils, vegetation and economic activity.

The necessary outgoing information was analyzed to estimate the minimum runoff, and a database of hydrological information on daily water flow for 22 hydrological posts in the Tisza basin within Ukraine and 8 hydrological posts outside it were collected from the beginning of 2015 observations. 26 hydrological posts of adjacent basins within Ukraine were also used to estimate the spatial distribution of minimum water runoff. To assess the meteorological conditions of the basin area and their impact on the minimum runoff were collected data on daily precipitation, air temperature and snow cover at

weather stations and hydrological stations. The information on the location of hydrological posts and meteorological stations (their coordinates), a river network in vector format with attribute information, SRTM data to create a digital terrain model and space images were used to estimate the spatial distribution and change of the studied characteristics.

It is established that the flood regime of the basin, especially in the mountainous part of it, creates quite significant obstacles to the allocation of a more extended limitation period of 30 days, as recommended in the regulatory documents. Therefore, the value of the minimum 7-day water flow was substantiated and used during the main settlement period.

Within the annual distribution within the allocated limiting seasons, the series of minimum water consumption for 1 day, 7 days and 30 days were formed using the IHA software complex. The intra-annual runoff distribution has been calculated. On this basis, two districts within the Tisza basin are identified - western and eastern. The boundary of the districts runs along the Rika basin. For the western region, the share of spring runoff is 40.4%, summer - 18.2%, autumn - 16.7% and winter 24.7%. The eastern district rivers have 38.9% runoff in the spring season, 27.5% in the summer, 19.0% in the autumn, and 14.6% in the winter.

The series of minimum water consumption for 1-day, 7-days and 30-days were checked for temporal homogeneity using parametric Student and Fisher criteria and non-parametric ones by Wilcoxon. According to Student's criteria, the hypothesis of homogeneity is not refuted in 95.5% of cases for 30-days, more than 81% of cases for series for 1-day and 7-days. According to Fisher's criterion, all ranks in more than 90% are homogeneous. Non-parametric Wilcoxon criterion is considered to be the most homogeneous series for 30 days - 95.5% of cases.

The estimation variability of the minimum flow of the Tisza rivers basin showed that the coefficient of variation Cv for the summer-autumn boundary varies within 0.28-0.68. The average value is 0.44. The most significant values refer to the catchment area of the water balance station in the Rika River basin. As for the winter limit, the coefficients of variation ranged from 0.3 to 0.67, with an average value of 0.45. The Cs asymmetry coefficients are mostly positive, indicating that the long-term variability of rivers within

hydrological posts exceeds the water flow rates less than the average long-term ones. Only a minimal winter asymmetry is observed for the Tisza-Vilok hydrological post. The Cs/Cv≈1.8 ratio generalized for the Tisza River basins within Ukraine indicates a moderately asymmetric distribution.

Estimation of long-term fluctuations of the minimum runoff indicated the absence of completed water cycles. Changing periods of low and high water levels of minimum water flow is quite heterogeneous across the basin. For the summer-autumn boundary, the dependence of the minimum runoff fluctuations on the average height of the catchment is clearly traced, insofar as for the rivers of the Tisza basin, synchronous and not matching phases fluctuations of the minimum runoff of water for 7 days are traced. The whole basin is characterized by the absence of complete cycles of water fluctuations, which can be explained by the ozone characteristics of the minimum runoff formation in most of the basin territory. For most rivers, the period of low water levels is within the western region. The minimum flow of water for 7 days in eastern region rivers is increasing.

A series of minimum water flow rates for 30 and 7 days were calculated to estimate the spatial distribution of minimum water flow rates. Following different needs in the water sector, minimum costs with a security of 75% and below were selected. The ratio between 7 and 30 days of water discharge are different variations depending on the location of the hydrological posts and the genetic origin of these costs. For the western and eastern districts and the basin as a whole, transition coefficients between the costs of 80% security and other specified security were calculated. Depending on the current needs of the estimated water consumption, 75%, 80%, 95% and 97% of security were selected. Regression equations have been established for these security measures, which makes it possible to estimate the minimum river water runoff in the absence of observational data. For such rivers, the magnitude of water consumption can be obtained by known methods, including the mapping of the spatial distribution of the minimum water runoff modules.

The dependence of the minimum on the average water runoff is established. For the Tisza rivers, the coefficients of the transition from the average runoff to the minimum runoff were calculated. For the eastern region, the coefficient of transition from the average to the minimum for 7 days of water runoff for the summer-autumn border is 2.60,

for winter - 3.88. The average value of the transition factor for the rivers of the western region during the summer-autumn boundary is 5.15, and for the winter boundary - 4.18.

The analysis of empirical regional dependencies and minimum water runoff for 7-days was carried out taking into account various factors such as the area of the basins (less and more than 1000 km2) and by the areas of intra-annual runoff distribution (east and west), as well as for the basin as a whole. It was found that the minimum water consumption increases with the catchment area. For small rivers (up to 1000 km2) the relationship of water flow with the catchment area is closer, the correlation coefficient r = 0.87 (winter border) and r = 0.75 (summer-autumn border) than for large rivers r = 0.74 (winter low) and r = 0.71 (summer / autumn low). For the eastern region, the best connections between the depth of the erosion cut and the minimum runoff module are observed during the winter boundary r = 0.81, and for summer and autumn r = 0.72. For the rivers of the western region, the ties of the erosion cut and the minimum runoff module are closer for the summer-autumn boundary r = 0.64. For the winter boundary, the correlation coefficient is smaller and r = 0.56. There is a slight tendency to increase the runoff module with increasing depth of erosion cut of river beds of the Tisza River basins. It was also found that the value of the minimum runoff module for 7 days increases with increasing height. It is confirmed by the correlation coefficients of 0.67 for the winter and 0.83 for the summer-autumn limit. The slopes of the river have the least influence on the formation of the minimum runoff.

An assessment of changes in the minimum water flow over two periods was carried out to confirm the need to create modern maps of minimum runoff. The first period is from the beginning of observations to 1975, the second - from the beginning of observations to 2015.

Consequently, the average long-term value of minimum 30 days water flow has changed from 4.5% to 42% for the summer-autumn boundary and in the range of 1-29% during the winter boundary. The general methodological approaches for the construction of the drainage maps of the minimum runoff modules for the summer-autumn and winter boundaries are proposed, taking into account the peculiarities of the mountainous terrain. The maps were created in QGIS and visualized as isolines of the minimum runoff module

for 30 and 7 days at 80% security. All maps have been evaluated for their reliability. The correlation coefficients between the actual and the map values of the minimum runoff modules exceed 0.97, and the communication lines lie on the lines of equal values, which confirms the possibility of using them for the minimum runoff of uncharted territories.

Keywords: minimum water flow, minimum 7 days water flow, Tisza river basin, summer-autumn low-water period, winter low-water period, intra-annual water flow distribution, eastern and western districts, transition coefficients, regional relationships of low-flow, maps of the water specific discharge.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Ободовський О.Г., Почаєвець О.О., Заварзін М.А. Оцінка зв'язків мінімального та середнього стоку води річок Українських Карпат. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 1 (40). С. 60-69. (Особистий внесок: розрахунок та аналіз співвідношень мінімального та середнього стоку).
2. Ободовський О.Г., Данько К.Ю, Почаєвець О.О., Ободовський Ю.О Методика встановлення гідроенергетичного потенціалу річок (на прикладі річок українських Карпат*). Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. *Географія.* 2017. Т.1 (64). С. 5-12. (Особистий внесок: використання геоінформаційних систем для створення картосхем, розрахунок співвідношення середнього та мінімального стоку річок).
3. Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О. Загальний гідроенергетичний потенціал річок Українських Карпат. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. *Географія.* 2017. Т.1 (66) – С. 15-28. (Особистий внесок: Розрахунок показників середнього та мінімального стоку для встановлення загального гідронерегетичного потнеціалу річок басейну Тиси та розробка підходів і створення картосхем просторової зміни гідроенергетичного потенціалу).
4. Ободовський О.Г., Сурай К.С., Почаєвець О.О. Оцінка мінімального стоку води річок суббасейну Ужа (басейн річки Тиса). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2018. Т. 2 (49). С. 6-15. (Особистий внесок: Опис та оцінка отриманих результатів, візуалізація просторового розподілу модуля стоку).
5. Почаєвець О.О., Ободовський О.Г. Оцінка впливу основних гідрографічних характеристик водозборів річок басейну Тиси (в межах України) на формування мінімального стоку води. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2018. Т 4 (51). С. 76-86. (Особистий внесок: збір вихідних даних, розрахунок та аналіз отриманих результатів).

6. Почаєвець О.О. Дослідження мінімального стоку: ретроспектива, огляд, перспектива. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. Т. 4 (55). С. 53-64.

7. Почаєвець О.О. Ободовський О.Г. Використання ГІС для оцінки просторового розподілу мінімального стоку води річок басейну тиси в межах України. *Фізична географія та геоморфологія*. 2019. Т.3 (95). С.18-25 (Збір інформації та її аналітична оцінка, побудова нових карт просторового розподілу мінімального стоку річок).

8. Гребінь В.В., Ободовський О.Г., Жовнір В.В., Мудра К.В., Почаєвець О.О. Оцінювання однорідності рядів стокових характеристик річок районів річкових басейнів та суббасейнів України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. Т. 1 (52). С. 36-50. (Особистий внесок: оцінка однорідності рядів стокових характеристик річок для басейну р.Тиси).

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

9. Obodovskiy O., Danko K., Pochaievets O. Assessment of hydropower potential of the Tisza river basin. *Journal of Education, Health and Sport*. 2017;7(5):497-504. eISSN 2391-8306. DOI http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.800727 (Особистий внесок: розробка алгоритму картування гідроенергетичного потенціалу з використанням ГІС технологій, розрахунок екологічно-обгрунтованого гідроенергетичноо потенціалу з урахуванням співвідношення між середнім та мінімальним стоком води річок басейну Тиси).

Патент України на корисну модель

10. Онищук В.В., Ободовський О.Г., Почаєвець О.О. Спосіб регулювання мінімального стоку гірських річок. Патент на корисну модель # 130190 від 26.11.2018, Бюл.№ 22. (Особистий внесок: збір та узагальнення інформації стосовно мінімального стоку гірських річок).

Опубліковані праці апробаційного характеру

11. Почаєвець О.О. Забезпеченість мінімальних витрат води річок басейну Тиси в межах України. *Молоді науковці – географічній науці* : мат. XI Всеукр. наук.-практ. конф. 2015. С.25-28.

12. Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О. Оценка современных колебаний водности рек Украинских Карпат в условиях изменений климата. *Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата* : мат. междунар.науч.конф. 2016. С.25-28. (Особистий внесок автора: розрахунок гідрологічних характеристи річок басейну Тиси).

13. Почаєвець О.О. Встановлення величини екологічно-допустимого використання водних ресурсів на річках в басейні Тиси. *Молоді науковці – географічній науці* : мат. XII Всеукр. наук.-практ. конф. 2016. С.32-36.

14. Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О. та ін. Гідроекологічна оцінка та прогноз енергетичного потенціалу річок Українських Карпат. *Соціум і науки про Землю:* мат. Між.наук.-практ. 2017. С.45-47. (Особистий внесок автора: використання ГІС для встановлення гідроенергетичного потенціалу).

15. Почаєвець О.О., Сурай К.С. Карти розподілу мінімального стоку води для суббасейну р.Уж (басейн Тиси). *Молоді науковці – географічній науці* : мат. Всеукр. наук.-практ. конф. 2017. С 5-9. (Особистий внесок автора: побудова картосхем просторового розподілу мінімального стоку води річок басейну Ужа).

16. Ободовський О.Г. Данько К.Ю., Почаєвець О.О. Методичні положення встановлення гідроенергетичного потенціалу річок. *Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд*. 2017. с.156-158. (Особистий внесок автора: розрахунок необхідного співвідношення мінімального та середнього стоку річок басейну Тиси для встановлення екологічно-допустимого гідроенергетичного потенціалу, використання ГІС для встановлення гідроенергетичного потенціалу).

17. Ободовський О.Г. Данько К.Ю., Почаєвець О.О. та ін. Гидрологические исследования и прогноз гидроэнергетического потенциала рек Украинских Карпат в условиях изменения климата. *Водные ресурсы и климат:* мат. докл. межд. водного форума. 2017. С.245-249. (Особистий внесок автора: використання ГІС для встановлення гідроенергетичного потенціалу).

18. Ободовський О.Г. Данько. К.Ю., Онищук В.В., Почаєвець О.О. Гідроекологічна оцінка та прогноз гідроенергетичного потенціалу річок басейну Дніпра (в межах

України). *Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології, присвячена 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України* : мат. всеукр. наук. конф. 2018. С. 206. (Особистий внесок автора: використання ГІС для картування досліджуваних характеристик)

19. Ободовський О.Г., Почаєвець О.О., Кривець О.О. Визначення придатних до використання ділянок річок з урахуванням територій природно-заповідного фонду в межах регіону Українських Карпат. *Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони* : мат. міжн. наук. семінару. 2018. С.266-271. (Особистий внесок автора: виділення меж ПЗФ в басейні р.Тиса, використання ГІС для визначення ділянок, придатних до використання)

20. Почаєвець О.О. Мінімальний стік річок басейну Тиси як складова забезпечення раціонального водокористування. *Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень* : мат. всеукр. наук.-практ. конф. 2018. С.133-136.

21. Obodovskyi, O., Pochaievets, O., Lukianets, O., Onyschuk, V., Kryvets, O. Use remote sensing for estimation hydropower potential of the rivers of the Ukrainian Carpathians. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects.* 2019, № 15867. (Особистий внесок автора: використання геоінформаційних систем, розробка структури бази даних, збір гідрологічної інформації для річок басейну Тиси).

22. Lukianets O., Obodovskyi O. Grebin V. Pochaievets O. Time series analysis and forecast estimates of the mean annual water runoff of rivers of the Prut and Siret basins (within Ukraine). *Conference of the danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*. 2019. V.28 C. 42. (Особистий внесок автора: розрахунок середнього багаторічного стоку річок басейну Тиси).

23. Snizhko S., Shevchenko O., Didovets I., Obodovskyi O., Pochaievets O. Climate monitoring data application in the technological regional assessment scheme and simulation of water flow. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. 2019 V.XIII. (Особистий внесок автора: Збір та обробка гідрологічних даних для річок басейну Тиси).

24. Почаєвець О.О., Сурай К.С. Карти мінімального стоку води для басейну Тиси в межах України. *Шевченківська весна* : мат. міжн. наук.-практ. конф. 2019. С.43-47.

(Особистий внесок автора: побудова картосхем просторового розподілу мінімального стоку води річок басейну Тиси).

Статті, що додатково відображають наукові результати дисертації

25. Ободовський О.Г. Онищук В.В., Почаєвець О.О. Перспективи використання гідроенергетичного потенціалу на річках басейну Дніпра (на прикладі р.Рось). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2019. Т.1(84). С.56-62. (Особистий внесок – використання геоінформаційних систем для створення картосхем розміщення нових високоекологічних електростанцій).

ЗМІСТ

ВСТУП..... 21

РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ 27

1.1. Терміни та визначення..... 27

1.2. Історія розвитку та підходи до дослідження мінімального стоку..... 31

1.2.1. Коротка історія дослідження мінімального стоку води річок..... 31

1.2.2. Картування просторового розподілу мінімального стоку по територій. 33

1.3. Дослідження мінімального стоку річок України..... 34

1.4. Висновки до розділу 1..... 40

РОЗДІЛ 2 ПРИРОДНІ УМОВИ ТА ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ НА ТЕРИТОРІЇ БАСЕЙНУ ТИСИ..... 41

2.1. Геологічна будова та рельєф 41

2.2. Гідрогеологічні умови території басейну Тиси..... 44

2.3. Кліматичні умови території басейну Тиси 47

2.4. Характеристика ґрунтів 54

2.5. Вплив господарської діяльності на умови формування мінімального стоку 55

2.6. Висновки до розділу 2..... 61

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКИ ТА ОЦІНКА МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ РІЧОК БАСЕЙНУ ТИСИ В МЕЖАХ УКРАЇНИ 63

3.1. Вихідні дані..... 63

3.2. Внутрішньорічний розподіл середнього багаторічного стоку води 72

3.3. Перевірка на однорідність часових рядів мінімального стоку води річок басейну Тиса 84

3.4. Оцінка мінливості мінімальних за 7 діб витрат води річок басейну Тиси в межах України 88

3.5. Багаторічні коливання мінімальних витрат води за 7-денний період 94

3.6. Висновки до розділу 3 99

РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЗВ'ЯЗКІВ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ З ВИЗНАЧАЛЬНИМИ ФАКТОРАМИ 101

4.1. Розрахункові характеристики мінімальних витрат води за 30 та за 7 діб заданої забезпеченості 101

4.2. Зв’язки мінімальних витрат води за 7 діб з 30 денними мінімальними витратами води 112

4.3. Співвідношення середнього і мінімального стоку води за 7 діб річок 118

4.4. Емпіричні регіональні залежності мінімального стоку з визначальними факторами 123

4.5. Висновки до розділу 4 128

РОЗДІЛ 5 ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ РІЧОК БАСЕЙНУ ТИСИ В МЕЖАХ УКРАЇНИ 130

5.1. Передумови побудови сучасних картосхем модуля мінімального стоку води для річок басейну Тиси 130

5.2. Обґрунтування необхідності побудови сучасних картосхем мінімальних за 30 діб витрат води 80% забезпеченості для літньо-осінньої та зимової межені 131

5.3. Методичні підходи до побудови картосхем мінімального стоку води 138

5.3.1. Загальні методичні підходи створення картосхем модулів стоку води. 138

5.3.2. Методичні підходи до побудови картосхеми розподілу модуля мінімального стоку води для гірських районів. 140

5.4. Аналіз сучасних картосхем модуля мінімального стоку води для річок басейну Тиси 143

5.5. Побудова картосхем модуля мінімального за 7 діб стоку води 147

5.6. Висновки до розділу 5 149

ВИСНОВКИ 151

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 154

ДОДАТКИ……168

ВСТУП

Актуальність теми. Згідно Національної доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна - забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів і санітарії для всіх до 2030 р.» Україна має, разом із іншими цілями, значно покращити якісний стан водойм, забезпечити доступ населення до чистої питної води, підвищити ефективність водокористування, забезпечити комплексне управління водними ресурсами та розширити міжнародне співробітництво щодо спільного використання транскордонних вод. До таких можна віднести і річкові води басейну р.Тиси в межах України. Незважаючи на значний потенціал водних ресурсів регіону все ж таки слід відмітити значне антропогенне навантаження на його водозборі. А, враховуючи маловодну фазу водності, яка спостерігається останнім часом для всіх річок України, в тому числі і для басейну Тиси, питання планування водокористування стає все більш актуальним. Особливо це стосується лімітуючих періодів мінімального стоку річок.

Незважаючи на те, що регіон Українських Карпат найчастіше розглядається як паводконебезпечний, і більша увага приділяється максимальному паводковому стоку, проблема дослідження мінімальних витрат води в даному регіоні також стає актуальною. Мінімальний стік води в річках відноситься теж до небезпечних гідрологічних явищ, який і характеризує умови маловодій, коли річка живиться в основному підземними водами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертації виконувались впродовж 2015-2019 рр згідно з планами науково-дослідних робіт кафедри гідрології та гідроекології, науково-дослідного сектору гідроекології і гідрохімії Київського національного університету імені Тараса Шевченка за держбюджетними темами:

- № 14БП050-01 Гідроекологічна оцінка та прогноз енергетичного потенціалу річок Українських Карпат. № ДР 0114U003482 (2014-2015рр.)

- № 16БП050-01 Гідроекологічна оцінка енергетичного потенціалу річок басейну Дніпра (в межах України) в умовах змін клімату. № ДР 0116U004827 (2016-2017 рр.)

- № 18БП050-01 Гідроекологічна оцінка та прогноз гідроенергетичного потенціалу річок України в умовах кліматичних змін. № ДР 0118U001098 (2018-2020 рр.).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є виконання комплексної оцінки формування мінімального стоку води на річках басейну Тиси в межах України та його просторове відображення. Для досягнення поставленої мети автором вирішувались наступні завдання:

- опрацювання теоретико-методичної бази досліджень мінімального стоку з урахуванням сучасних підходів до його формування;
- проведення оцінки природних умов та господарського впливу на процеси формування мінімального стоку;
- збір та підготовка вихідної інформації;
- дослідження внутрішньорічного розподілу стоку для виділення лімітуючих періодів та сезонів для проведення районування басейну за внутрішньорічним розподілом стоку;
- обґрунтування використання в якості основної розрахункової величини мінімальної витрати води за 7 діб для літньо-осінньої та зимової межені;
- перевірка на однорідність, визначення мінливості показників мінімального стоку;
- виявлення багаторічних коливань мінімального стоку;
- встановлення зв'язків мінімального стоку з морфометричними характеристиками водозборів;
- розрахунок перехідних коефіцієнтів для визначення мінімальних витрат води заданих забезпеченостей;
- створення картосхем просторового розподілу модулів мінімального стоку води для визначення мінімальних витрат води різних забезпеченостей.

Об’єкт дослідження – мінімальний стік річок басейну Тиси в межах України.

Предмет дослідження – просторово-часова динаміка мінімального стоку води річок басейну Тиси.

Методи дослідження. У процесі дослідження використовувались емпірико-теоретичні методи наукових досліджень, такі як історичний метод, аналіз і синтез інформації, порівняння та узагальнення, методи математичної статистики та теорії ймовірності, аналіз просторових даних та картографування з використанням геоінформаційних систем та обробки даних дистанційного зондування Землі.

Вихідні матеріали. В роботі використано дані гідрометеорологічних спостережень моніторингової мережі ДСНС України, залучені топографічні карт різних років зйомок та масштабів, космічних знімків Landsat, Sentinel 2, Google Image. Також задіяні дані Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського, Державного агенства водних ресурсів України, Геологічної служби США, Глобального дослідницького центру розвитку (The Global Development Research Center), Національного центру екологічної інформації (National Centers for Environmental Information), дані проекту Copernicus, супутникові знімки Landsat та Sentinel та ряд інших відкритих джерел інформації.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

Вперше:

- запропоновано використання нових підходів до оцінки мінімального стоку гірських річок та, зокрема, періоду 7 діб як розрахункового при оцінці мінімального стоку для річок досліджуваного регіону;
- визначені перехідні коефіцієнти для встановлення мінімальних витрат води 75%, 90%, 95% забезпеченості;
- проведено дослідження взаємозв'язків між середнім та мінімальним стоком для гірських річок басейну Тиси з урахуванням однорідних районів його формування;
- встановлені зв’язки між морфометричними параметрами водозборів та показниками мінімального стоку період літньо-осінньої та зимової межені;
- створені картосхеми просторового розподілу мінімального за 7 діб модуля стоку води гірських річок з використанням відкритих даних ДЗЗ та ГІС технологій.

Удосконалено:

- методичні підходи до побудови карт модулів мінімального стоку гірських річок;
- картосхеми просторового розподілу ізоліній модулів мінімального стоку за 30 діб згідно вимог діючих нормативних документів з використанням відкритих даних ДЗЗ та ГІС технологій.

Отримали подальший розвиток:

- оцінування впливу водогосподарської діяльності на мінімальний стік;
- підходи до внутрішньорічного розподілу стоку та виділення однорідних районів формування мінімального стоку;
- оцінювання однорідності рядів мінімального стоку за теплий і холодний періоди.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи можуть бути використані при сучасних оцінках та прогнозуванні мінімального стоку в структурах ДСНС України, Державного агентства водних ресурсів України, Національної академії наук України та в навчальному процесі Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною роботою, виконаною на основі власних досліджень. Автором зібрано та статистично опрацьовано дані режимних спостережень і створено електронну базу даних для 22 гідрологічних постів, розміщених в басейні Тиси в межах України. Безпосередньо виконано такі роботи:

- збір, обробка та систематизація вихідної інформації стосовно проблематики роботи;
- створення банку даних по мінімальному стоку річок басейну Тиси;
- застосування нових підходів в оцінюванні мінімального стоку гірських річок;
- виконання та аналіз розрахунків мінімального стоку із застосуванням ГІС;
- створення нових картографічних продуктів оцінки мінімального стоку досліджуваних річок.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і результати дисертаційного дослідження були оприлюднені на українських та міжнародних конференціях та з'їздах: Всеукраїнських науково-практичних конференціях студентів, аспірантів та молодих вчених «Молоді науковці – географічній науці» (Київ, 2015, 2016, 2018рр.), Международная конференция «Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата» (Мінськ, 2015р.), Міжнародна науково-практична конференція «Соціум і науки про Землю» (Запоріжжя, 2017 р.), Водный формум «Водные ресурсы и климат» (Мінськ, 2017р.), Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд (Одеса, 2017р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень» (Київ, 2018р.), Міжнародному науковому семінарі «Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони» (Львів, 2018), Всеукраїнській науковій конференції «Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології» (Київ, 2018), XVII Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Шевченківська весна» (Київ, 2019), 17th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects; Institute of Geology of Taras Shevchenko Kyiv National University (Kyiv, 2019), XXVIII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management (Kyiv, 2019), XIII international scientific conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (Kyiv,2019).

Публікації. Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 25 наукових працях загальним обсягом 11,4 умовних друкованих аркушів (з них автору належить 5,79 д.а.), серед них зокрема: 8 статей у наукових фахових виданнях України, рекомендованих ДАК Міністерства освіти і науки України, загальним обсягом 6,99 д.а. (з них автору належить 3,51 д.а.), 1 - у міжнародному фаховому виданні обсягом 0,59 д.а. (з них автору належить 0,21 д.а.), 1 патент на корисну модель загальним обсягом 0,3 д.а. (з них автору належить 0,1 д.а.), 1 стаття в інших виданнях обсягом 0,97 д.а (з них автору належить 0,3 д.а.), 14

публікацій апробаційного характеру загальним обсягом 2,57 д.а. (з них автору належить 1,68 д.а.).

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (216 найменувань) та додатків. Повний обсяг роботи становить 187 сторінок. Основний зміст дисертації викладений на 139 сторінках, налічує 59 рисунки, 29 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ

1.1. Терміни та визначення

Перед тим як проводити оцінку умов формування мінімального стоку та розглядати методи його дослідження необхідно зупинитися на термінах та визначеннях, які використовуються для його описання. У вітчизняній літературі ще з радянських часів існує поняття межені. На певному етапі серед гідрологів виникли розбіжності, які не до кінця вирішені і до цього дня. Проблема полягає в формулюванні терміну «межень», «мінімальний стік» і виборі відповідних характеристик. Так, Б.В. Поляков [120] вважав межень періодом, який спостерігається в умовах відсутності значних паводків, Д.Л. Соколовський [152], так само як і А.І. Чеботарьов [171], вважали, що мінімальний стік води в річках спостерігається тоді, коли вони переходять на підземне живлення. Через відсутність єдиних підходів до формулювання, в практиці розробки методів розрахунку мінімального стоку під спільними термінами іноді приймалися розрахункові характеристики, які мають різний гідрологічний зміст. Так В.А. Уриваєв [162] за основну розрахункову характеристику приймав «середні багаторічні величини мінімального річного стоку», за які приймав найменші за рік величини стоку води незалежно від сезону; О.В. Попов [121] для створення картосхем ізоліній мінімального зимового та літнього стоку води застосовував величину середнього багаторічного модуля стоку за місяць, це призводило до того, що мінімальний стік наближався до норми річного стоку і відповідав середній витраті сезону в цілому, а не періоду межені. М.Д. Антонов [7] використовував за величину зимового добового мінімуму значення середніх місячних мінімальних витрат води зимового періоду. Таким чином, стає зрозуміло, що невизначеність понять призводить до ототожнення генетично різних характеристик мінімального стоку води річок.

Найбільш популярним у сучасній гідрологічній науці є визначення О.М. Владімірова [23,24], згідно якого меженю вважається фаза водного режиму, яка спостерігається в маловодні сезони – зимовий, або літньо-осінній, і характеризується тривалими стійкими низькими значеннями витрат води [23,24]. Меженний стік – це стік води, який спостерігається в маловодні періоди за умов відсутності тривалих паводків. В період межені виділяється проміжок часу, в який спостерігається найменша кількість стоку води, тобто його мінімальний стік. Цей період може тривати від 1 до 30 діб і називається періодом мінімального стоку, коли річки у багатьої випадках переходять на підземне живлення. Важливо також враховувати, що величини мінімального стоку в періоди літньо-осінньої та зимової межені є генетично неоднорідними, тому виникає необхідність досліджувати їх окремо. Тривалість періоду мінімального стоку залежить від стійкості межені. Взимку межінь характеризується тривалістю періоду з від'ємними температурами, під час яких зупиняється поверхневе живлення. В літньо-осінній період тривалість меженного періоду залежить від кількості та інтенсивності опадів, що можуть формувати паводки [23-27] .

До основних розрахункових характеристик мінімального стоку згідно [116,122] відноситься середня витрата води за період межені, 30-добові витрати води, які визначають як середнє значення витрати води за 30 діб всередині літньо-осінньої або зимової межені, мінімальні витрати за 1 добу, або витрати води розрахункових забезпеченостей (75%, 90%, 95%, 97%, 99%).

Щодо питання вивчення мінімального стоку за кордоном, то тут прослідковуються різні тенденції як щодо термінології, так і щодо методів його розрахунків.

Міжнародний гідрологічний словник (International Glossary, 1974) [92] визначає термін «low flow» як стік води, який спостерігається на річках під час тривалого посушливого періоду – посухи («drougth»). Виділяється декілька типів посух – метеорологічна, сільськогосподарська та гідрологічна, також є поняття соціально-економічної посухи [49, 64,187,193,213].

Також в зарубіжній літературі існує таке поняття як «базисний стік» («base flow»), який відповідає генетичній компоненті стоку води, що формується за рахунок підземного живлення. В періоди низької водності річок витрати води формуються переважно підземними водами, а в період підвищеної – базисним і, так званим, «швидким» стоком. «Базисний стік» відповідає підземному стоку. В якості розрахункових характеристик найчастіше використовується «індекс низького стоку» – мінімальна витрата води за n-днів за кожен рік окремо. В США та Великобританії найчастіше використовують мінімальну витрату води за 7 діб повторюваністю 2 та 10 років. Закордонні гідрологи також оцінюють мінімальний стік за генетично однорідні періоди [193,195].

Ще одним етапом дослідження мінімального стоку за кордоном є його динаміка під дією кліматичних змін. Більшість досліджень присячена звичайно зміні середніх багаторічних показників. В роботі Liebscher H.J. [198] описується явище кліматичної нестабільності, наводяться регіональні варіації впливу кліматичних змін на мінімальний стік в різних частинах басейну Рейну. Majercakova O. В своїй роботі [201] звертає увагу на те, що значення середньорічних мінімальних витрат води річок Словаччини в останні десятиліття зменшується. Для річок басейну Міссісіпі було встановлено, що циклічність випадіння опадів відповідає загальний циклічності коливань стоку води, і було запропоновано методику розрахунку характеристик мінімального стоку з урахуванням циклічності кліматичних характеристик [188]. В роботі Wood T. [216] описано схему використання в гідрологічних розрахунках палеогідрологічних даних, що дозволило покращити точність оцінки повеней і посух. Arnell N. [176] вивчав можливості настання екстремальних небезпечних гідрологічних явищ на території Європи. Зв'язок між збільшенням кількості посушливих і теплих років та зниженням мінімального стоку не очевидна. Низькі маловоддя спостерігалися в Європі в середині 70-х років XX століття. В роботі Wilby R. [215] була розроблена модель, за допомогою використання якої було пов'язано прогнози кліматичних змін, які були отримані одержувані з моделей загальної циркуляції і прогнози гідрологічних характеристик в межах водозборів. Було встановлено, що найбільш схильними до впливу

кліматичних змін є річкові води 10% і 50% ймовірності перевищення, в той час як витрати 90% забезпеченості більше підпадають під вплив антропогенного характеру.

Важливим також є антропогенний вплив на тривалість межені. Так Querner E.та ін [196], використовували чотири фізико-математичних моделі з кроком в добу і місяць для встановлення такого впливу.

Проте, навіть враховуючи необхідність дослідження питання зв'язку мінімального стоку зі змінами клімату, зарубіжних робіт, присвячених дослідженню цього питання не так багато. На думку Smakhtin V. [210], питанням прогнозу мінімального стоку в умовах нестаціонарності кліматичних умов приділяється недостатньо уваги. Подальші дослідження повинні розвиватися в двох напрямах: як аналізу наявних історичних екстремумів, так і шляхом оцінки наслідків для стоку реалізації різних сценаріїв можливих кліматичних змін.

Таким чином, головним недоліком існуючих методів розрахунку мінімального стоку води на сьогоднішній день, як і раніше, визнається недостатня точність визначення його характеристик існуючими методами. Це обумовлено, по-перше, відносно малим об'ємом даних спостережень на мережі гідрологічних постів, значними похибками визначення мінімальних витрат; по-друге, великою проблемою для розрахунків є генетична неоднорідність мінімального стоку. У розрахунках гідрологи змушені використовувати ряди різної тривалості без обґрунтування вибору репрезентативного періоду. Дослідження таких важливих показників мінімального стоку як стаціонарність, однорідність і автокореляція проводяться також недостатньо [70]. При цьому висновки, отримані різними дослідниками щодо причин нестаціонарності в рядах мінімального стоку є неоднозначними [3,4].

В даний час одним з основних завдань гідрологічних розрахунків є розробка методів обчислень характеристик мінімального стоку при різному обсязі вхідної інформації з урахуванням кліматичних змін і антропогенного навантаження. Вирішення такого завдання має обов'язково включати в себе дослідження статистичної структури рядів з визначенням статистичної та генетичної однорідності рядів вихідної інформації [1,2].

1.2. Історія розвитку та підходи до дослідження мінімального стоку

1.2.1. Коротка історія дослідження мінімального стоку води річок. Дослідження мінімального стоку річок в історичному розрізі відбувалось в декілька етапів. Перші узагальнення щодо районування території Європейської частини СРСР були проведені ще в 1929 році Д.І.Кочеріним [74]. В кінці 30-х років XX століття ці дослдідження були доповнені Л.А.Сибірцевою [150].

Важливим етапом у дослідженнях мінімального стоку було включення гідрогеологічної складової, що зробило дослідження більш комплексними. Це дозволило диференціювати умови формування мінімального стоку по території. Так з'явилися схеми районування території на основі карт районів залягання підземних вод М.П. Распоповим [136]. Це дало можливість встановити, що модуль мінімального стоку збільшується пропорційно глибині ерозійного врізу або площі басейну річки і є більш однорідним всередині районів зі схожими гідрогеологічними умовами.

В 40-х роках XX століття В.А. Уриваєв [162] запропонував емпіричну залежність для врахування впливу озер. Йому також належить робота щодо аналізу кривих тривалості добових витрат. Значний внесок у розробку емпіричних розрахункових залежностей також в період 40-х років XX століття вніс Н.Д. Антонов [7]. Ним були розглянуті основні природні фактори, що впливають на формування мінімального стоку і, такі як геологічнаа та гідрогеологічна будова території та кліматичні умови. Ним були розроблені емпіричні залежності для розрахунку мінімальних середньодобових модулів стоку води для літнього та зимового періодів. Н.Д.Антоновим було запропоно використання непрямого методу розрахунку статистичних параметрів розподілу (*Cv* і *Cs)* рядів мінімального стоку, що дозволило визначати мінімальний стік різної забезпеченості, що дало можливість встановлення лімітів на водокористування в різні фази водного режиму. Аналіз сезонного стоку здійснювалися в контексті досліджень про внутрішньорічний розподілу стоку. Це обумовлювало необхідність призначення певних і постійних термінів початку і кінця сезонів для річок Європейської території Росії.

Найбільший внесок в розвиток розрахункових методів сезонного стоку наприкінці 50-х років XX століття вніс В.Г. Андреянов [4,5], який побудував карти ізоліній середнього багаторічного шару сезонного стоку за літньо-осінній та зимовий сезони для річок Східноєвропейської території. Ним була розроблена схема визначення сезонного стоку різної забезпеченості для річок з відсутніми даними спостереження, заснована на використанні параметрів кривої забезпеченості річного стоку і перехідних коефіцієнтів від цих параметрів до відповідних параметрів сезонного стоку. Рекомендації В.Г. Андреянова (1957р.) слугували основою регіональних описів сезонного стоку в аспекті його внутрішньорічного розподілу наступними вченими: М.П. Колпачев [71] - визначення сезонного стоку різної забезпеченості за зв'язками між модульними коефіцієнтами і річним стоком; І.М. Лівшиць (1974) [78] - розподіл по території сезонного стоку річок Білорусі; І.М. Стеженська (1971) [158] - зональні особливості стоку річок Західного Сибіру; А.М. Комлева (1973) [72] - зимовий стік різної забезпеченості річок Західного Сибіру).

В середині 50-х років XX століття Н.П.Чеботарьовим [171] була розроблена схема генетичного аналізу процесу формування мінімального стоку води, яка враховувала площу водних поверхонь, втрат на випаровування та льодоутворення. Ця схема виявилась досить складною.

Наступним етапом дослідження мінімального стоку були роботи, що проводились вченими Державного гідрологічного інституту (ДГІ, м.Санкт Петербург, Росія) в період 1960-1966 років. Вони ґрунтувались на поєднанні гідрологічного та гідрогеологічного підходів до вивчення умов формування мінімального стоку [12]. Щодо сучасних робіт, то варто відмітити також роботу Аржакова С.К., про зимовий стік кріолітної зони Росії [8], Болгова М.В. та ін. [17] про сучасні зміни мінімального стоку на річках басейну Волги.

Пріоритетний напрямок в дослідженнях мінімального стоку отримали методи математичної статистики та гідролого-генетичні методи. Ще в 1930 році опублікована робота Д.Л. Соколовського [152], з якої почалося активне впровадження апарату математичної статистики та теорії ймовірностей в розрахунки річкового стоку. Суттєве значення для розвитку цього напрямку мали праці С.Н.

Крицького і М.Ф. Менкеля [79], що сформували новий напрямок в дослідженні багаторічних коливань стоку на основі стохастичного моделювання. У них широко використовувалися методи теорії випадкових процесів.

1.2.2. Картування просторового розподілу мінімального стоку по територій. Перші спроби побудувати карти ізоліній мінімального стоку були здійснені 40-х роках XX століття Уриваєвим В.А. Це була карта ізоліній найменших річних середньодобових значень мінімального стоку для території Східноєвропейської рівнини [162].

На жаль, ця карта у поєднанні з картою Полякова Б.В. [120], не враховували генетичні особливості мінімального стоку води річок та об'єднувала літньо-осінні та зимові мінімуми.

Щодо картування мінімального стоку східноєвропейских територій, то у 60-х роках XX століття на основі досліджень російських вчених-гідрологів Баранова В.А. та Попова О.В. були створені карти підземного стоку та мінімального поверхневого стоку з урахування гідрогеологічних та гідрологічних умов [12,121].

В той самий час питанням мінімального стоку займався Владіміров О.М. [23-27], який в свої роботах звернув увагу не лише на розрахунок мінімального стоку, але і на коефіцієнт варіації та асиметрії. Ним вперше була розглянута комплексна проблема оцінки часових, кількісних і якісних характеристик сезонного та мінімального стоку з урахуванням впливу господарської діяльності людини. На початку 60-х років ним були розроблені принципи виділення меженних періодів, районування території СРСР за умовами живлення річок в меженний період. У його роботах проведено повний аналіз процесу формування стоку в маловодний період, класифіковані стокоутворюючі фактори, проведено визначення розрахункових характеристик стоку річок у меженний період при наявності гідрометричних спостережень і розглянута схема розрахунку за відсутності стаціонарних спостережень [23-27].

Низка робіт була присвячена вивченню залежностей мінімального стоку від величини ерозійного врізу: Боголюбова С.М. та Богомазової З.П. (1956р.) [15],

Лисенко К.А. (1966р.) [89], Євстигнєєва В.М (1983р.) [55], Христофорова А.В. (1993,1994) [167-168], Саковича В.М. (1999р.) [146], Волчека О.О., Грядуванової О.І. (2008р.) [30].

Вже у 50-тих роках XX століття вчені-гідрологи почали звертати увагу на те, що формування мінімальних витрат води в періоди літньо-осінньої та зимової межені відбуваються за різних умов, і їх дослідження варто розділити. Відповідно до генетичних особливостей формування мінімального стоку, підвищення точності розрахунків було пов'язано з комплексним гідролого-гідрогеологічних підходом. Такому підходу присвячені роботи А.М. Норватова [102], який розробив нову схему районування мінімального стоку малих річок на основі карти підземних вод М.П.Распопова [136]. Він підкреслював значний вплив гідрогеологічних умов у формуванні мінімального стоку води річок. Аналогічними дослідженнями займалися С.Н. Боголюбов і З.П. Богомазова [14].

1.3. Дослідження мінімального стоку річок України

Перші ґрунтовні дослідження мінімального стоку річок України здійснено в середині 50-х років минулого сторіття в роботі Чіппінг Г.О. та Лисенко К.А. [172]. Авторами виділено в межах України 13 районів за однорідністю гідрогеологічних умов формування мінімального стоку. На думку авторів головним фактором, що впливає на формування мінімального стоку у межах одного району є вертикальна гідродинамічна зональність підземних вод та величина ерозійного врізання долини річки. Вплив інших чинників, таких як рельєф, заболоченість, залісненість та ін., обумовлює відхилення від середніх значень по району. На підставі проведених досліджень було розроблено рекомендації для визначення мінімальних витрат розрахункових забезпеченостей, якими можна користуватися при відсутності матеріалів спостережень. Це питання також мало розвиток в інших роботах авторів [87-89].

В роботах Вишневського В.І. [21,22] було детально проаналізовано зміни стоку води, зокрема, мінімального на річках України, які відбувались у 90-х роках XX століття.

Також дослідження мінімального стоку річок України проводились в Одеському державному екологічному університеті. Вчені гідрологи приділяли увагу дослідженням змін мінімального стоку під впливом кліматичних змін, зокрема в басейні Дунаю (Тиса) та в межах Тилігульського лиману. Також проводилась оцінка посушливості річок Закарпаття (басейн р.Тиса) та розроблялись прогнозні значення за сценаріями глобального потепління [16,83,84,149].

Вчені УкрГМІ проводили комплексні дослідження коливань водності, в тому числи і мінімального стоку річок України під впливом кліматичних змін [41-46].

З початку 2000 років дослідження мінімального стоку річок проводяться в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, зокрема виконані комплексні гідролого-гідрохімічні дослідження мінімального стоку річок басейну Дніпра, Десни, Південного Бугу та річок Українських Карпат [40,49,58,125-131,142,143].

Оцінкам мінімального стоку гірських річок і зокрема річок Українських Карпат, в науковій літературі приділялось незначна увага. Натомість сучасні зміни клімату обумовили нагальні питання небезпечних гідрологічних явищ, які пов’язані, в тому числі з мінімальними витратами води гірських річок [144,192]. Зокрема Соловей Т.В. виконала для басейну р. Прут оцінку мінімального стоку [153,154]. Хільчевський В.К., Гончар О.М., Цепенда М.М. [165, 169] досліджували мінімальний стік карпатських і подільських річок басейну Дністра з огляду на формування екологічного стану та з урахуванням впливу господарської діяльності. Лобода Н.С., Хороняк Е.С. [166] застосовували статистичні методи оцінки мінімального стоку зимової межені річок Верхнього Дністра.

Варто зазначити, що мінімальний стік води річок басейну Тиси, як і регіону Українських Карпат, є недостатньо дослідженим, адже через надмірне зволоження території більша увага приділяється максимальному стоку води цього регіону [65,66,115,129,174,199].

Важливим також є картографування мінімального стоку річок України. Одним з перших спроб побудови карти розподілу мінімального стоку для України вцілому і Карпатського регіону зокрема наведені в Атласі природних ресурсів Української СРСР в 1978 році [9] (рис. 1.1).

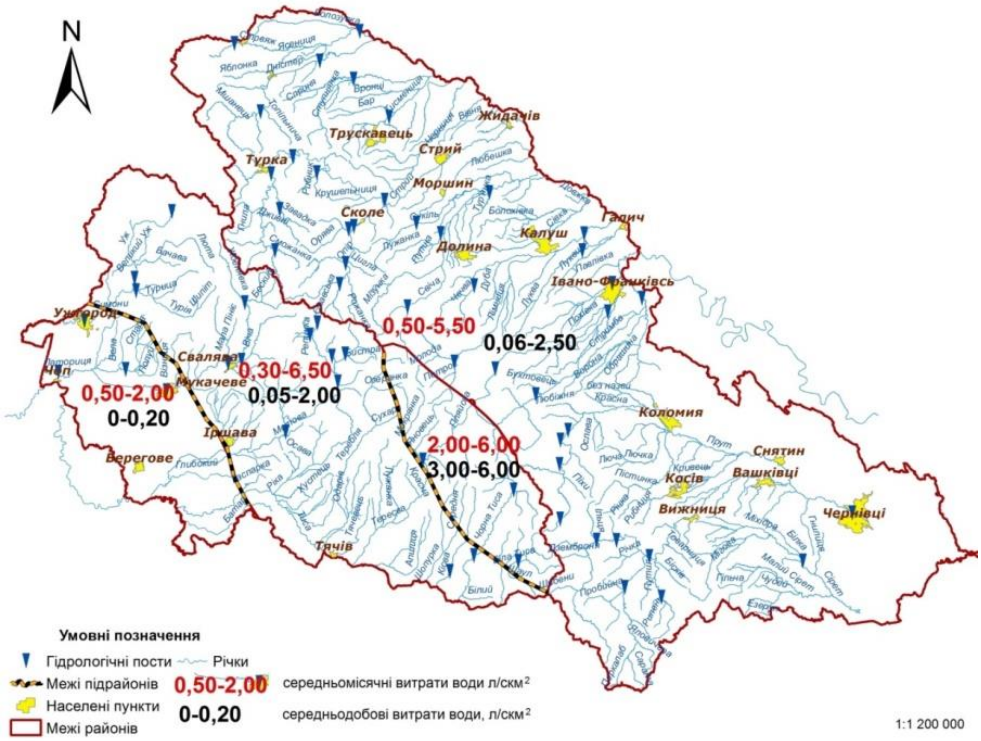


Рис. 1.1. Розподіл мінімального середньомісячного та середньодобового стоку малих річок Українських Карпат [9].

Виходячи з детального аналізу попередніх досліджень мінімального стоку для рівнинних та гірських річок виникає необхідність подальших досліджень, які можна сформувати у наступні завдання:

- врахування природних умови та вплив господарської діяльності на процеси формування мінімального стоку;
- встановлення внутрішньорічного розподілу стоку для виділення лімітуючих періодів та сезонів для проведення районування території;
- виконання оцінки мінімального стоку з урахуванням сучасних методів та підходів за весь період спостережень;
- встановлення багаторічних коливань мінімального стоку;
- виявлення зв'язків мінімального стоку з кліматичними, морфометричними та антропогенними факторами;

- створення картосхем модулів мінімального стоку води за 30 та за 7 діб та розробити перехідні коефіцієнти на різні забезпеченості відповідно до потреб для визначення мінімальних витрат води.

Поставлені задачі можна представити у вигляді блок-схеми послідовності виконання оцінок стосовно мінімального стоку річок басейну Тиси в межах України (рис. 1.2).

Першим блоком алгоритму роботи є аналіз існуючої інформації про дослідження мінімального стоку. В ньому має бути виконаний огляд літературних джерел щодо досліджень мінімального стоку вцілому, так його особливостей на гірських річках.

Другий блок алгоритму стосується вихідних даних для оцінки просторово-часової динаміки мінімального стоку води. Цей блок включає в себе збір гідрологічної, метеорологічної та картографічної інформації. Гідрологічна інформація включає в себе ряди даних про щоденні витрати води для всіх гідрологічних постів в межах досліджуваного басейну. На основі щоденних даних формуються ряди про мінімальні витрати води літньо-осінньої та зимової межені в період за 1 добу, 7 діб та 30 діб.

Метеорологічні дані представлені інформацією про щоденні опади та температури повітря на метеостанціях та гідрологічних постах в басейні Тиси в межах України. Картографічна інформація включає в себе дані дистанційного зондування Землі з відкритих джерел, дані радарної зйомки для створення цифрової моделі рельєфу, векторні шари гідрографічної мережі, пунктів спостереження за гідрологічними та метеорологічними показниками, топографічні карти різних масштабів, фізико-географічні карти, дані OSM та іншу просторову інформацію.

Рис. 1.2. Алгоритм виконання дослідження по оцінці і просторовому розподілу мінімального стоку води

Третій блок алгоритму представляє методичні підходи щодо аналізу мінімального стоку води річок. В ньому пропонуються нові підходи до визначення розрахункових величин мінімального стоку води. Крім того він містить такі підблоки, як оцінка внутрішньорічного розподілу стоку для проведення районування території; оцінка однорідності рядів гідрологічних даних; оцінка мінливості та визначення статистичних параметрів рядів мінімального стоку води річок басейну Тиси в межах України; оцінка багаторічних коливань для виявлення фаз підвищеної та пониженої водності.

Четвертий блок – оцінка зв’язків мінімального стоку. Він включає в себе 4 підблоки. Перший - це визначення мінімальних витрат води за 7 діб заданих забезпеченостей та встановлення перехідних коефіцієнтів. Другий підблок містить емпіричні регіональні залежності мінімального стоку з морфометричними характеристиками водозбору. Третій присвячений оцінці зв’язків мінімального та середнього стоку. Четвертий узагальнює зв'язок мінімального стоку з опадами та температурами повітря.

П’ятий блок алгоритму характеризує просторовий розподіл мінімального стоку води. При його реалізації виконана оцінка часових змін мінімального стоку для актуалізації існуючих схем розподілу мінімального стоку води за 30 діб та проведений аналіз діючих нормативних документів та існуючих картографічних матеріалів для визначення мінімального стоку води.

Шостий блок – методика візуалізації просторового розподілу мінімального стоку води складається зі створення картосхем модуля мінімального стоку води за 30 та за 7 діб для літньо-осінньої та зимової межені, а також оцінка їх достовірності. Попередні блоки наведеного алгоритму дають підстави до розроблення основних методичних положень стосовно візуалізації просторового розподілу мінімального стоку досліджуваних річок, порівняння отриманих сучасних картосхем з існуючими та оцінки їх достовірності.

Представлений на рис. 1.2 алгоритм узагальнює послідовність проведення досліджень стосовно мінімального стоку річок басейну Тиси (в межах України) і буде реалізований в даній роботі.

1.4 Висновки до розділу 1

1. При розгляді проблематики досліджень мінімального стоку було встановлено, що існують значні розбіжності у визначеннях для описання періодів мінімального стоку та основних розрахункових величин як у вітчизняних, так і закордонних вчених. Також певна увага була приділена врахуванню генетичних особливостей формування мінімального стоку. Проаналізовано та встановлено недоліки раніше створених та нині діючих карт просторового розподілу мінімального стоку води.

2. На фоні загальної оцінки мінімального стоку були розглянуті роботи, присвячені дослідженням мінімального стоку рівнинних та гірських річок території України, зокрема басейну Тиси. Враховуючи паводковий характер річок басейну цей регіон досить рідко потрапляв під увагу вчених, які займались дослідженнями мінімального стоку. Лише в останні десятиліття, враховую кліматичні зміни та збільшення тривалості та інтенсивності посушливих періодів загалом, вченими були розпочаті комплексні дослідження мінімального стоку води річок басейну Тиси. Була врахована генетична однорідність меженних періодів, значна увага приділяється використанням сучасних методів оцінки просторово-часової динаміки мінімального стоку, створенню сучасних карт мінімального стоку різної забезпеченості. Запропонований алгоритм виконання дослідження оцінки просторово-часового розподілу мінімального стоку річок басейну Тиси в межах України.

РОЗДІЛ 2

ПРИРОДНІ УМОВИ ТА ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ НА ТЕРИТОРІЇ БАСЕЙНУ ТИСИ

Важливими факторами, які впливають на процес формування мінімального стоку є атмосферні опади та гідрогеологічні умови території. Крім того на величину та режим мінімального стоку впливає випаровування, температура повітря та ґрунтів, дефіцит вологи грунту, потужність та кількість водоносних горизонтів, рельєф водозбору, його озерність, заболоченість та лісистість.

Для річок басейну Тиси в межах України характерним є гірський рельєф, в якому формується стік води головних приток, значна кількість опадів протягом всього року. Далі річки виходять на Закарпатську низовину, яка характеризується значно меншими абсолютними висотними відмітками, незначною розчленованістю рельєфу та більш м’якими з меншою зволоженістю кліматичними умовами [10,100,132,135,163].

Мінімальний стік річок басейну Тиси в межах України складає близько 20-35% від річного стоку. Підземна його складова представлена водами зони активного водообміну, водами алювіальних відкладів та іноді часткою поверхневого стоку, який формується опадами[82].

2.1. Геологічна будова та рельєф

Територія басейну Тиси в межах України розташована в межах альпійської складчастості Українських Карпат, яка розділяється сегментом центральної шовної зони Закарпатського розлому. Вона складена двома структурними поверхами (рис. 2.1). Нижній – це Закарпатський прогин і Складчасті Карпати. Тут розвинені інтенсивно дислоковані осадові, вулканогенні та метаморфічні утворення палеозою та мезозой-кайнозою.

Складчасті Карпати сформовано карбонатно-теригенними та теригенними мезозой-кайнозойськими формаціями, які представлені декількома структурно-фаціальними зонами, які також значно дислоковані [18,35].

Верхній структурний поверх (Закарпатський внутрішній прогин) складається з неоген-четвертинних осадових, вулканогенних та вулканоміктових, вугленосних моласових утворень, які розташовані субгоризонтально і утворюються покривний комплекс [52-53].

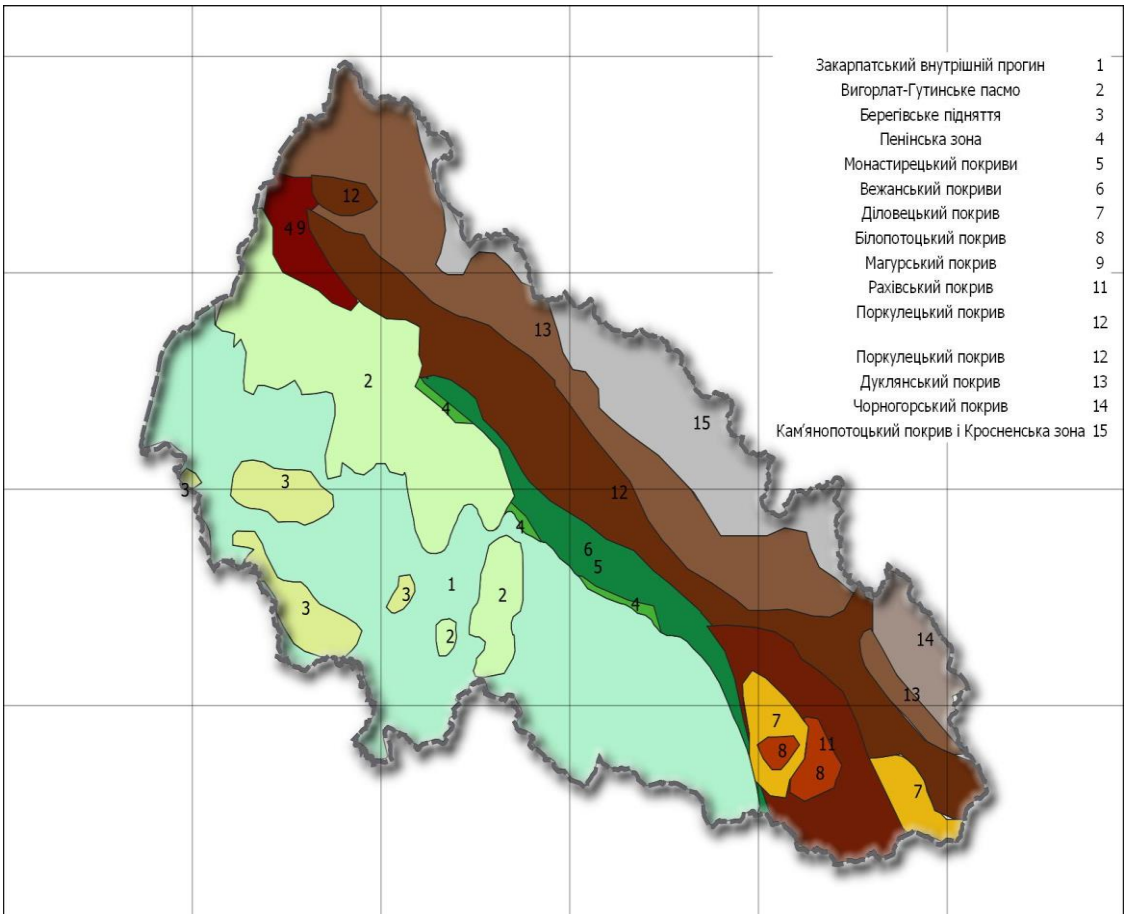


Рис. 2.1. Схема структурно-фаціального районування території [52-53]

З перерахованими геологічними структурами тісню пов’язані явища, які впливають на формування мінімального стоку води. Серед них фільтраційні особливості структур, похили поверхні стікання, тріщинуватість порід, тощо [32,35].

В рельєфі територія представлена двома орографічними зонами – це гори та передгір’я Карпат та Закарпатська низовина. В межах басейну розташовані три

групи хребтів – ланцюг Полонинських гір, Горгани, Вулканічний хребет (Вигорлат-Гутинський) (рис. 2.2).

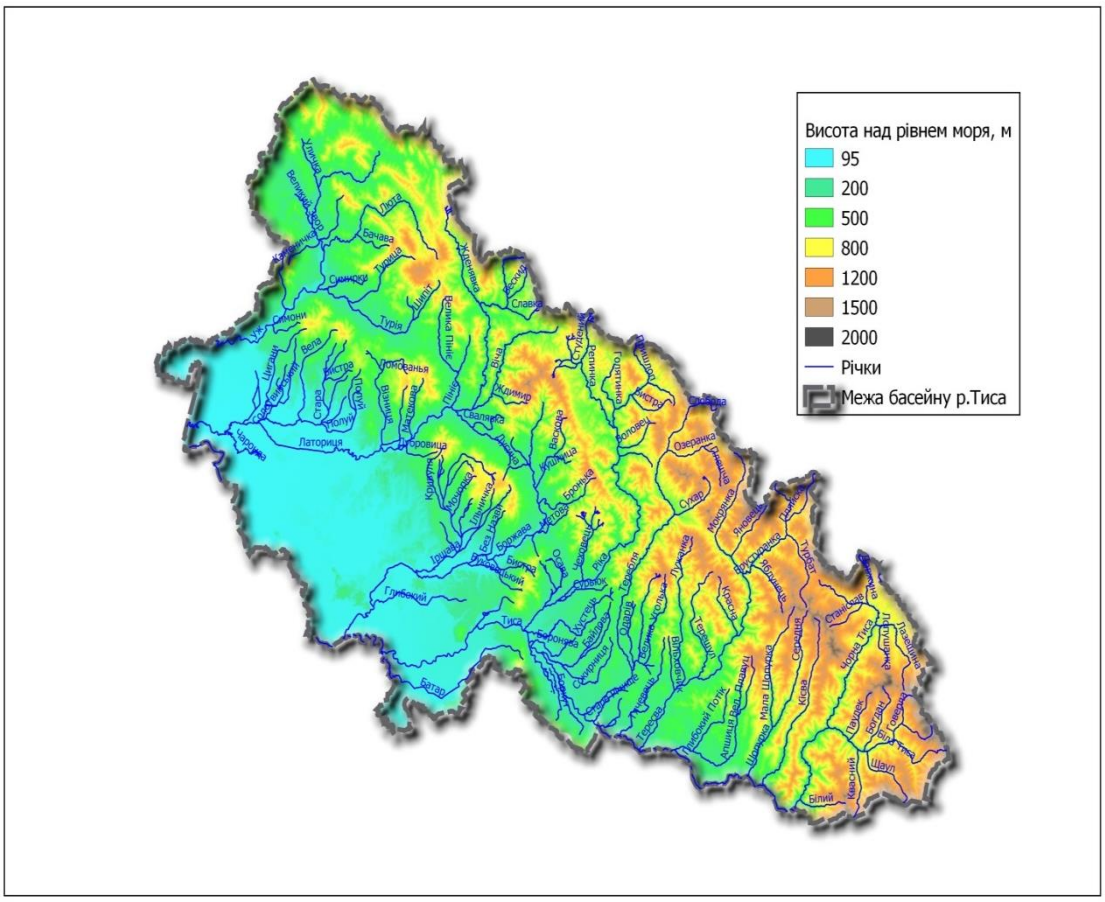


Рис. 2.2. Рельєф території басейни р.Тиса в межах України

Абсолютна висота Полонинского хребта збільшується з північного заходу на південний схід від 1400 м на полонині Рівна до 2000 в Чорних горах. Для цих гір характериними є широкі плоскі вершини, такі як Рівна, Боржава, Сводовець. Щодо Горган, то вони розділяються такими річками як Мокрянка та Тересва на західні та східні. Східні Горгани вищі, ніж західні. В межах Вулканічного хребта на північному заході від річки Тиси знаходяться Вигорлатські гори із середніми висотами 800-1000м. На північ від річки Тиса – Гутинські гори з висотами 700-800м. Притоки Латориці і Боржави розчленяють передгір’я на окремі ували з пласкими вершинами. Закарпатська низовина займає 35% від площі баейну. Це рівнина з окремими гривами та горбами. Тут переважають висоти до 200м. Проте в межах рівнини в районі Берегового також розташовані гори, утворені вулканічними породами.

2.2. Гідрогеологічні умови території басейну Тиси

Виходячи з того, що мінімальний стік формується в меженний період, коли річки переходять на підземне живлення, важливим є розгляд гідрогеологічної будови території басейну Тиси.

Гідрогеологічні умови території басейну Тиси визначаються геологічною будовою, кліматом та рельєфом, що впливають на формування комплексу водоносних горизонтів, мінеральних та термальних вод [11,70].

В межах басейну Тиси виділяється два басейни підземних вод – Карпатський та Закарпатський [136] (рис. 2.3).

Карпатський басейн підземних розташований в межах складчастої структури Українських Карпат. В межах його беруть свій початок головні притоки Тиси. До водовмісних порід Карпатського басейну відносяться теригенні флішові породи крейди і палеогену, зім’яті в численні складки, часто розірвані, перевернуті та ускладнені насувами. Глинистий склад флішових порід обумовлює слабку обводненість басейну. Характерні також інтенсивні денудаційні процеси, які впливають на формування зон екзогенної тріщинуватості, які є одними із основних територій накопичення та руху підземних вод. Це призводить до невеликої кількості водоносних горизонтів як по площі, так і по глибині. В межах Карпатського басейну рух підземних вод відбувається в зонах вивітрювання та тектонічної тріщинуватості. Підземні води зони вивітрювання є безнапірними та прісними. В той самий час в зоні тектонічної тріщинуватості характерні напірні та мінералізовані води.

Рис. 2.3. Басейни підземних вод території басейну Тиси в межах України [136]

Підземні води Карпатського басейну живляться за допомогою випадіння атмосферних опадів, їх розвантаження відбувається гідрографічною мережею басейну Тиси. У верхів’ях основних приток річки Тиса водопостачання населених пунктів відбувається з джерел та криниць, які беруть воду з горизонтів алювіальних утворень річкових долин, а також з делювіальних та пролювіальних відкладів корінних порід.

Другий басейн підземних вод – Закарпатський, який розташований в межах Закарпатського внутрішнього прогину. Тут значне поширення займає прісний водоносний горизонт алювіальних відкладів, з якого і відбувається водозабезпечення населення. Цей горизонт є безнапірним. Незначна потужність покриву призводить до незахищеності водоносного горизонту від поверхневих джерел надходження різних речовин, в тому числі і забруднюючих, що може призвести до зниження якості підземних вод. Живиться цей водоносний горизонт

інфільтраційними водами атмосферних опадів. Розвантаження його відбувається в річки басейну Тиси [121].

Горизонти в четвертинних відкладах алювію та делювію є важливими у формуванні стоку в період межені. Алювій в річкових долинах поступово збільшує свої товщі за площею від гірської до рівнинної частини басейну. Ці водоносні горизонти мають тісний зв'язок в русловими водами. Атмосферні опади під час проходження частих паводків в басейні Тиси накопичуються в алювіальних товщах, і потім в меженні періоди живлять річки [91].

Алювіальні відклади в межах водозборів Тиси, Боржави та Латориці є найбільш насичені водою. Дебіти свердловин в нижніх течіях коливаються від 20 л/с до 0,02 л/с на різних терасах. Обводненість території є досить неоднорідною в межах міжгірських депресій, передгірських котловин та гірських частинах долин річок. Зазвичай води другої та третьої терас в значному ступені дреновані, дебіти свердловин не перевищують 0,5 л/с. Найбільш водовмісними є свердловини, які знаходяться в межах заплавних та призаплавних частинах річкових долин. Вони характеризуються водомісткістю до 6 л/с.

В межах басейну прослідковується чітка висотна поясність розподілу водовмісних корінних порід та зв'язок їх з модулями мінімального стоку. Так, найбільші дебіти підземних вод характерні для гірської частини басейну, верхів’їв річок, які починаються на висоті більше ніж 1200 м. Ця територія характеризується максимальною кількістю опадів. Річки на висоті від 500 до 1100 м отримують трохи меншу кількість опадів (1100-1300 мм). Дебіти підземних вод на цих висотах коливаються в межах 0,1-0,5 л/с. Найменші дебіти джерел (0,01-0,1 л/с) формуються на рівнинній частині басейну з абсолютними висотами 100-200 м [91]. Це територія Закарпатської низовини, де знаходяться гирлові ділянки Ужа, Латориці та Боржави, для яких середньорічна сума опадів становить 700-800 мм.

Для річок басейну Тиси характерні різні джерела живлення. В багатоводні роки переважними типом живлення є дощове, яке становить 55-66%. Друге місце займає підземне живлення – 30%, на частку снігового живлення припадає 10-15%. Щодо маловодних років, то в цей період дощове та снігове живлення знаходиться у

рівному співвідношенні і займає приблизно 30-35%. В певній мірі в маловодні роки переважає підземне живлення, яке становить 30-40% від річного [82,100].

2.3. Кліматичні умови території басейну Тиси

Для достовірної кліматичної характеристики території досліджень були використані дані спостережень метеорологічних станцій та гідрологічних постів річок басейну Тиси в межах України. Спостереження проводяться на 9 метеорологічних станціях (Берегове, Великий Березний, Міжгір'я, Нижні Ворота, Нижній Студений, Плай, Рахів, Ужгород, Хуст) та 12 гідрологічних постів (Великий Бичків, Вилок, Довге, Колочава, Луги, Нересниця, Руська Мокра, Свалява, Тячів, Усть-Чорна, Шаланки, Ясіня) (рис.2.4).

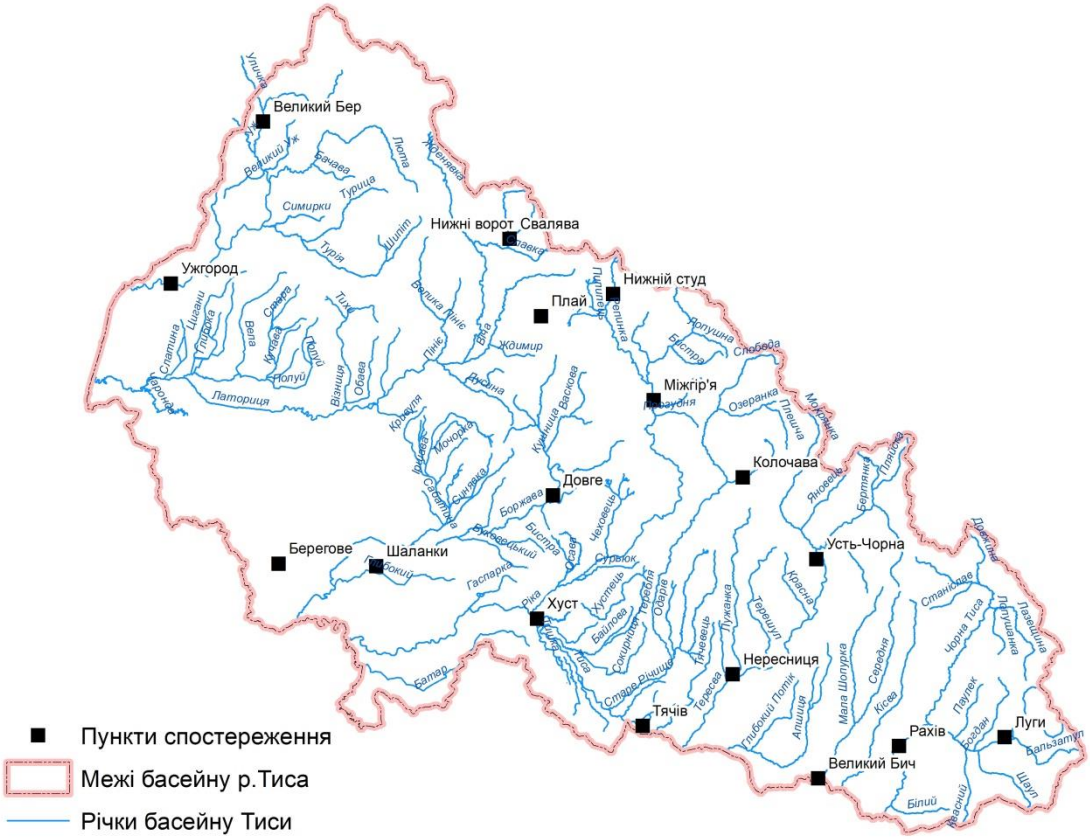


Рис. 2.4. Схема розміщення пунктів спостереження за кліматичними показниками

Вибірки даних з метеорологічних станцій, розташованих на території басейну Тиси, для подальшого аналізу та обробки, складає від 43 до 67 років.

Для гідрологічних постів були використані дані суми опадів за рік. Період спостережень з гідрологічних постів теж складав від 45 до 63 роки (від початку спостережень до 2015 року) [48,183].

Враховуючи особливості рельєфу території важливим є врахування висотної поясності. Тому усі метеорологічні станції та гідрологічні пости були поділені за висотою розташування над рівнем моря на низовинні (0 –200 м), передгірні (200 – 500 м), низькогірні (500 – 800 м) та гірські (800 – 1500 м). Гідрологічний пост на р.Боржава-с.Довге та метеорологічна станція Хуст були віднесені до передгірських територій, хоча висота станцій не сягає 200 м над рівнем моря. Це пов'язано з тим, що станції та пости розташовані на рівнинній території з оточуючою гірською місцевістю, яка значно впливає на розподіл опадів протягом року (табл.2.1).

Таблиця 2.1

Класифікація метеорологічних станцій та гідрологічних постів за висотою розташування над рівнем моря

Низовинні (0-200м)	Передгірські (200-500 м)	Низькогірські (500-800 м)	Середньогірські (800-1500м)
Берегове, Вилок, Ужгород, Шаланки	Великий Березний, Великий Бичків, Довге, Міжгір'я, Нересниця, Нижні Ворота, Рахів, Свалява, Тячів, Хуст	Колочава, Луги, Нижній Студений, Руська Мокра, Усть-Чорна, Ясіня	Плай, Пожежевська

Атмосферні опади. Атмосферні опади є одним із головних факторів формування річкового стоку взагалі, та мінімального, зокрема. Величина стоку залежить від агрегатного стану опадів та їх розподілу по території. Дощі теплого літнього періоду дають значно менший стік, ніж прохолодного осіннього. Зимові опади не дають поверхневого стоку в холодні місяці, вони формують весняні

паводки. Від рівномірності випадіння опадів залежить їх проникнення в ґрунт, яке більше при тривалих дощах та менше при зливових. Проте тут також важливо враховувати не лише характер і частоту випадіння опадів, а й особливості будови території, експозиції схилів, складу ґрунтів [19].

Закономірності атмосферної циркуляції та складна орографічна будова Українських Карпат обумовлюють в басейні Тиси строкаті кліматичні умови. Вся територія басейну відноситься до області надлишкової зволоженості. Загальний розподіл кількості опадів в межах басейну нерівномірний. Це обумовлено як різною кількістю опадів за висотою місцевості, так і різною орієнтацією окремих хребтів відносно руху вологих повітряних мас. Середньорічна кількість опадів змінюється від 700 до 1500 мм, із них в холодний період року випадає 200-500 мм, а в теплий 500-1000 мм (рис. 2.5, табл. 2.2).

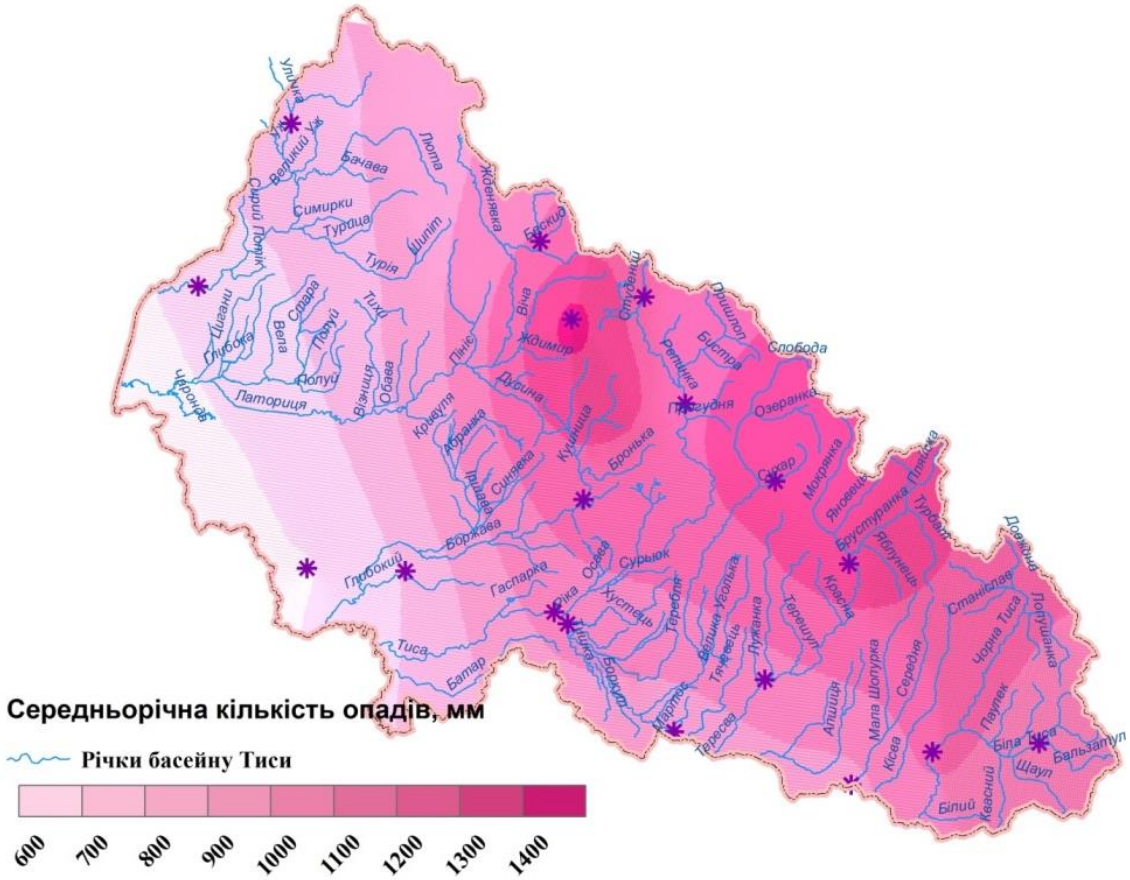


Рис. 2.5. Розподіл середньорічної кількості опадів, мм

Таблиця 2.2

Період спостережень за кількістю опадів на метеостанціях та гідрологічних постах в басейні Тиси в межах України

№	Метеостанції та гідрологічні пости	Період спостережень та сума опадів за рік, мм	
1	2	3	4
1.	р. Тиса – Рахів	1947-2015	1199
2.	р. Тиса – Тячів	1950-2015	904
3.	р. Тиса - Великий Бичків	1948-2015	891
4.	р. Тиса – Вилок	1954-2015	694
5.	р. Чорна Тиса - Ясіня	1948-2015	921
6.	р. Біла Тиса – Луги	1951-2015	1009
7.	р. Тересва - Усть-Чорна	1951-2015	1296
8.	р. Тересва - Нересниця	1951-2015	1046
9.	р. Теребля – Колочава	1967-2015	1312
10.	р. Мокрянка - Руська Мокра	1947-2015	1212
11.	р.Боржава – Довге	1951-2015	1163
12.	р. Боржава – Шаланки	1961-2015	772
13.	р. Латориця – Свалява	1951-2015	984
14.	Великий Березний	1947-2015	843
15.	р. Уж – Ужгород	1947-2015	734
16.	Берегово	1947-2015	658
17.	Міжгір'я	1947-2015	1176
18.	Нижній Студений	1947-2015	1040
19.	Хуст	1947-2015	1044
20.	Нижні Ворота	1950-2015	1052
21.	Плай	1969-2015	1554

Максимальна кількість опадів характерна для високогірних хребтів Полонинсько-Чорногірської області, яка проходить широкою смугою з північного заходу та південний схід від верхів’я Латориці до верхів’я Тиси. Тут кількість опадів зростає з висотою місцевості от 1000 до 1500 мм, а в межах гірського масиву Чорногора їх величина складає 2000 мм. В області Вулканічних Карпат кількість

опадів коливається від 1000 до 1200 мм. Найменша кількість опадів випадає на Закарпатській низовині, де середньорічна кількість опадів складає 700-800 мм та лише в передгірській частині досягає 1000 мм. Найбільший шар опадів спостерігається в високогірній частині (більше 1500мм).

Територія басейну з висотами 150 – 250 м мають помірну кількість опадів – 600 – 700 мм. Смуга високих (300 – 560 м) передгір'їв досить добре зволожена. Річна сума опадів зростає тут до 1000 мм.

Річний хід опадів на всій території однотипний. Більша частина їх (70 – 80%) випадає в теплий період року, переважно у вигляді злив. Найбільш дощовими є літні місяці. Мінімум опадів спостерігається в січні. Зимові опади випадають переважно у вигляді снігу. Кількість днів зі снігом, тривалість і потужність снігового покриву в регіоні різні.

Взимку кількість опадів зменшується. Осінь – найсухіша пора року. Найменша кількість опадів в цей період випадає на Закарпатській низовині. Найбільша кількість опадів (від 90 до 100 мм) протягом осіннього періоду випадає на південно-західних схилах, що пов’язано з проходженням південних циклонів [69].

Температура повітря. Температура повітря впливає на формування літньо-осіннього мінімального стоку через інтенсивність випаровування, а зимового – через інтенсивність льодоутворення [19,69].

В басейні Тиси мінімум припадає на січень, а максимум – на липень. Річна ізотерма 8,5°С відокремлює низовину і смугу південного передгір`я від холодніших гірських районів. При цьому за температурними умовами р. Ріка поділяє гірську територію приблизно на дві рівні частини: західну і східну. Західна частина тепліша, середні річні температури тут становлять 4,5-8,5°С. Східна частина холодніша, тут переважають середні річні температури 3,0-6,5°С. Річна амплітуда середніх місячних температур повітря найбільша у Хустській улоговині (25,1°С) і Закарпатській низовині (23,7°С – м. Чоп). Тут континентальність клімату виявлена найбільше (рис. 2.6, табл. 2.3) [93,94,134].

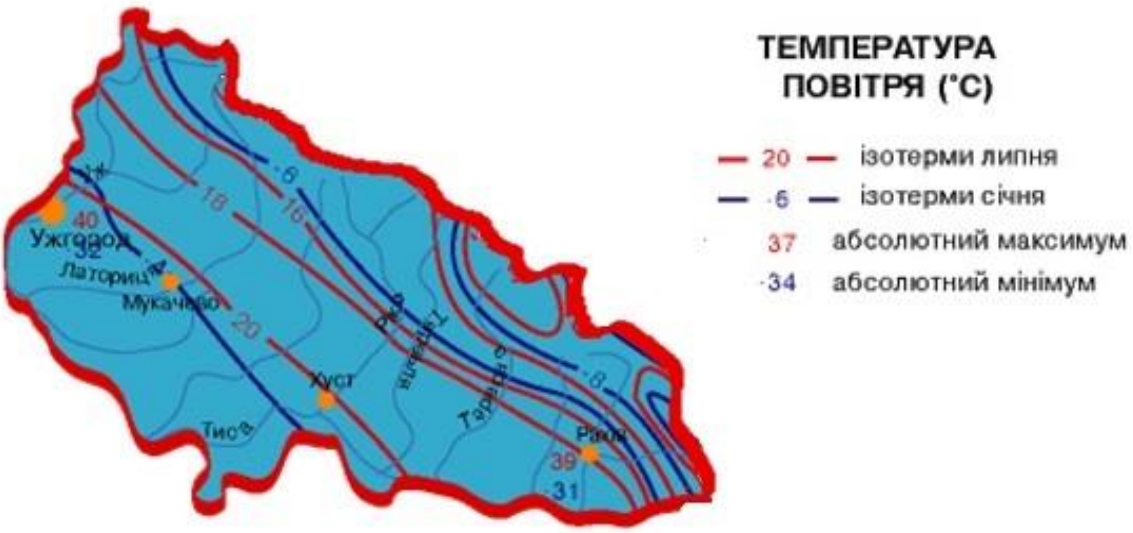


Рис. 2.6. Розподіл ізоліній середньорічних температур повітря в басейні Тиси [73]

Таблиця 2.3

Період спостереження та середньорічна температура повітря на метеостанціях в басейні р.Тиса в межах України

№	Метеорологічна станція	Середньорічна температура повітря, °С	
		Період спостережень	°С
1	Ужгород	1947-2015	9,9
2	Рахів	1948-2015	7,6
3	Берегове	1951-2015	10,2
4	Великий Березний		8,4
5	Міжгір'я		7,0
6	Нижній Студений		5,8
7	Хуст		9,1
8	Нижні Ворота		6,9
9	Плай	1969-2015	2,9

Зима на Закарпатській низовині коротка, м`яка і нестала. Вона починається з середини грудня. Погода взимку хмарна, волога з туманами, температурами близько 0°С. В горах зима більш сувора і починається наприкінці листопада – на початку

грудня. Середня температура січня в Ужгороді – -2,9°С, з морозами до – 28°С. Середні температури січня становлять: Солотвино – -4,2°С, Хуст – -3,7°С, у горах – -8,9°С. Найтепліший місяць у Закарпатті – липень. У цей час середня температура повітря становить у м. Ужгород – 19,9°С, м. Хуст – 19,5°С, м/с Плай – 11,5°С. Середня добова температура у липні 15-25°С, а максимальні відмітки досягають 37°С. У горах вона значно нижча, а на полонинах становить лише 7-8°С. Так, середні річні температури повітря змінюються від 7 – 10° на рівнинах до 5° в низькогір'ях, від 3° в середньогір'ях до 0,6° у верхньому ярусі гір [161].

Сніговий покрив впливає на формування зимового мінімального стоку опосередковано. Залежно від того, коли, при яких температурних умовах і зволоженості території утворився сніговий покрив, залежить величина мінімального стоку (рис.2.7).

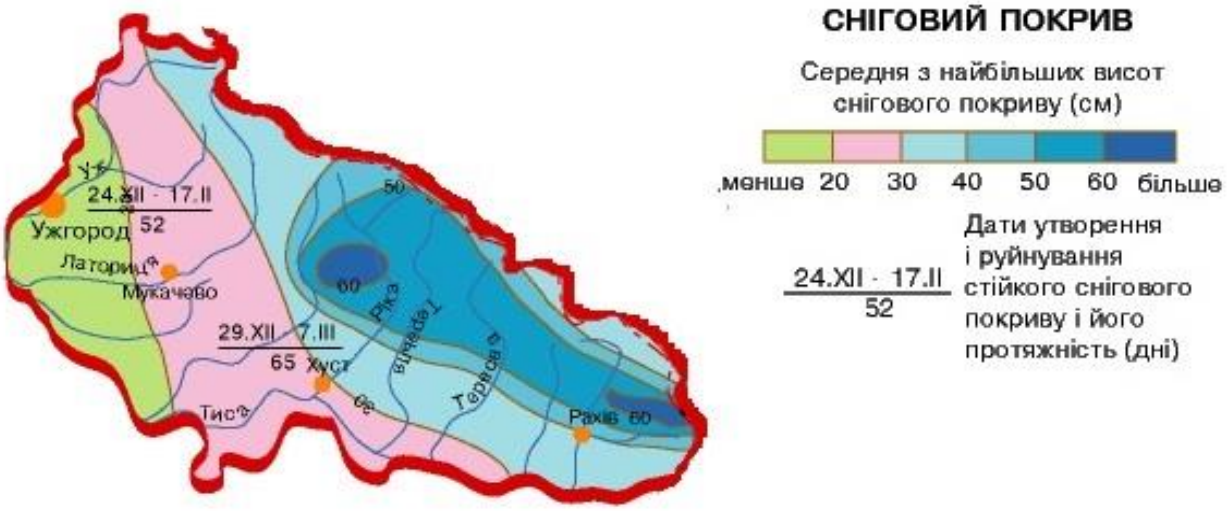


Рис. 2.7. Розподіл висоти снігового покриву, см [73]

Сніговий покрив захищає від сильного промерзання ґрунтів та забезпечує ґрунтове живлення. Перший сніг на передгірних рівнинах з’являється в кінці жовтня – на початку листопада. Формування стійкого снігового покриву завершується лише в третій декаді грудня. Внаслідок регулярних відлиг він сильно руйнується, іноді зникає зовсім. Найпотужніший сніговий покрив (10–30 см) спостерігається в середині лютого. В другій половині березня сніг повністю сходить. У горах найбільша потужність снігового покриву спостерігається в кінці лютого – на

початку березня: 70–90 мм на північно-східному схилі і до 300 см на південно-західному. Інтенсивне танення снігу відбувається в квітні [73].

Як видно з рис. 2.7 найбільша висота снігового покриву характерна найбільшим висотам басейну, де і формується найвищі показники модуля стоку води, зокрема і мінімального.

2.4. Характеристика ґрунтів

Ґрунтовий покрив відіграє важливу роль у формуванні мінімальних витрат води завдяки своїм водно-фільтраційним властивостям, які визначають здатність поглинати вологу та інтенсивність випаровування.

Неоднорідність ґрунтоутворювальних порід, висотна поясність, унікальність кліматичних умов та різноманітний рослинний покрив території басейну Тиси впливають на формування диференційованого складу ґрунтів [133,164].

Оскільки територія басейну поділяється на дві частини – гірську та рівнину, то відповідно і ґрунтовий покрив значно відрізняється в межах цих територій. Гірська частина басейну характеризується буроземним типом. Тут значну роль відіграє рельєф території, який впливає на перерозподіл рослинного покриву, тепла та вологи, та зумовлює висотну поясність ґрунтів. Ґрунтові покриви на гірських схилах є молодими утвореннями, з незначною потужністю, де розвиваються денудаційні процеси. Тут значно швидше відбуваються ерозійні процеси. На витоках річок басейну з висотами 1100-1200м сформувались гірсько-лучно-буроземні ґрунти, на ділянках вільних від лісу - поширені дерново-буроземні ґрунти (рис.2.8) [6,20].

Пологі гірські схили та річкові долини характеризуються суглинковими буроземно-підзолистими та лучно-буроземними ґрунтами [20,119,91].

Ґрунти рівнинної частина басейну формуються під впливом теплого та вологого клімату. Переважають давні та сучасні материнські алювіальні та делювіальні відклади важкого механічного складу. Ці території вкриті дерново-опідзоленими глеюватими і глейовими або бурими глейовими ґрунтами. Важливими також з точки зору формування мінімального стоку є ґрунти на заплаві.

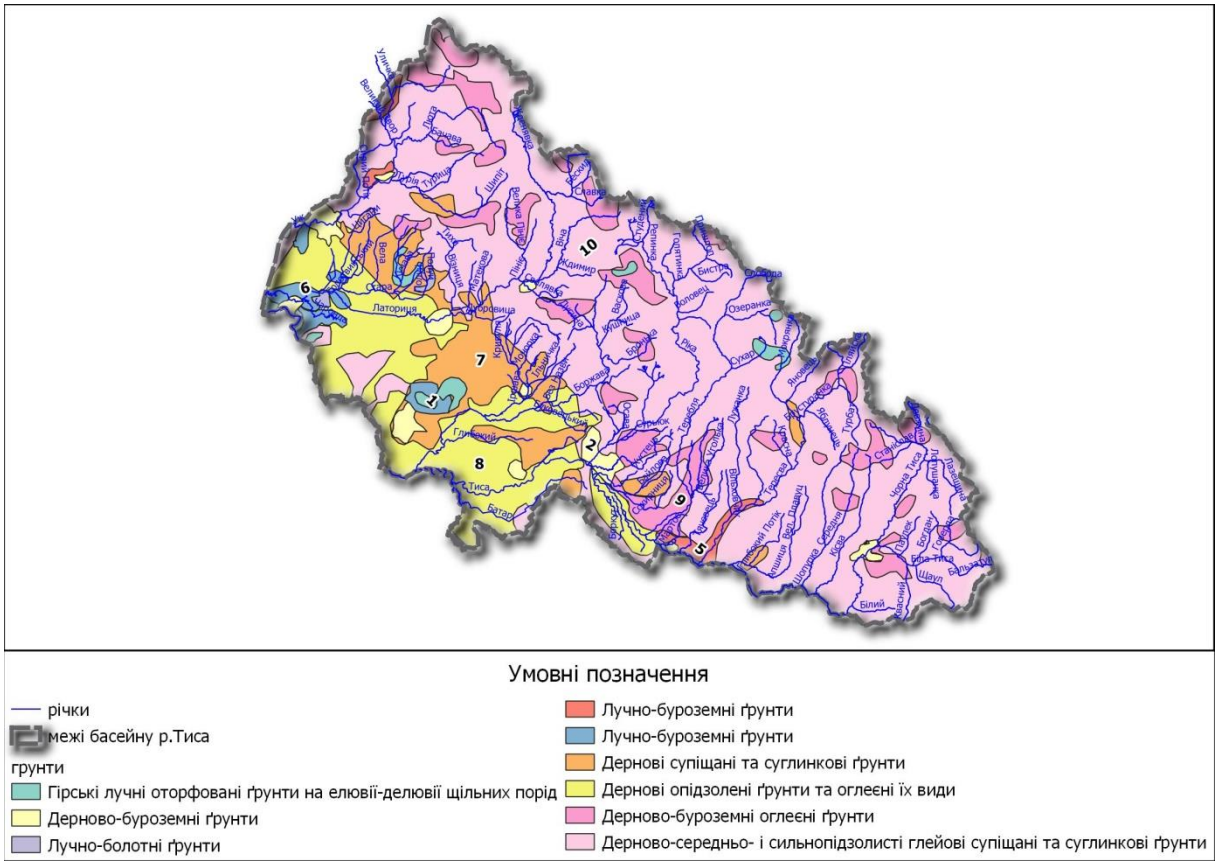


Рис. 2.8. Схематична карта ґрунтів території басейну Тиси [190]

Лучні та лучно-глейові ґрунти характерні для територій заплав в басейні Тиси. Болотно-глейові і лучно-глейові ґрунти переважають в долинах Боржави та Іршави. Світло-бурі лісові ґрунти розташовані у верхів'ях річок Ужа, Латориці, Ріки. Щодо верхів'їв Боржави, Тереблі, Тересви, Чорної і Білої Тиси, то в їх межах переважають бурі гірсько-лісові ґрунти. Домінуючим типом ґрунтів у нижній течії таких річок як Уж, Латориця і Боржава є дерново-опідзолені оглеєні ґрунти [119 133].

2.5. Вплив господарської діяльності на умови формування мінімального стоку

На величину мінімального стоку річок також значний вплив має рівень господарського використання території басейну. Для оцінки впливу антропогенного навантаження необхідно враховувати такі його види, як сільськогосподарське,

житлово-комунальне, транспорте, промисловість, меліорацію, рекреацію. Також окремо слід враховувати динаміку та стан лісових територій басейну [33,34,39].

Територія басейну річки Тиса в межах України багата на запаси поверхневих водних ресурсів. Цих вод цілком вистачає для водозабезпечення різних галузей господарства, таких як питне водопостачання, гідромеліорація, рибне господарство, гідроенергетика та ін. Гідроенергетичний потенціал, як ресурс річок басейну Тиси становить 1092435 кВт або 1092 МВт [107, 109, 112,114,202].

Також в басейні останнім часом розвивають такі гідромеліоративні роботи як осушення перезволожених земель. Найбільші осушувальні системи Закарпатської області – Берегівська, Латорицька, Батарська, Сальвінська та осушувальна система «Чорний Мочар» [54,101].

Враховуючи паводковий режим річок басейну на прибережних ділянках побудовані водозахисні дамби особливо вздовж Тиси, Боржави та Латориці. Загальна довжина дамб сягає понад 500 км [54]. Важливо також зазначити, що мінімальний стік на гірських річках можна регулювати за допомогою використання системи руслових польдерів, які акумулюють воду в період паводків, та спрацюювують її в межень [157].

Ще одним видом водогосподарського використання територій є функціонування водоочисних споруд, кількість яких значною мірою визначається об’ємами водоспоживання території басейну Тиси.

Щодо водокористування, то станом на 2017 рік в області нараховується близько 450 водоспоживачів (рис. 2.9).

Територія басейну р. Тиса в межах України, як вже було зазначено, добре забезпечена водними ресурсами. За міжнародною класифікацією вона відноситься до середньозабезпечених регіонів з показником 6,19 тис. $м^3$ води/жителя. Основними джерелами водопостачання є поверхневі води басейну р. Тиса та підземні води алювіальних відкладів. Сумарні ресурси поверхневого стоку у середньоводний рік складають 13300 млн. $м^3$, у маловодний – 7290 млн. $м^3$. Крім вод р. Тиса, до них входять 9 водосховищ (загальна ємність 59,3 млн. $м^3$), 286 ставків

(загальна ємність 10,056 млн. м^3) та 32 озера, серед яких найбільшим є оз. Синевір об’ємом 1,75 млн. м^3.

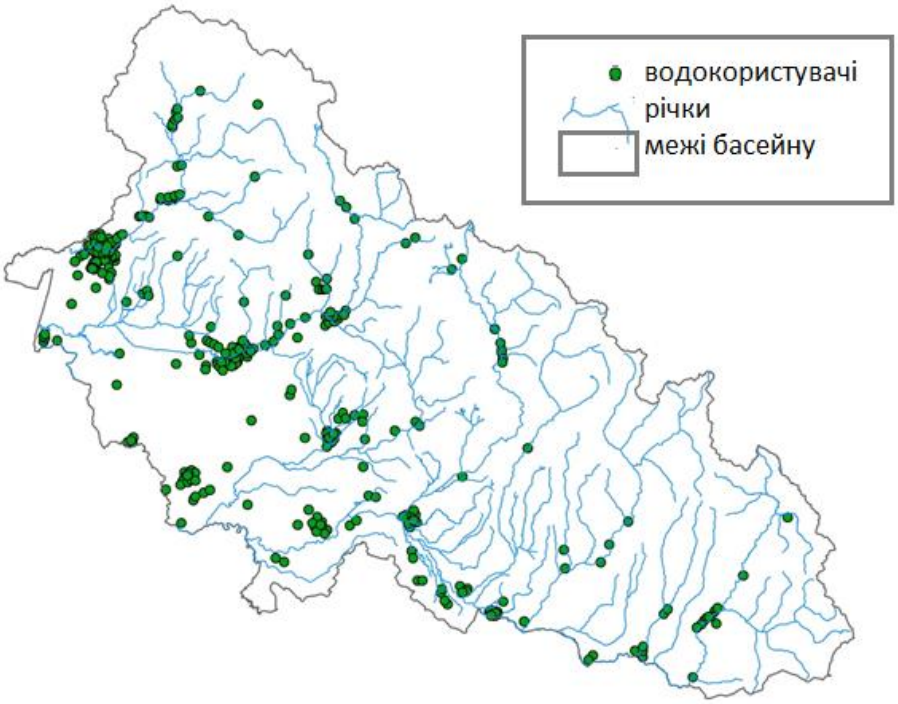


Рис. 2.9. Основні водокористувачі в басейні Тиси в межах України [54]

Водоспоживання в межах басейну Тиси в Україні, враховуючи запаси підземних та поверхневих вод, є незначним. У 2017 році кількість водокористувачів нараховувала 450, проте лише 27 з них забирають воду з повехрневих водних джерел, що становить 24 млн м^3 (табл.2.4) [54,100,101].

Таблиця 2.4

Динаміка водокористування в басейні р. Тиса в межах України

	1995	2000	2005	2010	2015	2017
Всього водокористувачів	430	375	441	454	429	450
Кількість водокористувачів, що забирають води з поверхневих водних джерел	92	68	55	52	37	27
Забрано з поверхневих водних об'єктів, млн м^3	38,6	22,5	20,7	18,2	16,6	24

Аналізуючи динаміку водокористування в басейні Тиси варто зазначити, що кількість водокористувачів, що відбирають воду з поверхневих джерел за останні десятиліття зменшилась від 92 (1995р.) до 27 (2017р.), що в об'ємах відображається у зменшенні від 38,6 млн $м^3$ 24 млн $м^3$ на рік (рис.2.10).

Таке зменшення поверхневого водозабору пояснюється тим, що в басейні майже відсутні водоємні виробництва, які потребують значної кількості води. Також частина водоспоживачів перейшла або на підземне водопостачання, або й зовсім відмовилась від забору води.

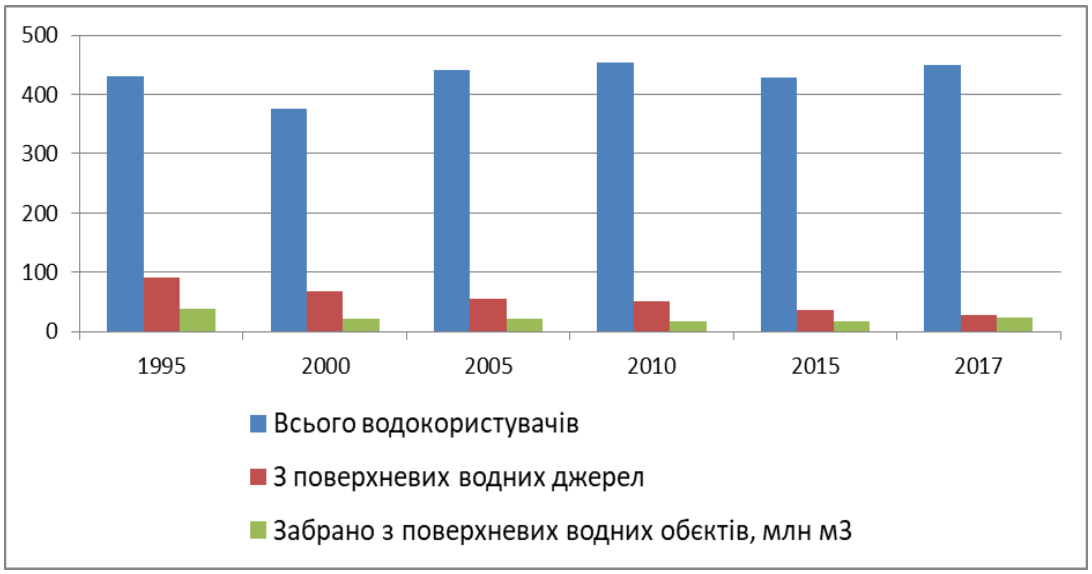


Рис. 2.10. Динаміка водокористування в басейні р. Тиса в межах України з 1995 по 2017рр.

Якщо оцінювати вплив господарської діяльності на мінімальний стік води, то слід враховувати деякі орографічні особливості території. Наприклад, сільське господарство найбільше впливає на рівнинній та передгірській частині басейну. Це пояснюється високою часткою ріллі в структурі земельного фонду басейну та широким використанням заплав під угіддя (рис. 2.11).

Також важливими аспектом є оцінка землекористування в басейні. Згідно даних дистанційного зондування Землі були пораховані площі земель, які знаходяться під різними типами користування (див. рис. 2.11, табл.2.5) [180,185].

Класифікація території басейну Тиси була проведена на основі обробки супутникових знімків території. Результати цієї обробки взято з проекту Copernicus [180], які дозволили провести аналіз землекористування в басейні р.Тиса (табл. 2.5).

Широколистяні ліси закритого типу займають найбільшу частину території (47%). Наступним є території, які зайняті під різними видами сільського господарства (18,3%). Також значну площу займають відкриті території з лісовою рослинністю різного видового складу (11,5%). Взагалі ліси різного виду ти типу займають більше як 75% території. Всього 2,5% території належить міській та сільській забудові. Водойми в даній класифікації займають менше 1% території [180].

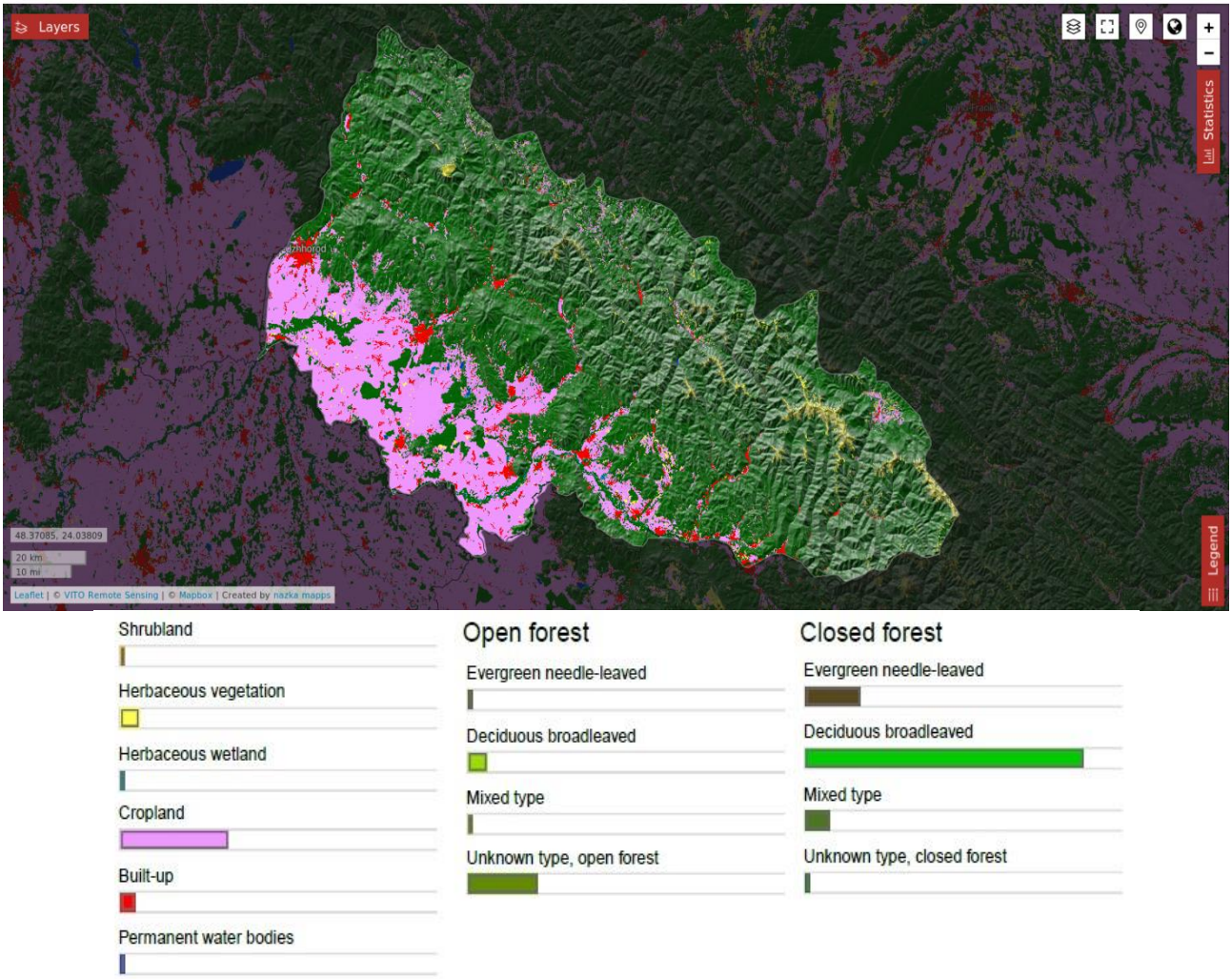


Рис. 2.11. Класифікації території басейну Тиси за типом використання земель [180,185]

Для гірської частини басейну найбільш негативної дії завдає нераціональне використання лісових ресурсів, або як правильніше буде зазначити - неконтрольована вирубка лісів.

Частка сільського господарства тут менша, що викликано значними похилами поверхні, та незначними територіями, придатними для її обробки. Надмірні вирубування лісів значно зумовили розвиток небезпечних екзогенних процесів у межах басейнових систем Закарпаття, негативно вплинули на гідрологічний режим річок, в тому числі і на формування їх мінімального стоку.

Таблиця 2.5

Розподіл території басейну Тиси за типом використання земель [180,185]

Тип земель	Відсотки від загальної площі	Площа, км²
Чагарники	0.05%	6.32 км²
Луки	2.98%	376 км²
Гідроморфна рослинність	0.13%	16.4км²
Сільськогосподарські землі	18.3%	2316 км²
Забудова	2.53%	319 км²
Водойми	0.06%	7.59 км²
Відкритий ліс		
Хвойні ліси	0.25%	31.6 км²
Широколистяні ліси	3.13%	395 км²
Змішані ліси	0.02%	2.52 км²
Невідомий тип, відкритий ліс	11.5%	1455 км²
Закритий ліс		
Хвойні ліси	9.25%	1169 км²
Широколистяні ліси	47.0%	5946 км²
Змішані ліси	4.05%	512 км²
Невідомий тип, відкритий ліс	0.61%	77.1 км²

Згідно даних державного агентства лісових ресурсів України станом на 2018 рік, загальна територія, зайнята під лісом становить 687,9 тис га. З них ділянки вкриті лісовою рослинністю займають 656,7 тис га. Всього лісистість території складає 51,5% від загальної площі басейну [180].

Порівняно з іншими районами України умови Карпат набагато сприятливіші для природного відновлення лісів. Пояснюється це перш за все переважанням тут вологих грудових і сугрудкових типів умов місцезростання, високою тіневитривалістю основних лісоутворюючих порід – ялини, ялиці, бука [34,36].

Відтак у період 2016-2018 років відновлено 9,7 тис. га., спостерігається деяке зниження обсягів лісовідновлення, проте це є ознакою зменшення суцільних зрубів в лісах державного лісового фонду Закарпатського ОУМГ. В 2019 році заплановано відновити ліс на площі 2244 га. Тобто щороку лісівники протягом весняної та осінньої лісокультурних кампаній висаджують понад 10 мільйонів сіянців та саджанців, що складає 7 дерев на кожного жителя області [51]. Такий процес буде сприяти відновленню та збереженню умов формування гідрологічного режиму річок взагалі, та їх мінімального стоку зокрема.

2.6. Висновки до розділу 2

1.Українська частина басейну Тиси розміщена в межах молодої (альпійської) складчастої споруди Карпат і охоплює центральну частину українського сегменту складчастих Карпат з прилеглим Закарпатським внутрішнім прогином. В басейні Тиси виділяється два басейни підземних вод - Карпатський та Закарпатський. Прослідковується чітка висотна поясність розподілу водовмісних корінних порід та зв'язок їх з модулями мінімального стоку.

Встановлено, що відбувається зменшення дебітів джерел підземних вод та кількості опадів з північного сходу на південний захід, що проявляється у зменшенні шарів стоку з 200 до 10 мм за літньо-осінню та з 80 до 10 мм за період зимової межені.

2. Територіальний розподіл опадів дуже неоднорідний. Основними чинниками при цьому виступають висотне положення, розташування елементів рельєфу та експозиція схилів. Встановлено, що максимальна кількість опадів характерна для високогірних районів - верхів'їв основних приток від верхів'я Латориці до верхів'я Тиси. В області Вулканічних Карпат кількість опадів коливається від 1000 до 1200 мм. Найменша кількість опадів випадає на Закарпатській низовині, де середньорічна кількість опадів складає 700-800 мм та лише в передгірській частині досягає 1000 мм. Встановлено, що температура повітря впливає на формування літньо-осіннього мінімального стоку через швидкість випаровування, а зимового – через інтенсивність льодоутворення.

3. У межах гірської частини території чітко відслідковується вертикальна диференціація ґрунтів. У високогірному ярусі поширені гірсько-лучно-буроземні ґрунти, на безлісих ділянках –дерново-буроземні ґрунти. Більш пологі гірські схили вкриті суглинковими буроземно-підзолистими ґрунтами. На пологих схилах та в річкових долинах формуються лучно-буроземні ґрунти. На рівнинній частині ґрунтоутворення відбувається в умовах теплого та достатньо вологого клімату.

4. Для оцінки впливу антропогенного навантаження було враховано сільськогосподарське, житлово-комунальне, транспорте, промисловість, меліорацію, рекреацію. Встановлено, що ліси різного виду та типу займають більше як 75% території і це є одним із важливих чинників формування мінімального стоку. Території, які зайняті під різними видами сільськогосподарського господарства (18,3%). Всього 2,5% території належить міській та сільській забудові. Водойми в даній класифікації займають менше 1% території.

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНКИ ТА ОЦІНКА МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ РІЧОК БАСЕЙНУ ТИСИ В МЕЖАХ УКРАЇНИ

3.1. Вихідні дані

В межах басейну Тиси на території України станом на 2018 рік діють 41 гідрологічний пост, з них 23 витратних, а на 22 з них ведуться тривалі спостереження, які перевищують 50 років. Деякі суббасейни річок, таких як Теребля (після паводку 1998 року гідрологічний пост в с.Колочава був зруйнований і на ньому залишилися лише вимірювання рівнів води, а в 2016 році були відновленні спосетереження за витратами води), та нижні течії в межах інших суббасейнів зовсім не охопленні мережею стаціонарних гідрологічних спостережень. За межами України для проведення досліджень за мінімальним стоком річок використано інформацію з 8 гідрологічних постів, а також 26 гідрологічних постів суміжних басейнів річок Дністер, Прут, Сірет (табл.3.1-3.2) [37, 137,138,212].

Для комплексних та узагальнюючих розрахунків характеристик мінімального стоку річок досліджуваного басейну було вирішено обмежитися даними щоденних витрат води від початку спостережень по 2015 рік.

Основними розрахунковими характеристиками мінімального стоку прийнято вважати мінімальні витрати води за 30 діб або за календарний місяць та мінімальні витрати води за 1 добу. Також, згідно (див. розділ 1) деяким іншим підходами, існує практика використання величини мінімальних витрат води за 7 діб [178,179,194,195,197,197,205,206,208]. На нашу думку такі підходи можуть бути доцільними, якщо враховувати паводковий режим річок басейну Тиси. Тож, для формування рядів мінімальних витрат води за 7 діб для літньо-осінньої та зимової межені були поставленні наступні завдання:

- формування бази даних про щоденні витрати води для 22 діючих гідрологічних постів та 8 гідрологічних постів за межами України, а також 26 гідрологічних постів суміжних басейнів річок Дністер, Прут, Сірет;

- проведення аналізу внутрішньорічного розподілу стоку для визначення лімітуючих періодів та сезонів;

- формування рядів мінімальних витрат води за 7 діб для літньо-осінньої та зимової межені з урахуванням результатів внутрішньорічного розподілу стоку та перевірка статистичних гіпотез їх однорідності;

- оцінка мінливості мінімального стоку;

- встановлення циклічності багаторічних коливань мінімального стоку.

Для обґрунтування вибору розрахункової величини витрати води мінімальної за 7 діб було зібрано дані про щоденні витрати води, щоденні опади та температуру повітря. Для цього були використані дані Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського [37,48,93,94,137,138] та дані проекту European Climate Assessment & Dataset [186], що знаходяться у відкритому доступі. Щоденні дані про витрати води на гідрологічних постах, розташованих в басейні Тиси за кордонами України були надані Global Runoff Data Base (GRDB) [212].

Також були зібрані цифрові карти, вихідні просторові та атрибутивні дані про гідрологічні пости, морфметричні характеристики річок, рельєф. Використання геопросторової інформації полягала у зборі та обробці даних SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) та ASTER GDEM з роздільною здатністю 30м на піксель для створення цифрової моделі висот (ЦМВ) та набору растрових шарів для гідрологічної обробки території дослідження [177,188]. Для уточнення локальних особливостей були використані дані OpenStreetMap [204]. За результатами оцінки вихідної інформації був сформований банк даних гідрологічної, метеорологічної та картографічної інформації для річок досліджуваного басейну, структура якого і просторове представлення джерел інформації показані на рис 3.1, 3.2.

Для всіх гідрологічних постів були сформовані ряди щоденних витрат води за весь період спостережень. На основі цих рядів проводились подальші розрахунки, а саме визначення мінімальних витрат води за 1 добу, 7 та за 30 діб та розрахунок норм середнього стоку води за кожен рік. Формування вищезазначених рядів виконувалось з використанням програмного комплексу IHA [197, 206]. Дана програма була спеціально розроблена для гідрологічних розрахунків, її особливістю є

те, що вона дає можливість порівнювати різні часові періоди, що дуже необхідно при дослідженні впливу на стік води гідротехнічного будівництва або інших явищ. Також вона розраховує низку статистичних параметрів, формує ряди мінімальних та максимальних витрат води різної забезпеченості за різні періоди – 1 день, 3 доби, 7 діб, 30 та 90 діб.

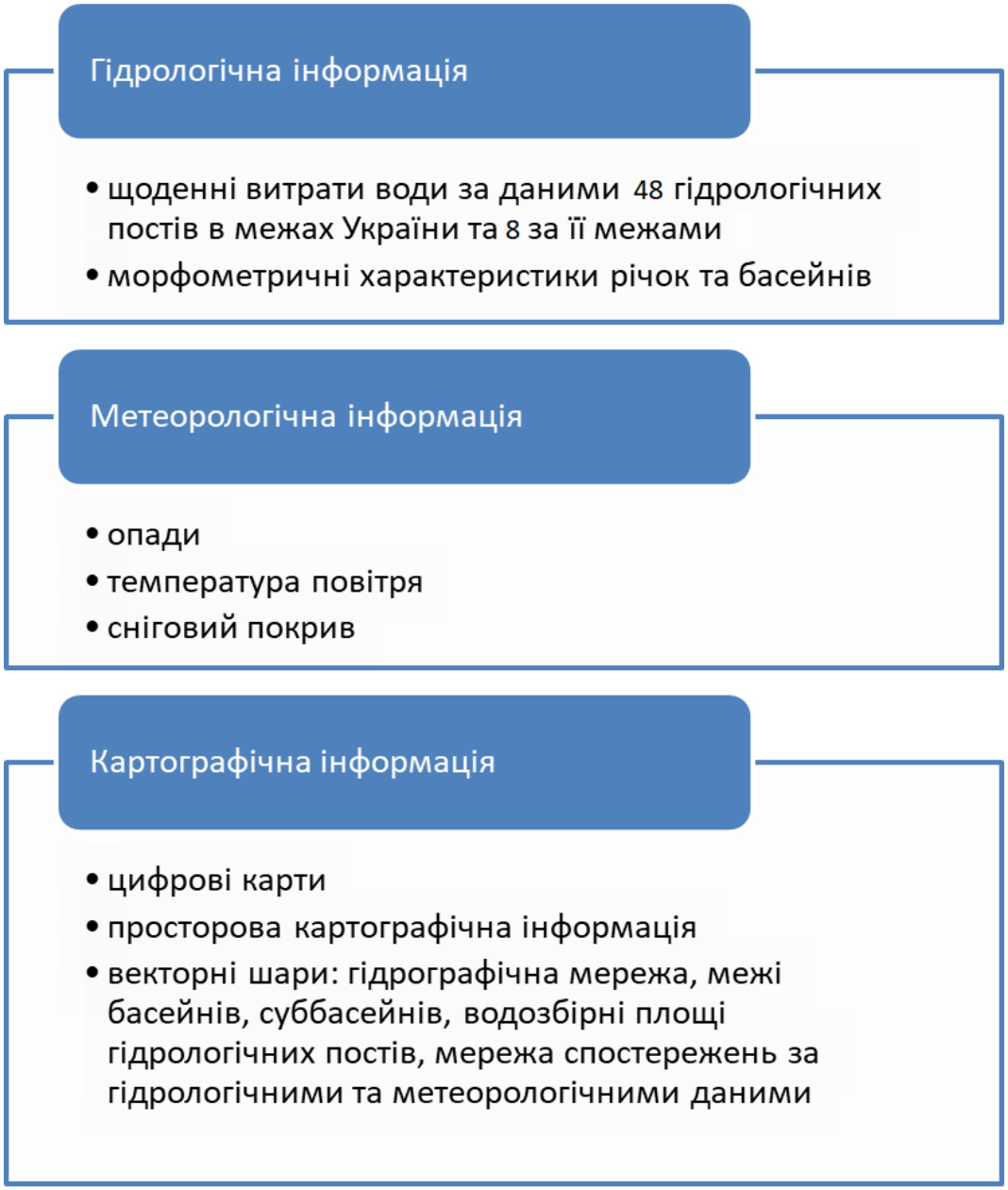


Рис. 3.1. Структура бази даних вихідної інформація для розрахунку мінімального стоку річок басейну Тиси

Перелік гідрологічних постів, дані яких задіяні до оцінок мінімального стоку річок басейну Тиси, наведено в табл. 3.1. Поряд з цим перелік гідрологічних постів,

які розташовані в суміжних з басейном Тиси водозборах в межах України наведено в табл. 3.2 [37, 137,138,212].

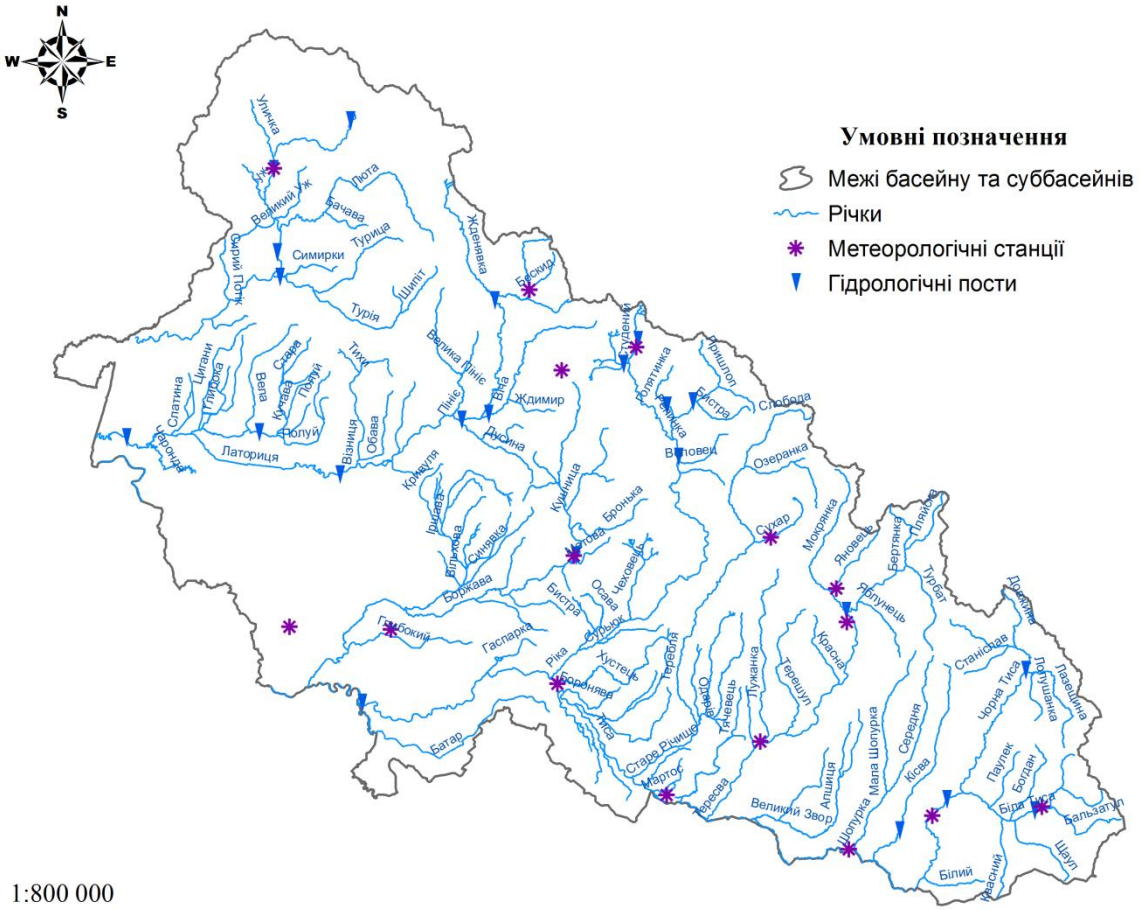


Рис. 3.2. Розміщення гідрологічних постів та метеорологічних станцій в басейні р.Тиса в межах України

Таблиця 3.1

Список гідрологічних постів на річках басейну Тиси в межах України

№	Назва водного об`єкта	Місцезнаходження (назва) поста	Площа водо-збору, км^2	Відмітка нуля поста	Період спостережень	
				висота, м	початок (рік)	тривалість (роки)
1	2	3	4	5	6	7
1	р.Тиса	м.Рахів	1070	429.7	1949	66
2	р.Тиса	смт Вилок	9140	115.2	1888	61
3	р.Чорна Тиса	смт Ясіня	194	646.50	1947	68
4	р.Біла Тиса	с.Луги	189	602.1	1946	69
5	р.Косівська	с.Косівська Поляна	122	406.8	1962	53
6	р.Тересва	смт Усть-Чорна	572	523.9	1945	70
7	р.Ріка	с.Верхній Бистрий	165	524.2	1965	50

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7
8	р.Ріка	смт Міжгір'я	550	434.3	1946	69
9	р.Голятинка	смт Майдан	86.0	497.5	1956	59
10	р.Пилипець	с.Пилипець	44.2	568.8	1956	59
11	р.Студений	с.Нижній Студений	25.4	605.9	1946	69
12	р.Боржава	с.Довге	408	168.4	1946	69
13	р.Латориця	с.Підполоззя	324	356.5	1946	69
14	р.Латориця	м.Свалява	680	190.00	1961	54
15	р.Латориця	м.Мукачеве	1360	115.60	1948	67
16	р.Латориця	м.Чоп	2870	96.58	1956	59
17	р.Віча	с.Неліпино	241	225.6	1957	58
18	р.Стара	с.Зняцьово	224	104.9	1946	69
19	р.Уж	с.Жорнава	286	328.3	1946	69
20	р.Уж	с.Зарічово	1280	154.6	1946	69
21	р.Уж	м.Ужгород	1970	112.4	1948	67
22	р.Тур'я	с.Сімер	464	151.2	1957	58

Таблиця 3.2

Перелік гідрологічних постів суміжних басейнів з басейном р.Тиса в межах України

Номер поста	Назва водного об`єкта	Місце знаходження (назва) поста	Площа водо-збору, км^2	Період спостережень	
				початок (рік)	тривалість (роки)
1	2	3	5	6	7
1.	р.Сірет	м.Сторожинець	672	1962	53
2.	р.Прут	смт Ворохта	48.3	1977	38
3.	р.Прут	с.Татарів	366	1909	106
4.	р.Прут	м.Яремче	597	1887	128
5.	р.Прут	м.Чернівці	6890	1944	71
6.	р.Кам'янка	с.Дора	18.1	1945	70
7.	р.Черемош	с.Устеріки	1500	1957	58
8.	р.Білий Черемош	с.Яблуниця	552	1954	61
9.	р.Чорний Черемош	смт Верховина	657	1963	52
10.	р.Ільця	с.Ільці	86.1	1950	65
11.	р.Путила	смт Путила	181	1963	52
12.	р.Стрий	с.Матків	106	1926	89
13.	р.Стрий	с.Завадівка	740	1961	54

Продовження табл. 3.2

1	2	3	5	6	7
14.	р.Стрий	с.Ясениця	1020	1982	33
15.	р.Стрий	смт Верхнє Синьовидне	2400	1902	113
16.	р.Опір	м.Сколе	733	1956	59
17.	р.Славська	смт Славське	76.3	1926	89
18.	р.Головчанка	с.Тухля	130	1945	70
19.	р.Орава	х.Святослав	204	1936	79
20.	р.Свіча	х.Мислівка	201	1949	66
21.	р.Свіча	с.Зарічне	1280	1887	128
22.	р.Лужанка	с.Гошів	146	1914	101
23.	р.Свіж	смт Букачівці	465	1902	113
24.	р.Лімниця	с.Осмолода	203	1950	65
25.	р.Лімниця	с.Перевозець	1490	1940	75
26.	р.Чечва	с.Спас	269	1928	87

Для більшості вказаних в табл. 3.1, 3.2 гідрологічних постів періоди їх спостережень становлять від 33 до 135 років, що засвідчує їх репрезентативність для використання оцінок мінімального стоку річок. Варто також зазначити, що до аналізу були залучені лише малі та середні річки.

Разом з тим для збільшення інформативності бази, об'єктивності представлених результатів та узагальнень просторової оцінки показників мінімального стоку річок були використані дані з суміжних басейнів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Перелік гідрологічних постів суміжних з р.Тиса басейнів в Україні та за її межами

Номер	Річка	Гідрологічний пост	Кількість років спостережень, які використані для розрахунків
1	2	3	4
1.	Тиса	Тисабеч	70
2.	Красна	Агердомажор	38
3.	Самож	Ченгер	65
4.	Самож	Сату маре	77
5.	Вішеу	Бистра	65

			Продовження табл.3.3
1	2	3	4
6.	Бодрог	Стреда над Бодрогом	64
7.	Удава	Удавське	77
8.	Удава	Адідовце	55

Крім вказаної гідрометеорологічної інформації було зібрано дані про опади та температуру повітря за кожен день на 9 метеорологічних станціях, наведених в табл 3.4, періоди спостереження яких коливаються в межах від 46 до 57 років.

Таблиця 3.4

Перелік метеостанцій та період спостереження за опадами та температурою повітря в басейні Тиси в межах України

	Метеорологічна станція	Період спостережень	
		Середньорічна температура повітря	Сума опадів за рік
1.	Ужгород	1947-2015	
2.	Рахів	1948-2015	1947-2015
3.	Берегове	1951-2015	1946-2015
4.	Великий Березний		1947-2015
5.	Міжгір'я		
6.	Нижній Студений		
7.	Хуст		
8.	Нижні Ворота		1950-2015
9.	Плай	1969-2015	1969-2015

Базовим етапом для подальших розрахунків був вибір основних розрахункових характеристик мінімального стоку. Як було зазначено, основною розрахунковою величиною мінімального стоку прийнято вважати мінімальну витрату води за 30 діб, яка обирається як середнє значення витрат води за 30-ти денний період з найнижчим стоком. Проте, враховуючи паводковий режим річок досліджуваної території [156,159, 160], ми вважали за необхідне використати мінімальну витрату води за 7 діб як розрахункову величину [106, 123, 124, 128, 130, 131]. Такий період забезпечує генетично обґрунтований підхід до виділення мінімального стоку за бездощові

періоди для гірських річок. Більш короткі періоди (3 доби) не надають підстав для виділення мінімального стоку для вказаних річок, так як процес стікання води в гірських умовах достатньо швидкий, але запаси поверхневого і підземного стоку за цей період фактично не можуть вичерпатися (рис.3.3-3.6). Також доцільним вважаємо виділення генетично однорідних мінімальних витрат води за літньо-осінню та зимову межінь.

Таким чином, на основі зібраних даних для вказаних постів побудовано гідрографи середньодобового стоку води у поєднанні з річним ходом щоденних опадів (рис.3.3-3.6).

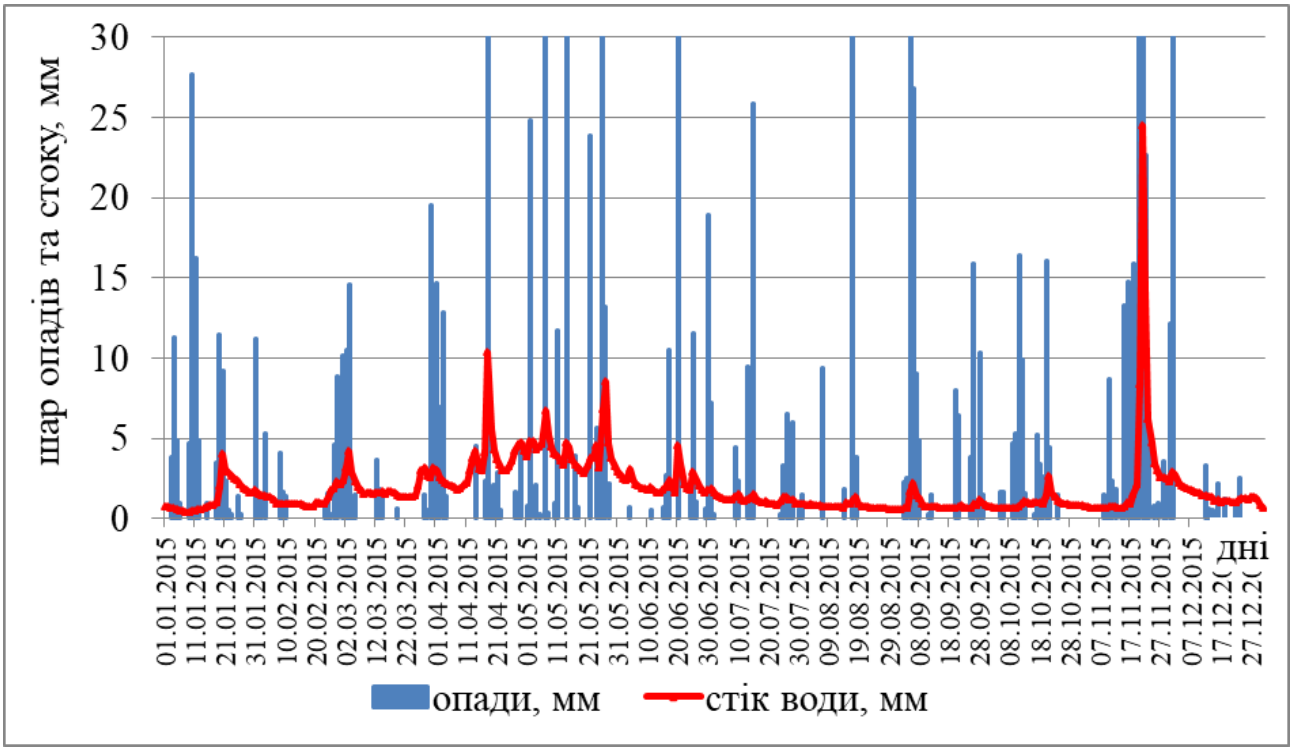


Рис. 3.3. Суміщений графік щоденних шарів стоку води за рік 95% забезпеченості та щоденних опадів для р.Тиса – Рахів

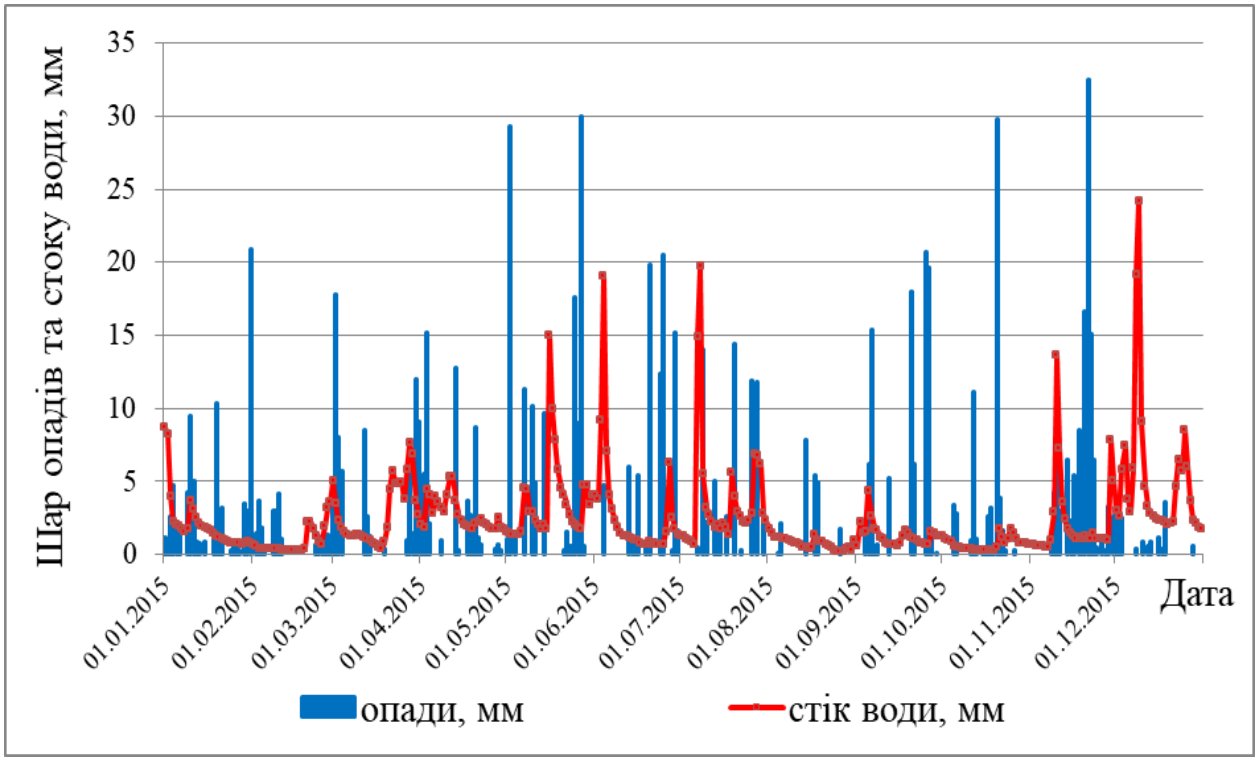


Рис. 3.4. Суміщений графік щодених шарів стоку води за рік 95% забезпеченості та опадів для р.Студений – Нижній Студений

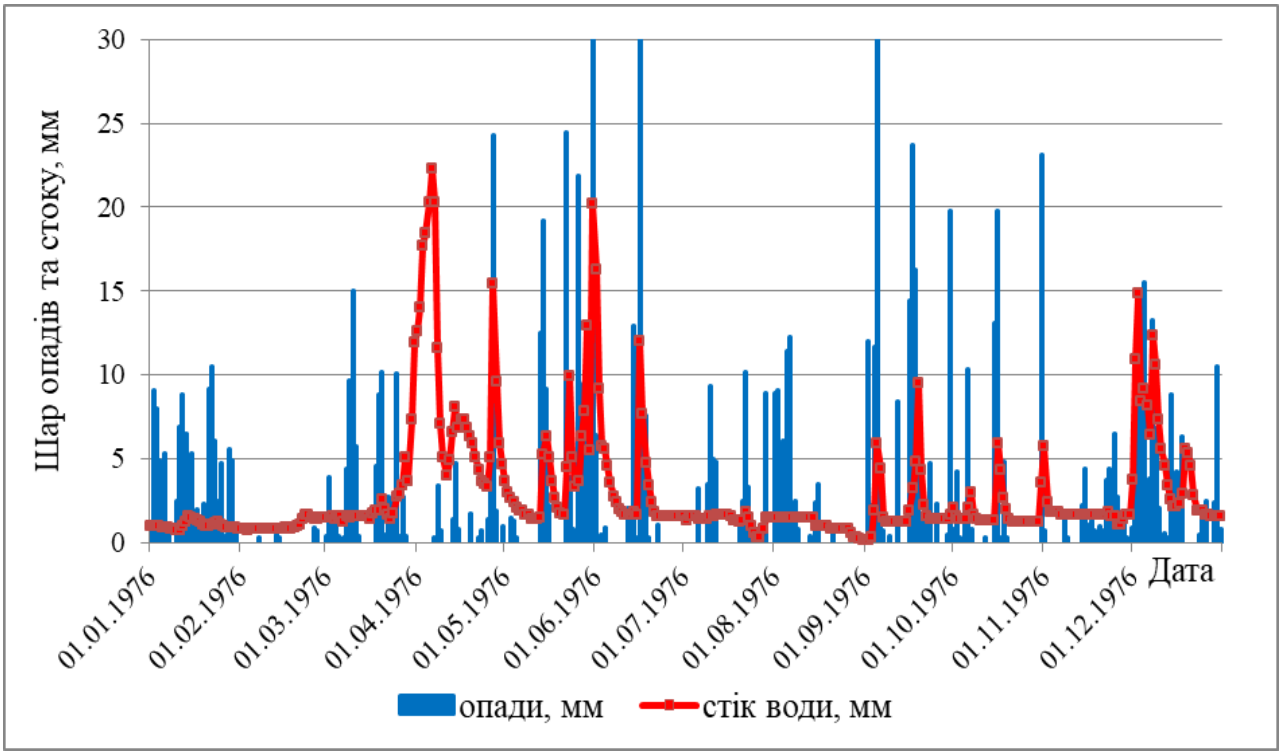


Рис. 3.5. Суміщений графік щоденних шарів стоку води за рік 50% забезпеченості для р.Латориця-Підполоззя та шарів щоденних опадів на метеостанції Нижні Ворота

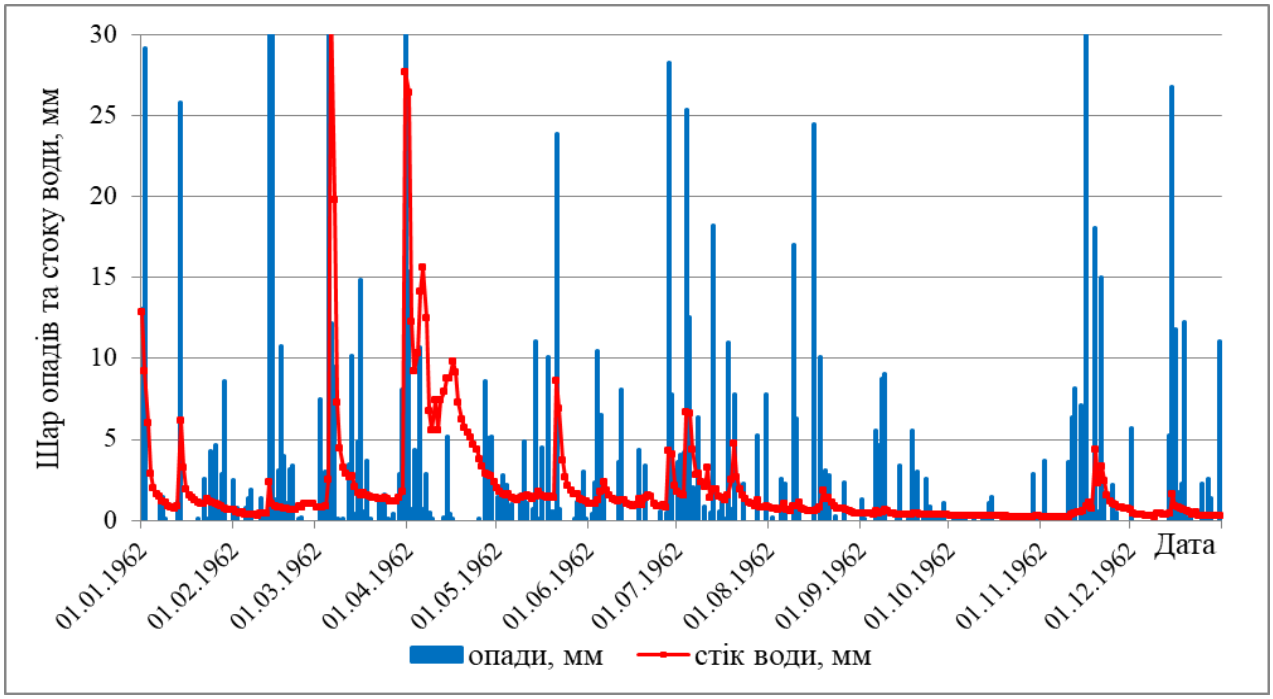


Рис. 3.6. Суміщений графік щоденних шарів стоку води за рік 5% забезпеченості для р.Ріка – Міжгір'я та шарів щоденних опадів на метеостанції Міжгір'я

Згідно рис.3.3-3.6 було підтверджено, що для досліджуваного басейну досить важко обрати навіть 10-денний період мінімального стоку, який би не переривався дощовими паводками та відлигами. Зазвичай, у маловодні роки (див. рис.3.3,3.4) можна простежити досить тривалі періоди з низьким стоком. У характерні роки із середньою водністю теж виокремлюються такі періоди (див. рис. 3.5). Однак у багатоводні роки (див. рис.3.6) можна побачити, що іноді мінімальний стік проходить на фоні дощів, і 7 днів – це оптимальна тривалість, протягом якої він спостерігається.

3.2 Внутрішньорічний розподіл середнього багаторічного стоку води

Гідрологічний режим та його внутрішньорічний розподіл стоку є одним з основних чинників, який характеризує просторово-часові параметри стоку річок, і в тому числі їх мінімальний стік. У внутрішньорічному розподілі стоку мінімальний стік виступає одним з головних дескрипторів виділення лімітуючих сезонів і періодів,

що дозволяє виявляти закономірності його формування у просторово-часовому розрізі [5,13,42].

Встановлення закономірностей внутрішньорічного розподілу стоку є досить важливим завданням, оскільки на перерозподіл стоку в часі впливають як природні, так і антропогенні фактори [67,68]. Основні завдання для оцінки мінімального стоку полягають у розрахунку місячного та сезонного розподілу стоку, виділенні періодів та сезонів з мінімальним стоком для різних за водністю років, а також порівняння вказаних характеристик для річок басейну Тиси.

Зміни внутрішньорічного розподілу стоку залежать не лише від кліматичних умов території, кількості та характеру випадіння опадів, а також від інших фізико-географічних факторів – характеристики підстильної поверхні, наявність зв'язків між поверхневими та підземними водами. Значний вплив на формування стоку також становлять ґрунтові та артезіанські води (див. розділ 2).

Розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку річок басейну Тиси дає можливість встановити чіткі закономірності у його формуванні та розподілі по території. Це також важливо для регулювання водогосподарського використання річок, такого як виробництво гідроенергії, водопостачання та водовідведення, роботи сільськогосподарських та комунальних підприємств, захист від повеней, меліоративні заходи та ін [56, 57, 71, 173].

Для проведення сучасного внутрішньорічного розподілу стоку було проаналізовано попередні класифікації території басейну Тиси в межах України Відповідно до класифікації Карпатських річок, наведеної в Національному Атласі України [99], за внутрішньорічним розподілом стоку було виділено три райони, їх межі визначені за басейновим принципом. Одним з них є верхньотисянський – басейни річок Уж, Латориця, Тиса та їх притоки. Багатоводним є весняний сезон (40% річного стоку), маловодним – осінній (близько 15% річного стоку річок).

Відповідно до районування території Українських Карпат за умовами формування внутрішньорічного стоку виділено 5 районів та 1 підрайон [144]. З цих п'яти районів два припадає на басейн Тиси. Інші три відносяться до решти території Українських Карпат – басейн Дністра, Прута та Сіретту. Згідно цієї класифікації [144]

перший район – водозбори правих приток Тиси від Тереблі до Ужа та нижня частина р. Тересви. В першому районі виділяється підрайон, що охоплює басейн Боржави та Верхів'я Латориці. Другий район – високогір'я Тиси.

Ще один підхід до районування території басейну Тиси наведено у роботі [138]. Згідно досліджень в аналіз взято період спостереження від початку до 1972 року. Тут виділяється два райони: західний, який включає в себе всі річки західніше Ріки, та східний — річки, та їх водозбори на схід від Ріки [138].

Проаналізувавши попередній стан проблематики нами було проведено розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку за моделлю реального року [38, 55, 72, 81, 122] за даними всіх гідрологічних постів досліджуваного басейну від початку спостережень по 2015 рік включно. На основі зібраної інформації скомпоновано середньомісячні витрати по сезонах (весна, літо-осінь, зима), обчислено їх суми, забезпеченості та відсоткове співвідношення їх розподілу в середині року, а також встановлені забезпеченості витрат водогосподарських років (з березня по лютий) (табл.3.5). Крім того виявлено характерний розподіл стоку протягом багатоводного (5%), середнього (50%) та маловодного (95%) за водністю років (табл.3.6).

Аналіз результатів таблиці 3.5 засвідчив, що найбільша величина стоку внутрішньорічного розподілі характерна для теплого періоду (весна, літо-осінь) і коливається в середньому від 25 до 52%.

Стосовно сезонів для років різної забезпеченості (табл. 3.6) можна констатувати, що найбільша доля стоку у внутрішньорічному розподілі притаманна вцілому для літньо-осіннього періоду, а найменша – для зими.

Таблиця 3.5

Внутрішньорічний розподіл стоку в басейні Тиси в межах України

№	Річка – гідрологічний пост	Витрати води за місяцями, м³/с												Сезонний стік у % від річного			
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	Весна	Літо	Осінь	Зима
1	Тиса - Рахів	26.6	52.8	36.7	24.2	32.3	35.9	27.4	14.2	23.5	13.6	7.80	6.90	38.4	30.6	21.6	9.40
2	Тиса - Вилок	286	368	362	159	117	167	149	76.1	125	365	118	151	41.6	18.1	14.3	26.0
3	Чорна Тиса - Ясіня	6.70	7.20	8.70	4.40	5.40	7.90	2.00	1.60	3.40	4.40	2.10	2.00	40.6	31.7	12.6	15.2
4	Біла Тиса - Луги	3.00	4.10	13.8	8.10	4.70	3.50	5.20	5.10	3.40	2.70	2.70	3.00	35.3	27.6	22.9	14.2
5	Косівська - Косівська Поляна	8.31	7.41	7.60	3.10	4.70	2.50	4.60	2.80	3.40	3.30	2.80	2.90	43.6	19.3	20.3	16.8
6	Тересва - Усть Чорна	11.1	36.1	35.1	38.7	16.9	7.70	5.00	3.80	30.2	12.1	17.3	9.00	36.9	28.4	17.5	17.2
7	Ріка - Верхній Бистрий	5.40	5.30	8.10	3.00	1.70	6.00	2.60	1.70	2.40	6.30	2.10	3.10	39.3	22.4	14.0	24.2
8	Ріка – Міжгір'я	21.5	30.7	11.1	3.70	5.30	6.90	12.5	13.5	12.3	22.6	9.10	10.8	39.5	9.90	24.0	26.6
9	Студений – Нижній Студений	0.54	1.02	0.26	1.1	0.3	0.1	0.06	0.06	0.62	0.2	0.48	0.24	35	28.2	13.2	23.6
10	Голятинка - Майдан	2.70	5.10	1.30	5.50	1.50	0.50	0.30	0.30	3.10	1.00	2.40	1.20	37.0	29.8	14.6	18.8
11	Пилипець - Пилипець	2.00	2.30	1.70	1.30	1.40	1.20	1.10	1.10	2.50	1.30	0.60	0.50	35.5	22.9	27.6	14.0
12	Боржава - Довге	19.7	23.0	17.0	10.9	6.00	2.90	3.70	3.20	11.2	14.4	10.0	4.80	47.0	15.7	14.3	23.1
13	Латориця - Підполоззя	13.9	23.8	9.70	9.00	2.40	3.00	3.60	2.10	12.0	6.50	9.80	11.2	44.3	13.5	16.5	25.6
14	Латориця - Свалява	29.0	17.3	17.8	7.00	10.3	13.2	9.30	14.4	20.1	18.6	8.60	5.70	37.4	17.8	25.6	19.2
15	Латориця - Мукачево	19.4	37.5	31.6	9.40	14.2	18.2	29.3	21.3	27.6	37.0	12.3	39.1	29.8	14.1	26.3	29.8
16	Латориця - Чоп	79.2	70.9	46.1	15.4	23.3	51.9	12.0	6.60	20.1	41.2	9.40	42.9	46.8	21.6	9.20	22.3
17	Віча - Неліпино	9.50	14.1	8.60	10.5	6.20	5.60	6.60	3.60	1.60	2.90	2.00	7.30	41.1	28.4	15.1	15.5
18	Стара - Зняцьово	5.90	3.40	1.80	0.60	0.90	2.60	0.50	0.40	1.20	2.80	0.70	3.60	45.9	16.6	8.60	29.0
19	Уж - Жорнава	8.00	9.80	10.8	5.80	6.10	2.50	2.00	6.60	6.60	5.20	6.90	9.00	36.1	18.2	19.1	26.6
20	Уж - Зарічово	23.5	23.7	33.6	14.8	22.5	7.10	5.40	15.8	21.0	21.8	27.0	31.7	32.6	17.9	17.0	32.5
21	Уж - Ужгород	59.2	60.2	23.1	14.3	4.30	3.90	7.30	20.9	18.1	26.6	31.6	71.5	41.8	6.60	13.6	38.0
22	Турія - Сімер	23.0	17.0	12.0	4.20	5.20	8.60	1.00	0.80	6.30	13.7	1.60	8.70	51.0	17.6	7.90	23.5

Таблиця 3.6

Розрахунковий розподіл стоку (% від річного) в характерні за водністю роки-моделі

	По місяцях												По сезонах			
Рік заданої забезпе ченності,%	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	Весна	Літо	Осінь	Зима
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1. р.Тиса – Рахів																
5	6.27	22.8	14.9	13.8	5.31	6.78	4.55	1.90	4.14	2.18	9.83	7.50	44.0	25.9	10.6	19.5
50	8.81	17.5	12.2	8.01	10.7	11.9	9.07	4.72	7.78	4.52	2.60	2.27	38.4	30.6	21.6	9.40
95	5.12	25.2	15.1	5.96	5.42	8.25	4.41	6.46	12.8	6.11	2.78	2.38	45.4	19.6	23.7	11.3
2. р.Тиса – Вилок																
5	10.1	7.91	15.6	10.5	13.1	14.5	3.1	2.91	2.69	8.36	8.84	2.52	33.5	38.1	8.70	19.7
50	11.7	15.1	14.8	6.51	4.79	6.84	6.10	3.11	5.12	14.9	4.83	6.18	41.6	18.1	14.3	26.0
95	13.1	14.8	9.27	5.57	13.1	11.2	3.63	2.73	2.07	14.8	7.24	2.47	37.2	29.9	8.40	24.5
3. р.Чорна Тиса – Ясіня																
5	5.42	10.1	18.8	11.4	12.2	7.66	6.73	6.64	5.63	7.24	4.71	3.51	34.3	31.2	19.0	15.5
50	12.1	12.9	15.6	7.88	9.68	14.1	3.61	2.95	6.02	7.88	3.77	3.50	40.6	31.7	12.6	15.2
95	3.23	32.0	20.0	8.41	7.66	7.34	3.23	5.30	4.49	5.68	1.63	1.07	55.2	23.4	13.0	8.40
4 р.Біла Тиса – Луги																
5	3.42	19.3	16.56	14.4	6.09	8.16	6.35	2.99	5.56	3.16	8.09	5.88	39.3	28.7	14.9	17.1
50	5.11	6.87	23.3	13.7	7.98	5.97	8.69	8.54	5.65	4.49	4.61	5.13	35.3	27.6	22.9	14.2
95	5.79	12.9	13.6	12.5	13.0	15.6	7.36	5.79	3.91	3.57	3.57	2.40	32.3	41.1	17.1	9.50
5. р.Косівська - Косівська Поляна																
5	5.79	18.4	12.9	9.87	6.46	6.36	4.73	5.40	5.74	5.73	6.85	11.7	37.2	22.7	15.9	24.3
50	15.5	13.8	14.3	5.82	8.79	4.73	8.60	5.24	6.44	6.14	5.20	5.43	43.6	19.3	20.3	16.8
95	6.70	21.8	13.8	5.71	3.82	7.01	5.35	6.62	15.64	6.73	3.73	3.11	42.3	16.5	27.6	13.6

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6. р.Тересва - Усть Чорна																
5	6.03	15.7	17.4	12.0	9.02	6.49	6.46	4.39	7.94	7.05	4.82	2.67	39.1	27.5	18.8	14.5
50	4.97	16.2	15.7	17.4	7.59	3.46	2.24	1.71	13.6	5.42	7.77	4.02	36.9	28.4	17.5	17.2
95	12.9	22.8	9.20	14.87	6.13	8.37	3.48	3.04	3.04	5.37	5.71	5.08	44.9	29.4	9.50	16.20
7. р.Ріка - Верхній Бистрий																
5	13.7	8.01	8.94	6.52	15.4	2.46	12.2	5.91	2.28	9.43	11.0	4.16	30.7	24.4	20.4	24.6
50	11.3	11.1	16.9	6.31	3.63	12.5	5.48	3.55	4.98	13.2	4.50	6.50	39.3	22.4	14.0	24.2
95	6.73	29.9	9.33	5.57	7.26	14.2	4.13	4.98	3.51	3.94	6.26	4.16	45.9	27.1	12.6	14.4
8. р.Ріка – Міжгір'я																
5	13.2	9.07	12.9	9.12	15.6	11.2	1.84	5.38	2.89	7.08	10.1	1.68	35.1	35.9	10.1	18.8
50	13.4	19.2	6.96	2.30	3.30	4.30	7.83	8.46	7.71	14.1	5.70	6.77	39.5	9.90	24.0	26.6
95	15.3	29.9	10.9	3.40	3.34	3.20	2.73	6.27	17.1	3.65	1.40	2.83	56.1	9.90	26.1	7.90
9. р.Студений - Нижній Студений																
5	7.35	3.735	3.95	3.06	7.4	1.71	5.1	2.855	1.145	5.15	6.9	1.65	33.3	23.2	19.9	23.5
50	5.55	10.35	2.62	11	3.005	0.925	0.545	0.505	6.25	2.095	4.9	2.4	35.5	22.9	27.6	14.0
95	8.75	11.15	1.69	1.895	8.07	4.62	3.035	2.07	2.14	1.105	0.86	4.725	43.9	8.20	36.2	11.7
10. р.Голятинка – Майдан																
5	14.7	7.47	7.90	6.12	14.8	3.42	10.2	5.71	2.29	10.3	13.8	3.30	30.0	24.4	18.2	27.4
50	11.1	20.7	5.24	22.0	6.01	1.85	1.09	1.01	12.5	4.19	9.80	4.80	37.0	29.8	14.6	18.8
95	17.5	22.3	3.38	3.79	16.14	9.24	6.07	4.14	4.28	2.21	1.72	9.45	43.2	29.2	14.5	13.4
11. р.Пилипець – Пилипець																
5	13.0	9.74	10.5	8.61	10.5	4.10	11.2	6.37	2.35	8.93	10.1	4.51	33.3	23.2	19.9	23.5
50	11.8	13.8	9.99	7.63	8.26	6.99	6.30	6.76	14.5	7.45	3.41	3.18	35.5	22.9	27.6	14.0
95	7.51	23.8	12.6	3.37	3.45	1.38	1.47	20.3	14.4	3.45	1.99	6.30	43.9	8.20	36.2	11.7
12. р.Боржава – Довге																
5	17.4	13.4	14.7	7.43	4.81	3.41	7.52	1.81	6.14	6.90	9.57	6.99	45.4	15.6	15.5	23.5

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
50	15.5	18.1	13.4	8.61	4.76	2.30	2.91	2.53	8.84	11.4	7.90	3.81	47.0	15.7	14.3	23.1
95	10.6	15.8	8.08	6.26	4.19	3.57	2.86	2.45	3.32	5.54	23.2	14.2	34.4	14.0	8.60	42.9
13. р.Латориця – Підполоззя																
5	13.1	18.0	9.76	7.96	9.70	3.45	2.43	3.83	7.96	8.52	10.5	4.92	40.8	21.1	14.2	23.9
50	13.0	22.2	9.08	8.43	2.23	2.84	3.34	1.96	11.2	6.08	9.12	10.5	44.3	13.5	16.5	25.6
95	14.7	24.6	5.80	2.38	2.35	1.41	1.86	13.0	11.9	5.75	4.47	11.7	45.1	6.10	26.8	22.0
14. р.Латориця – Свалява																
5	23.2	5.18	3.16	5.60	11.8	5.56	8.51	3.59	10.4	2.83	6.02	14.2	31.5	22.9	22.5	23.1
50	16.9	10.1	10.4	4.09	6.01	7.71	5.42	8.41	11.7	10.9	5.01	3.33	37.4	17.8	25.6	19.2
95	6.64	13.7	15.3	14.0	10.1	3.46	6.00	4.37	8.32	8.29	6.73	3.23	35.5	27.5	18.7	18.3
15. р.Латориця – Мукачево																
5	26.3	5.38	3.25	4.78	10.6	3.70	5.76	2.51	10.4	2.39	7.11	17.9	34.9	19.0	18.7	27.4
50	6.52	12.6	10.6	3.18	4.77	6.14	9.88	7.17	9.30	12.5	4.15	13.2	29.8	14.1	26.3	29.8
95	11.6	8.67	10.4	4.44	5.71	12.2	4.09	9.32	3.96	5.79	14.46	9.38	30.7	22.3	17.4	29.6
16. р.Латориця – Чоп																
5	8.44	7.58	12.1	14.8	4.01	3.09	3.59	2.48	6.34	22.0	11.3	4.20	28.2	21.9	12.4	37.5
50	18.9	16.9	11.0	3.67	5.57	12.4	2.86	1.58	4.79	9.83	2.24	10.2	46.8	21.6	9.20	22.3
95	12.8	8.39	10.0	4.33	5.27	10.0	4.18	8.95	4.46	5.88	13.1	12.6	31.2	19.6	17.6	31.5
17. р.Віча – Неліпино																
5	14.1	13.4	8.57	4.96	15.1	7.72	4.24	4.08	4.38	10.9	7.93	4.72	36.0	27.7	12.7	23.5
50	12.2	18.0	10.9	13.4	7.87	7.15	8.48	4.56	2.03	3.66	2.53	9.30	41.1	28.4	15.1	15.5
95	13.1	13.1	10.2	10.6	7.92	6.49	4.15	3.09	3.87	5.09	15.8	6.64	36.4	25.0	11.1	27.5
18 р.Стара – Зняцьово																
5	6.99	10.8	16.5	16.3	1.94	1.28	2.37	1.58	6.60	20.3	11.8	3.58	34.3	19.5	10.5	35.6
50	24.4	14.1	7.46	2.29	3.79	10.5	2.21	1.58	4.80	11.4	2.67	14.9	45.9	16.6	8.60	29.0
95	11.0	7.82	6.11	3.63	3.82	5.06	3.24	7.16	3.82	6.87	27.19	14.3	24.9	12.5	14.2	48.4

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
19. р.Уж – Жорнава																
5	12.0	19.2	10.6	7.93	8.88	3.43	3.31	4.12	8.02	8.47	9.30	4.68	41.9	20.2	15.5	22.5
50	10.1	12.4	13.6	7.28	7.72	3.20	2.50	8.32	8.32	6.50	8.68	11.4	36.1	18.2	19.1	26.6
95	21.9	34.0	12.1	5.07	4.41	2.11	2.74	3.56	8.57	2.24	0.98	2.21	68.1	11.6	14.9	5.40
20. р.Уж – Зарічово																
5	14.3	9.00	8.12	9.95	7.08	5.24	3.99	0.98	5.75	16.2	2.27	17.1	31.4	22.3	10.7	35.6
50	9.49	9.57	13.6	5.95	9.09	2.84	2.18	6.35	8.48	8.81	10.9	12.8	32.6	17.9	17.0	32.5
95	25.5	20.1	6.94	11.6	4.19	2.60	1.67	1.65	2.63	3.38	14.2	5.59	52.5	18.4	6.00	23.2
21. р.Уж – Ужгород																
5	15.5	18.0	10.2	8.09	9.28	3.81	2.43	1.76	6.05	8.33	11.1	5.46	43.7	21.2	10.2	24.9
50	17.4	17.7	6.79	4.19	1.25	1.15	2.13	6.12	5.31	7.81	9.26	21.0	41.8	6.60	13.6	38.0
95	24.1	20.2	7.93	11.9	3.84	2.63	1.64	0.98	1.10	2.44	16.9	6.46	52.2	18.3	3.70	25.8
22. р.Турія – Сімер																
5	18.8	10.3	10.4	11.7	6.57	3.31	1.49	0.35	5.27	14.7	1.95	15.2	39.5	21.6	7.10	31.8
50	22.5	16.7	11.8	4.13	5.07	8.43	0.99	0.77	6.14	13.4	1.61	8.50	51.0	17.6	7.90	23.5
95	19.5	17.8	10.8	8.12	4.14	2.34	1.36	1.28	2.08	2.72	18.5	11.4	48.1	14.6	4.70	32.6

Базуючись на попередніх дослідженнях [42, 137] та на основі отриманих результатів (табл.3.5 та табл.3.6) було побудовано графіки модульних коефіцієнтів величини середньомісячної витрати води для річок басейну Тиси в межах України (рис. 3.7-3.8).

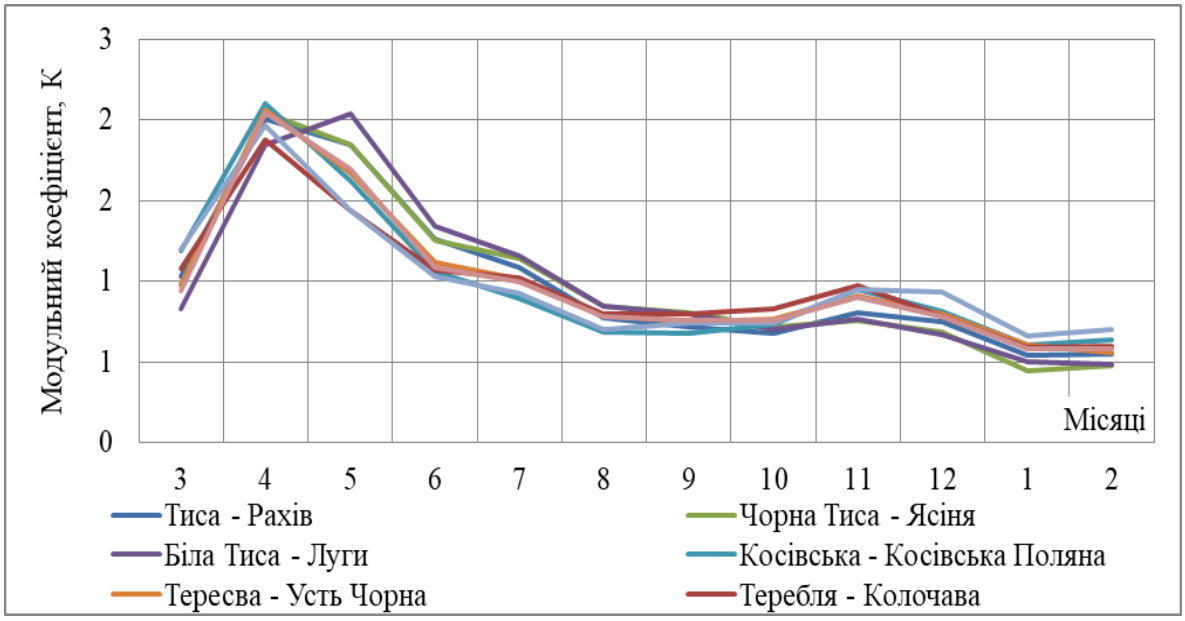


Рис. 3.7. Графік зміни модульних коефіцієнтів по місяцях протягом водогосподарського року для річок басейну Тиси в межах східного району

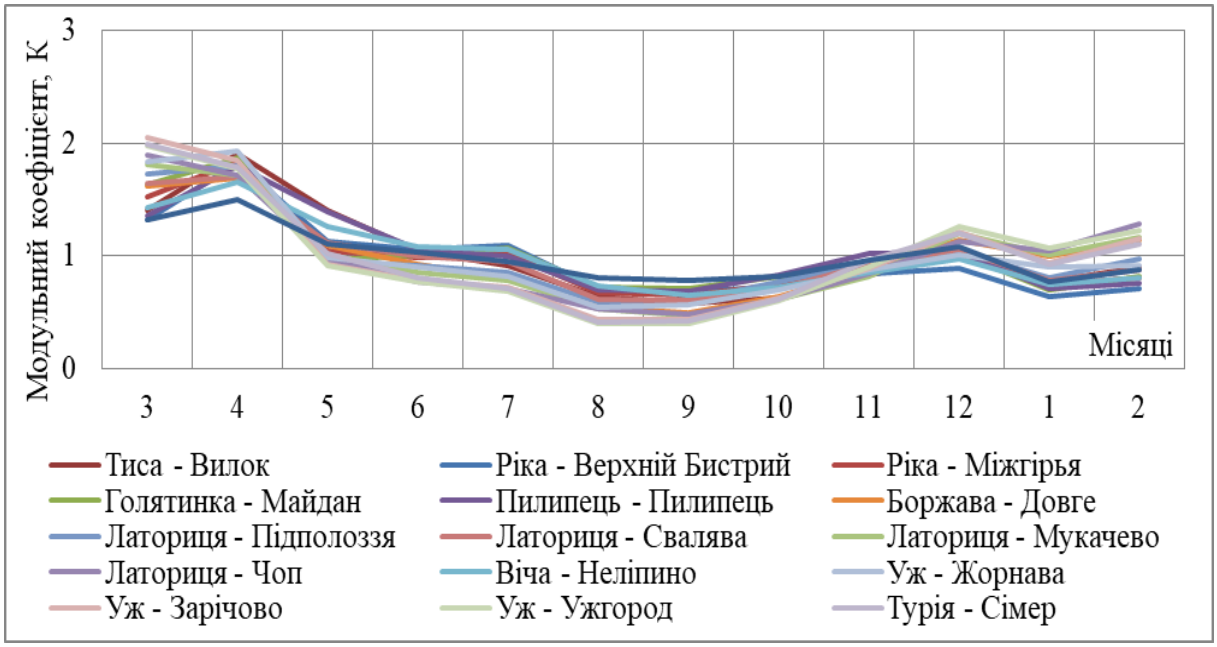


Рис. 3.8. Графік зміни модульних коефіцієнтів по місяцях протягом водогосподарського року для річок басейну Тиси в межах західного району

Криві на графіках за подібністю у розподілі по місяцям були об’єднані в два райони, які характеризуються схожим внутрішньорічним розподілом стоку

[103,123,128]. Такий розподіл підтверджує попередні спроби районування території басейну Тиси [42,137]. Виходячи з цього було вирішено подальші оцінки змін мінімального стоку води проводити в межах двох районів — східного та західного. Межа між цими районами проходить по вододільній лінії між басейнами р.Ріка та р.Теребля, що підтверджується просторовим розподілом опадів та температур (див. розд.2).

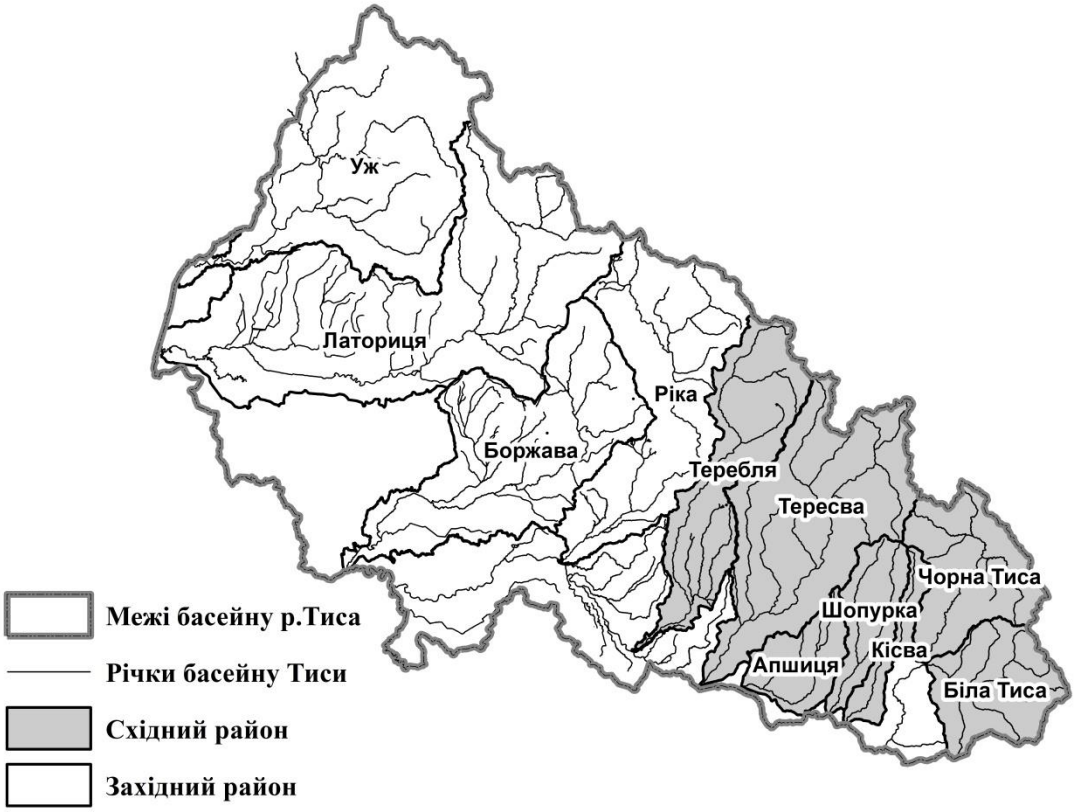


Рис. 3.9. Районування території басейну Тиси за внутрішньорічним розподілом стоку

В межах цих районів була розрахована схема розподілу витрат води по місяцях та сезонах у % від річного значення (табл. 3,7 рис. 3.10, 3.11).

Таблиця 3.7

Типові схеми розподілу внутрішньорічного стоку (%) по місяцях в характерні за водністю роки для східного та західного районів

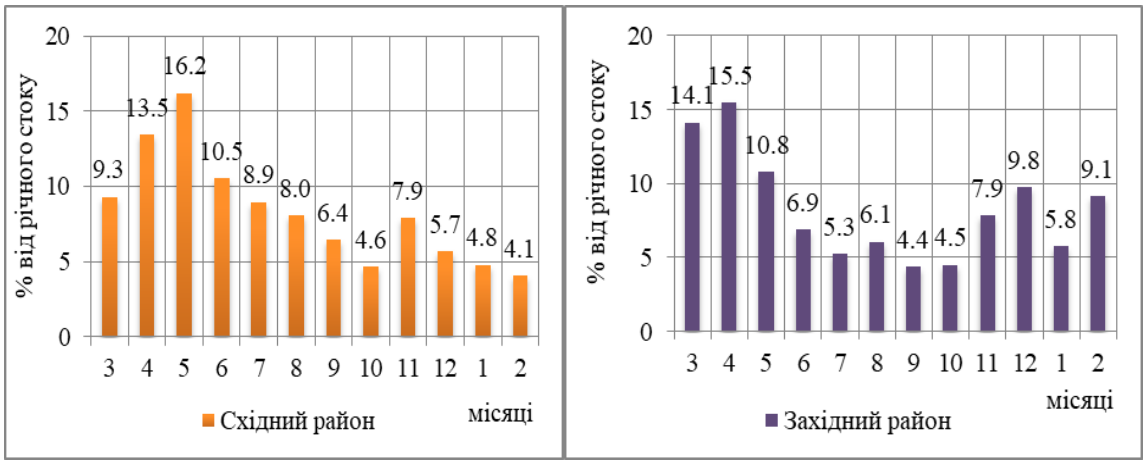
Район	Місяці, %											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
східний	9.31	13.5	16.2	10.5	8.95	8.04	6.44	4.63	7.89	5.69	4.79	4.07
західний	14.1	15.5	10.7	6.8	5.26	6.07	4.36	4.52	7.86	9.76	5.77	9.14

Таблиця 3.8

Типові схеми розподілу внутрішньорічного стоку (%) по сезонах в характерні за водністю роки для східного та західного районів

Район	Сезонний стік, %			
	Весна	Літо	Осінь	Зима
східний	38.9	27.5	19.0	14.6
західний	40.4	18.2	16.7	24.7

На основі таблиці 3.7 були побудовані графіки розподілу часток стоку води по місяцях (рис.3.10) та по сезонах (рис.3.11).



а) б)

Рис. 3.10. Внутрішньорічний розподіл стоку (%) по місяцям в межах районів а) східний та б) західний для річок басейну Тиси в межах України

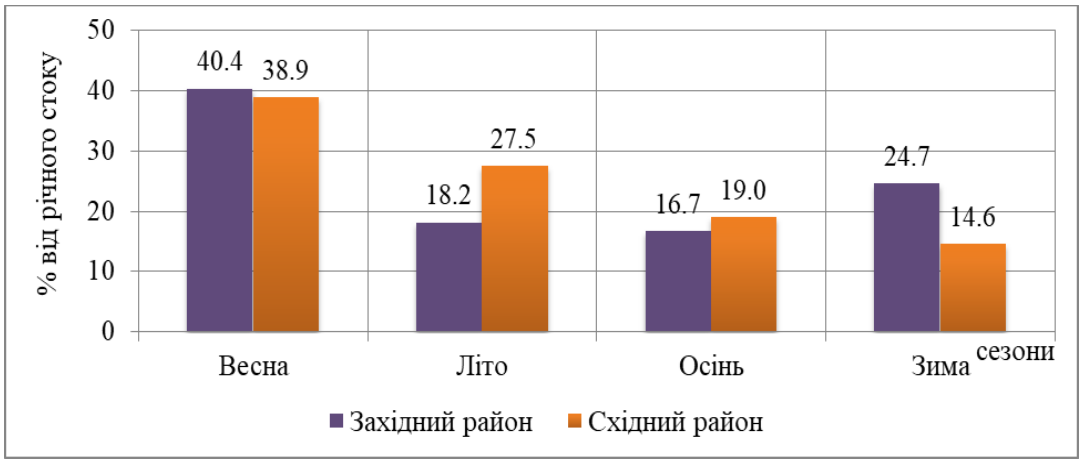


Рис. 3.11. Внутрішньорічний розподіл стоку (%) по сезонам в межах районів (східний та західний) для річок басейну Тиси в межах України

До східного району відносяться басейни річок Верхньої Тиси (Чорна та Біла Тиса, басейн Тересви та Теребля) з середніми висотами 900-1100м. Цей район характеризується значними перепадами висот, крутими схилами та великими похилами на річках. Також тут випадає велика кількість опадів, яка швидко стікає схилами. Такі природні умови пояснюють проходження частих та швидких паводків, які значно вливають на формування мінімального стоку та суттєво ускладнюють виділення меженних періодів на річках. Найбільш повноводним сезоном тут також є весна, на неї припадає майже 39% стоку. На відміну від західного району, найбільша частина стоку тут припадає на квітень (13%) та травень (16%). Це пов'язано з тим, що на високогір'ї стік затримується за рахунок низьких температур, які, подекуди, тримаються аж до березня. За лімітуючий період згідно внутрішньорічного розподілу стоку для середнього за водністю року можна прийняти осінь-зиму (33%), а лімітуючий сезон – зима (14,6%), найменший стік спостерігається в лютому – 4,1% від річного (див. табл. 3.7-3.8, рис. 3.10-3.11).

Західний район, значну частину якого складає Закарпатська низовина, характеризується незначним діапазоном середніх висот водозборів (310-920м), м'якими формами рельєфу та помірним кліматом. Лімітуючий період тут припадає на літо-осінь (див. табл.3.7, 3.8, рис. 3.10, рис. 3.11), коли нестача стоку компенсується лише за рахунок проходження дощових паводків, особливо в літній період. Лімітуючий сезон – з серпня по жовтень (літньо-осіння межень). Далі наступає період осінніх паводків, які змінюються на сніго-дощові паводки під час відлиг. Зменшення температури повітря та кількості опадів призводить до різкого зниження стоку в січні (5,8%). Все це призводить до поступового зростання частки стоку (9,1%), яка наближається до фази водопілля, максимум якої припадає на квітень (15,5%) і продовжується разом із літніми паводками аж до кінця червня. Таким чином частка весняного стоку для західного району становить – 40,4%, літнього - 18,2%, осіннього – 16,7% та зимового 24,7%.

3.3. Перевірка на однорідність часових рядів мінімального стоку води річок басейну Тиса

Основні риси багаторічних коливань більшості гідрологічних характеристик у значній мірі обумовлені ймовірнісною природою зміни стоку води, які повязані з атмосферними процесами. Турбулентний режим руху повітря в атмосфері викликає нестійкість метеорологічних характеристик у часі й просторі [55,61,63,72]. Однією з причин стохастичної природи коливань річкового стоку є багатофакторність цього процесу. Формування стоку спричинене великою кількістю факторів, сполучення яких має випадковий характер. Цей вид випадковості носить загальний характер внаслідок безперервності впливу на стік метеорологічних процесів і різноманітних станів підстильної поверхні. Важливий елемент випадковості коливань річкового стоку пов'язаний з неповнотою уявлень про ці фактори та їхній вплив на зміну річкового стоку в часі. При цьому враховується обмеженість даних гідрологічних спостережень, випадкові помилки, що містяться в цих спостереженнях. Все це разом створює умови для застосування апарату математичної статистики та теорії ймовірностей до опису коливань стоку води на річках [61,63,97,118].

Для встановлення закономірностей коливання мінімального стоку річок басейну Тиси було проведено оцінку однорідності всіх сформованих рядів за 1 добу, за 7 діб та за 30 діб.

Перевірка на однорідність проводилась за рівнями значимості 1%, 5% та 10%, тобто за тими, що прийнято при оцінці гідрометеорологічної інформації.

Кількісну оцінку внутрішньорядної однорідності мінімальних витрат води по річках басейну Тиси виконано за узагальненими стандартними параметричними критеріями: Стьюдента – для перевірки значущості середніх значень (статистика t) і Фішера - для перевірки відношення дисперсій (статистика F). Таблиці перевірки гіпотез на однорідність для кожного гідрологічного поста наведено в додатку А.

З непараметричних критеріїв використано критерій Вількоксона (статистика кількості інверсій U) (табл. 3.9). Гіпотези про однорідність послідовностей мінімальних витрат води за критерієм Вількоксона спростовуються лише для

р.Тересви (для 30, 7 та 1 добових витрат), р.Боржава (за одну добу в період літньо-осінньої межені), р.Стара (7 днів літньо-осінньої межені), р. Уж - Зарічево (7 днів літньо-осінньої межені) та р. Уж-Ужгород (7 днів).

В таблиці 3.9 наведено вцілому по басейну у відсотках кількість однорідних рядів мінімального стоку води від загальної.

Як бачимо (табл. 3.9), гіпотеза параметричного критерію Стьюдента за значущості норм при рівні значимості 2α=5% не спростовується у 95,5% для мінімальних витрат за 30 діб, у 81,8% для мінімальних витрат за одну добу та за 7 діб в теплий період, та 86,4% для рядів мінімальних витрат за 7 діб холодного періоду. За критерієм Фішера за відношенням дисперсії при рівні значимості 2α=5% ряди мінімального стоку за 30 діб, 1 добу та за 7 діб однорідні у 90,9-100% випадків, що свідчить про однорідність рядів спостережень.

Таблиця 3.9

Відсоток однорідних рядів показників мінімального стоку за параметричними та непараметричними критеріями при рівні значимості 5%

Критерії однорідності	Кількість (%) однорідних рядів заданих мінімальних витрат води при рівні значимості 5%			
	30діб	1доба	7діб (літньо-осіння межень)	7діб (зимова межень)
Кількість рядів	22	22	22	22
Стьюдента. статистика *t*	95.5%	81.8%	81.8%	86.4%
Фішера. статистика *F*	90.9%	95.5%	100%	90.9%
Вількоксона	95.5%	90.9%	77.3%	86.4%

Не однорідними є мінімальні витрати води за 7 діб періоду літньо-осінньої межені для гідропоста Вилок. Вказаний пост є замикальним в наших дослідженнях на р.Тиса, тому мінімальний стік тут формується під дією різних просторово-часових чинників як на правих, так і на лівих приток головної річки (р.Тиса).

Гіпотези про однорідність спростовуються для гідропоста Усть Чорна на р.Тересва, на що може впливати розташування поста після злиття двох річок — Мокрянки та Брустурянки, з різними умовами формування мінімального стоку.

Одним із методів оцінки однорідності є метод сумарних інтегральних кривих [44-46]. Суть методу полягає у тому, що графік накопичувальних величин гідрологічних характеристик має наближатися до прямої лінії. У разі відхилення розрахункової величини, у нашому випадку мінімальних витрат витрати, від прямої лініє означає порушення однорідності ряду. Сумарна крива гідрологічних характеристик розраховується за формулою [45]:

$$w=\sum_{t=1}^{T} w(t), \tag{3.1}$$

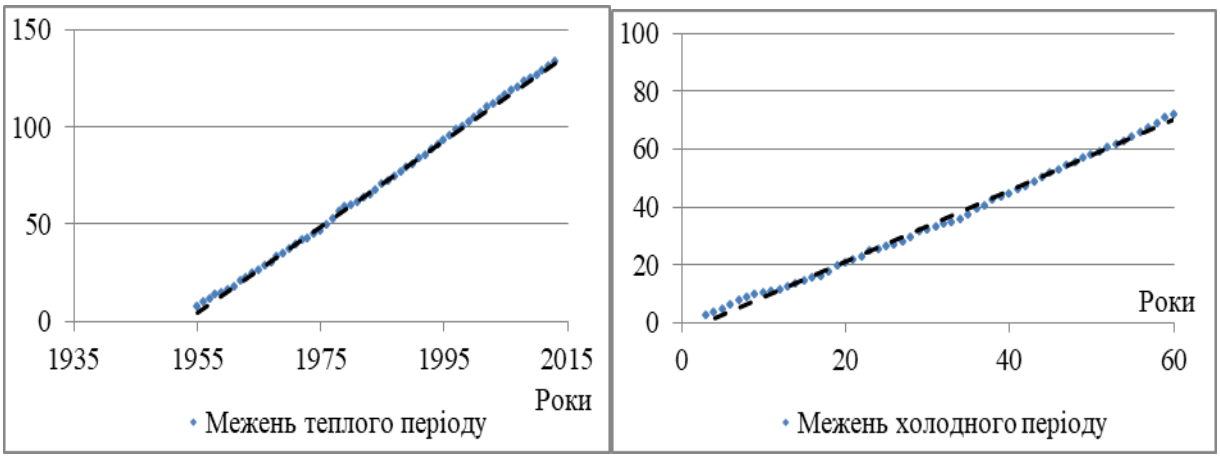
де W – сумарна величина гідрологічної характеристики за період часу T; $w(t)$ – гідрологічна характеристика t-го року.

Під час аналізу змін в рядах мінімальних витрат води за сумарною кривою головним завданням є визначити, які відхилення від прямої лінії викликані змінами в чинниках формування або антропогенною діяльністю, а які є проявом циклічних коливань. Під мінливістю часового ряду розуміємо тимчасове відхилення від прямої лінії гідрологічної характеристики, тобто в такому стані гідрологічна характеристика набуває нової якості тільки на якийсь проміжок часу. У разі довготривалих циклічних коливань такий проміжок часу може тривати десятиліттями, але, до того ж, гідрологічна характеристика час від часу повертається до свого «старого» стану. Такий саме сценарій є актуальним і для короткострокових циклічних коливань, але проміжок часу тут значно менший і рахується зазвичай декількома роками. Характерною відзнакою мінливості часового ряду є те, що набуття тимчасової нової якості гідрологічною характеристикою відбувається плавно, поступово, так само, як і перехід у зворотній напрямок [45].

Для оцінки однорідності рядів спостережень мінімального стоку води побудовано сумарні інтегральні криві для всіх гідрологічних постів річок басейну

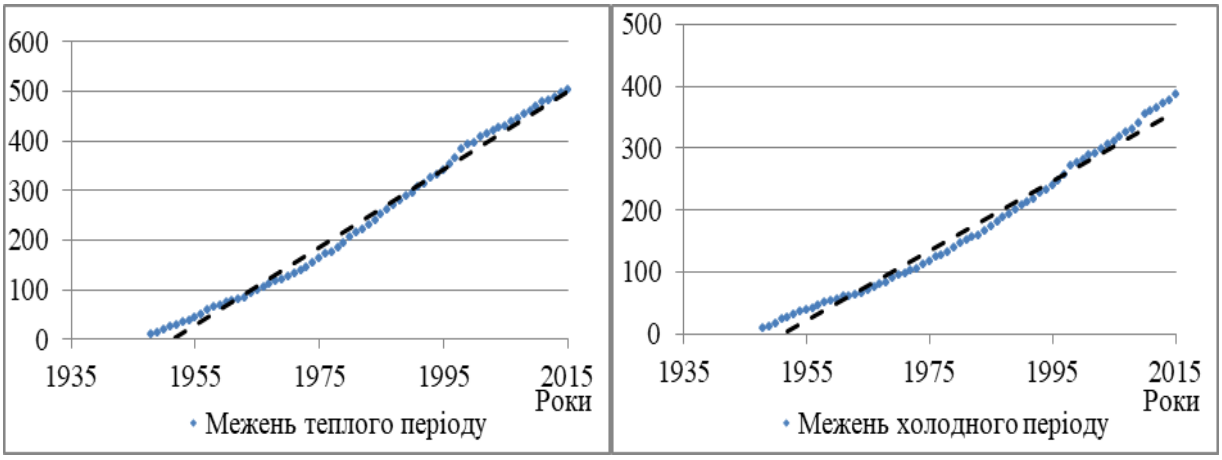
Тиси в межах України (додаток Б). Приклад сумарних інтегральних кривих наведено на рис. 3,12, 3,13.

На відповідних графіках (3.12-3.13) наочно видно, що тенденцій до порушення стаціонарності рядів, які б могли бути викликані антропогенною діяльністю вцілому не виявлено. Це свідчить про однорідність рядів мінімальних витрат, тобто відсутність кардинальних змін у досліджуваної характеристиці водного режиму річок басейну Тиси в межах України.



а) б)

Рис. 3.12. Сумарна інтегральна крива мінімальних витрат води р. Біла Тиса –Луги (ряди стаціонарні) а) літньо-осіння межень б) зимова межень



а) б)

Рис. 3.13. Сумарна інтегральна крива мінімальних витрат води р.Тересва- Усть Чорна (порушення стаціонарності рядів) а) літньо-осіння межень б) зимова межень

За сумарними інтегральними кривими для поста Усть Чорна на річці Тересва спостерігаються незначні відхилення від прямої лінії, що може свідчити про яскраво виражені зміни маловодної та багатоводної фази. Детальніше такі зміни можна буде прослідкувати під час аналізу різницевих інтегральних кривих.

3.4. Оцінка мінливості мінімальних за 7 діб витрат води річок басейну Тиси в межах України

Мінливість будь-якої характеристики розуміється як тимчасове відхилення значень від норми. Основними параметрами при оцінці мінливості рядів стоку води є коефіцієнт варіації та асиметрії [47,59,80,98,139,175].

В табл. 3.10 подано багаторічні характеристики мінімального стоку води літньо-осінньої та зимової межені (мінімальні витрати та модулі стоку води) річок басейну Тиси в межах України та параметри його мінливості (коефіцієнти варіації та асиметрії).

Таблиця 3.10

Статистичні параметри розподілу рядів мінімальних за 7 діб витрат води за даними гідрологічних постів для басейну р.Тиса в межах України

№	Річка - пост	Межень	Мінімальна витрата води за 7 діб, м^3/с	C_v	C_s	C_s/C_v	Модуль мінімального стоку води за 7 діб, л/скм^2
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Тиса–Рахів	літньо-осіння	9.03	0.29	0.32	1.10	8.44
		зимова	6.37	0.31	0.42	1.40	5.96
2.	Тиса–Вилок	літньо-осіння	56.8	0.33	0.68	2.00	17.1
		зимова	56.7	0.30	-0.05	-0.20	17.0
3.	Чорна Тиса–Ясіня	літньо-осіння	1.89	0.48	2.23	4.60	9.74
		зимова	0.99	0.46	1.13	2.40	5.10

Продовження табл. 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8
4.	Біла Тиса–Луги	літньо-осіння	2.15	0.28	0.47	1.70	11.4
		зимова	1.26	0.39	0.33	0.90	6.67
5.	Косівська–Косівська Поляна	літньо-осіння	1.73	0.35	0.58	1.70	14.2
		зимова	1.49	0.37	1.13	3.00	12.2
6.	Тересва–Усть-Чорна	літньо-осіння	7.27	0.39	0.99	2.50	12.7
		зимова	5.59	0.46	1.74	3.80	9.77
7.	Ріка – Верхній Бистрий	літньо-осіння	1.08	0.26	0.47	1.80	5.38
		зимова	0.88	0.67	4.69	7.00	6.59
8.	Ріка–Міжгір’я	літньо-осіння	2.69	0.40	0.95	2.30	4.89
		зимова	2.88	0.39	1.92	4.90	5.24
9.	Голятинка - Майдан	літньо-осіння	0.45	0.55	1.32	2.4	5.29
		зимова	0.52	0.44	1.15	2.6	6.05
10.	Пилипець-Пилипець	літньо-осіння	0.41	0.64	2.33	3.64	9.27
		зимова	0.41	0.51	0.93	1.82	9.27
11.	Студений - Нижній Студений	літньо-осіння	0.10	0.67	1.61	2.40	4.09
		зимова	0.17	0.43	1.28	2.96	6.93
12.	Боржава–Довге	літньо-осіння	2.79	0.51	1.87	3.60	6.84
		зимова	4.28	0.46	1.27	2.70	10.5
13.	Латориця–Підполоззя	літньо-осіння	2.07	0.68	2.24	3.30	6.39
		зимова	2.29	0.48	0.61	1.30	7.07
14.	Латориця–Свалява	літньо-осіння	3.87	0.43	1.72	4.00	5.69
		зимова	4.42	0.38	0.14	0.40	6.50
15.	Латориця–Мукачеве	літньо-осіння	5.34	0.52	2.97	5.60	3.93
		зимова	6.10	0.41	0.59	1.40	4.49
16.	Латориця - Чоп	літньо-осіння	7.44	0.41	2.12	5.10	2.59
		зимова	9.13	0.42	1.01	2.40	3.18

Продовження табл. 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8
17.	Віча–Неліпино	літньо-осіння	2.28	0.35	0.80	2.30	9.46
		зимова	1.96	0.46	0.27	0.60	8.13
18.	Стара–Зняцево	літньо-осіння	0.27	0.62	1.71	2.80	1.21
		зимова	0.56	0.54	0.93	1.70	2.50
19.	Уж–Жорнава	літньо-осіння	1.40	0.42	0.79	1.90	4.90
		зимова	1.45	0.47	0.58	1.20	5.07
20.	Уж–Зарічеве	літньо-осіння	2.90	0.50	1.11	2.20	2.27
		зимова	3.92	0.46	0.88	1.90	3.06
21.	Уж–Ужгород	літньо-осіння	3.69	0.67	1.35	2.00	1.87
		зимова	5.26	0.53	0.68	1.30	2.67
22.	Тур'я–Сімер	літньо-осіння	1.47	0.62	2.36	3.80	3.17
		зимова	1.85	0.59	1.41	2.40	3.99

Аналіз табл. 3.10 засвідчив, що коефіцієнт варіації *Cv* для літньо-осінньої межені коливається в межах 0,28-0,68. Середнє значення – 0,44. Найбільші значення відносяться до водозборів воднобалансової станції в басейні р.Ріка. Щодо зимової межені, то коефіцієнти варіації *Cv* коливаються від 0,3 до 0,67, середнє значення становить 0,45. Просторовий розподіл коефіцієнта варіації засвідчив, що більша мінливість спостерігається на річках західного району в період проходження літньо-осінньої межені. Щодо східного району, то тут більш нестабільним є стік води в період зимової межені. Мінливість та нестабільність мінімального стоку в період літньо-осінньої межені пояснюється частими та раптовими паводками, особливо притаманними гірській частині басейну. Величина мінливості мінімального стоку менша на тих річках, де частка підземного стоку більша, а також на великих річках та на річках з більшим зарегулюванням [30,31,60].

На рисунках (3.14, 3.15) наведено зміну коефіцієнта варіації з висотою в межах басейну р.Тиса та модулями мінімального за 7 діб стоку води для літньо-осінньої та зимової межені.

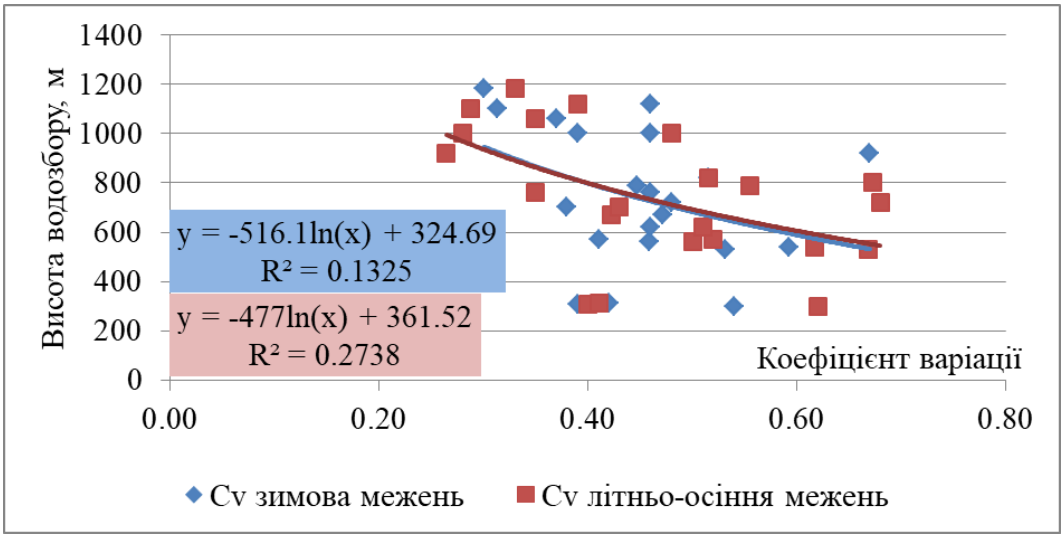


Рис. 3.14. Залежність коефіцієнта варіації мінімальних витрат води за 7 діб від висоти водозборів річок басейну Тиси в межах України для літньо-осінньої та зимової межені

На рис 3.14 прослідковується тенденція до зростання коефіцієнта варіації зі зменшенням висоти водозбору. Для літньо-осінньої межені коефіцієнт кореляційного відношення *r*=0.51, а для зимової межені *r*=0,36, що свідчить про слабкі зв'язки між цими величинами. Як для літньо-осінньої так і зимової межені мінімальні за 7 діб витрати води є більш стабільними для гідрологічних постів, розташованих у гірській місцевості з висотами більше 800 м.

Також важливим є оцінка зміни модуля мінімального стоку в залежності від коефіцієнта варіації (рис. 3.15).

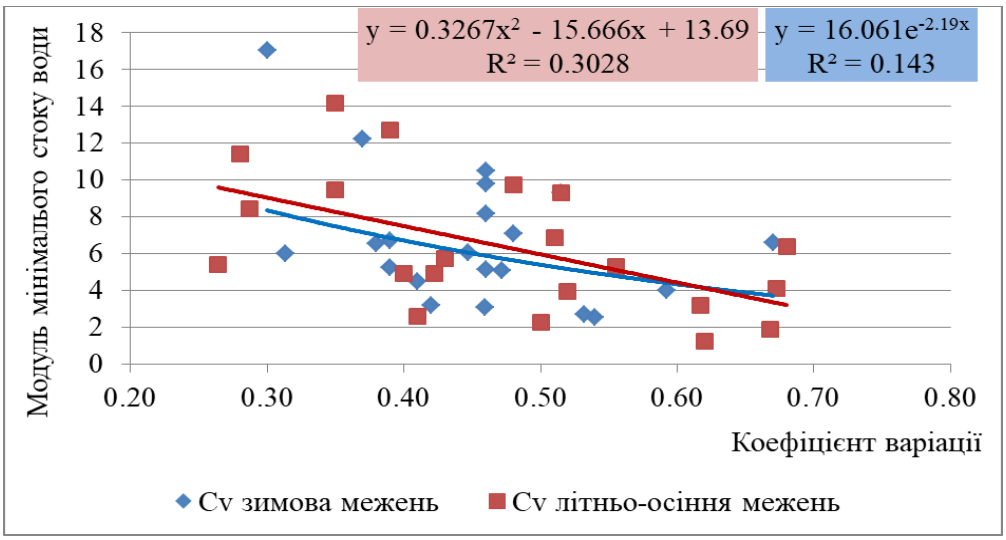


Рис. 3.15. Залежність між модулями мінімального за 7 діб стоку води з басейнів р.Тиса в межах України та коефіцієнтами їх варіації

Згідно рисунка 3.15 зв'язок між модулями мінімального за 7 діб стоку води річок басейну Тиси в межах України та коефіцієнтами їх варіації за багаторічний період відноситься до середньої області значимості з кореляційним відношенням зв’язку *r*=0.54 для літньо-осінньої межені, та для слабкої області значимості з кореляційним відношенням *r*=0,37 – для зимової.

Встановлені залежності і зв’язки дозволили картографувати коефіцієнти варіації. Їх територіальний розподіл засвідчив, що, вцілому, найменші показники Cv характерні для гірських територій, а більші значення притаманні рівнинній території (рис.3.16, 3.17), що узгоджується з рис. 3.14, особливо для мінімального стоку літньо-осінньої межені.

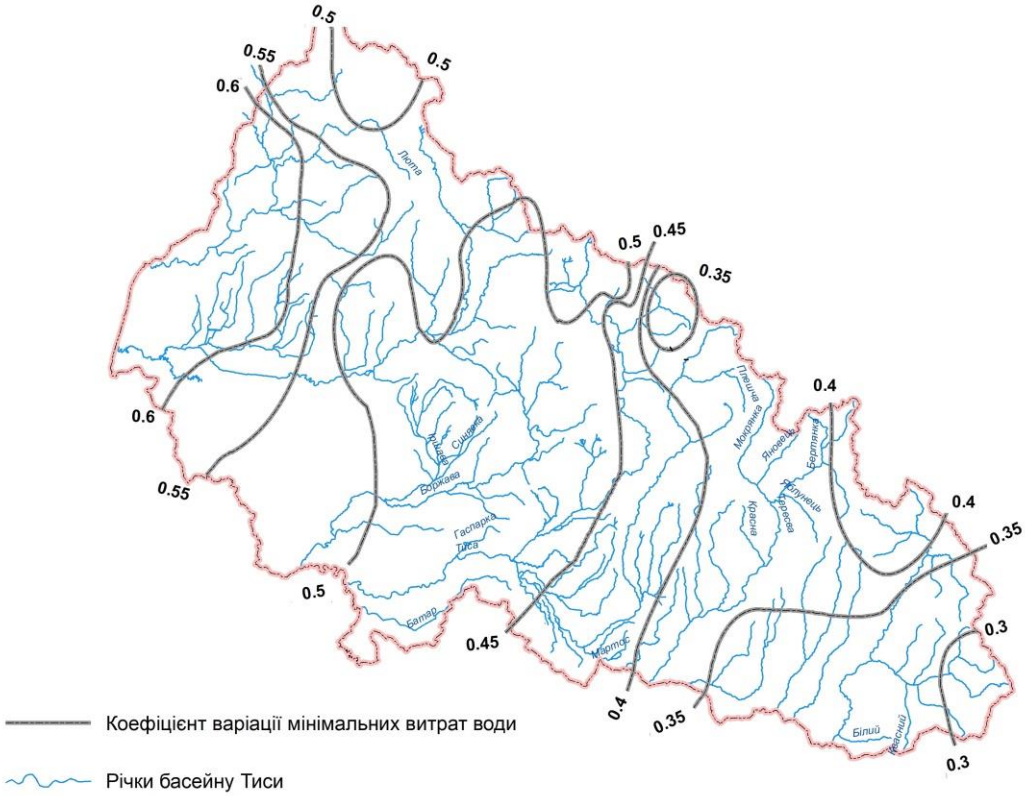


Рис. 3.16. Просторовий розпоідл коефіцієнту варіації мінімальних за 7 діб витрат води річок басейну Тиси в межах України для літньо-осінньої межені

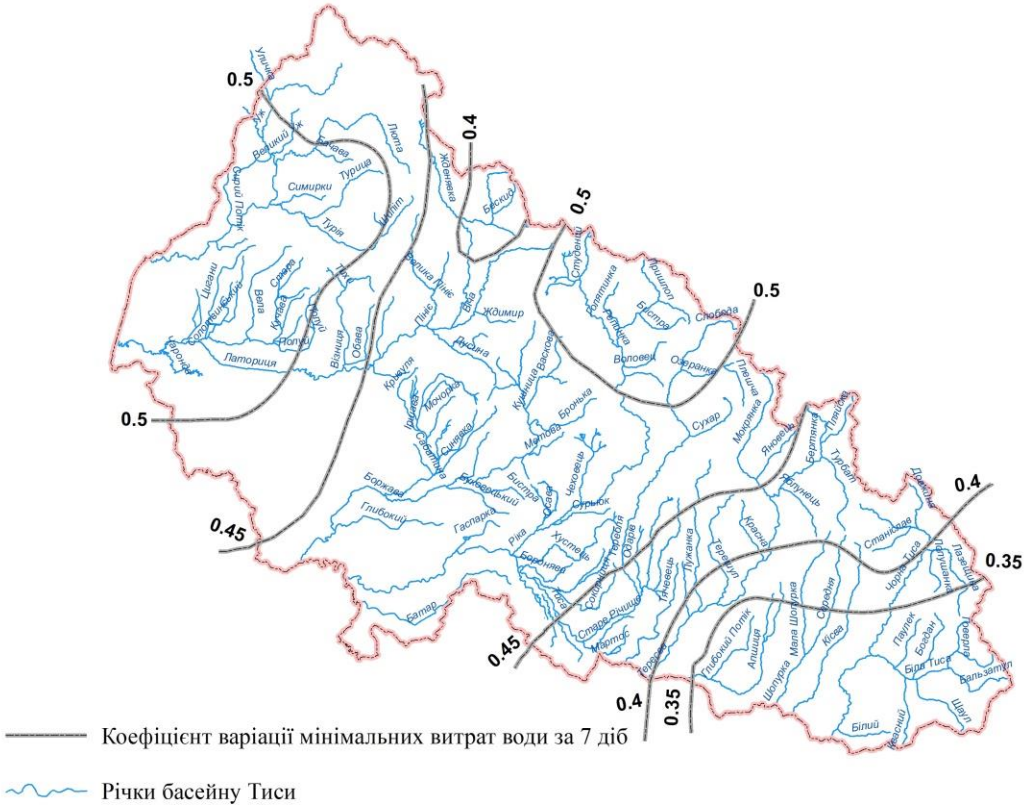


Рис. 3.17. Просторовий розподіл коефіцієнту варіації мінімальних за 7 діб витрат води річок басейну Тиси в межах України зимової межені

Для літньо-осінньої межені коефіцієнт варіації мінімальних за 7 діб витрат води зменшується із заходу на схід басейну від 0,6 до 0,3. Щодо зимової межені, то тут мінімальний стік є більш стабільним, вищі значення коефіцієнта варіації характерні для більш гірських районів басейну.

Стосовно коефіцієнта асиметрії *Cs*, то вцілому по басейну спостерігаються переважно додатні значення, що свідчить про те, що в багаторічній мінливості на річках переважають значення мінімального стоку, які менші за середні багаторічні. Тільки для мінімальних витрат холодного періоду для гідропоста Вилок, розташованого на р.Тиса спостерігається незначна від'ємна асиметрія, що свідчить про те, що тут переважають значення близькі або більші за середньобагаторічні мінімальні витрати води.

Узагальнене для річок басейну Тиси в межах України співвідношення *Cs/Cv* ≈ 1,8, свідчить про помірно-асиметричний розподіл. Мінімальні витрати води літньо-

осінньої межені для річок східного району (Чорна та Біла Тиса, Косівська, Тересва, Ріка) в середньому в 1,3 рази більші, ніж для західного, а мінімальні 7-денні витрати води зимової межені західного району (Боржава, Латориця, Уж) в 1,2 рази більші, ніж східного (табл.3.6).

3.5 Багаторічні коливання мінімальних витрат води за 7-денний період

Одним із підходів до аналізу часових коливань мінімального стоку води на річках є оцінка різницевих інтегральних кривих [86, 113,140,141,156].

Найбільш поширеним способом для виявлення тенденцій до групування років з відносно великими та малими значеннями стоку, які обумовлені внутрішньорядною зкорельованістю або наявністю циклічного тренду, полягає у графічному аналізі різницевої інтегральної кривої ,

$$S_t = \sum_{i=1}^{n}(k_i - 1)\,/C_v\,, \tag{3.2}$$

де модульний коефіцієнт k_i дорівнює відношенню , при цьому $\sum_{i=1}^{n}(k_i - 1)$ – середнє арифметичне всього ряду ; Cv – коефіцієнт варіації членів ряду; S_t – крива накопичення стоку [47,62,96,145,155].

Оскільки мінімальний стік води річок басейну Тиси залежить від фізико-географічних умов, важливим є побудова та аналіз різницевих інтегральних кривих окремо для всіх гідрологічних постів, що дасть можливість врахувати вплив азональних факторів на його формування.

Оцінка багаторічних коливань була проведена для генетично однорідних рядів мінімальних за 7 діб витрат води літньо-осінньої та зимової межені. Мінімальний стік води літньо-осінньої межені на річках басейну Тиси залежить від кількості та інтенсивності випадіння опадів та температурного режиму. Багаторічні коливання

мінімального за 7 діб стоку води на річках східного району характеризуються синхронністю та асинфазністю (рис. 3.18).

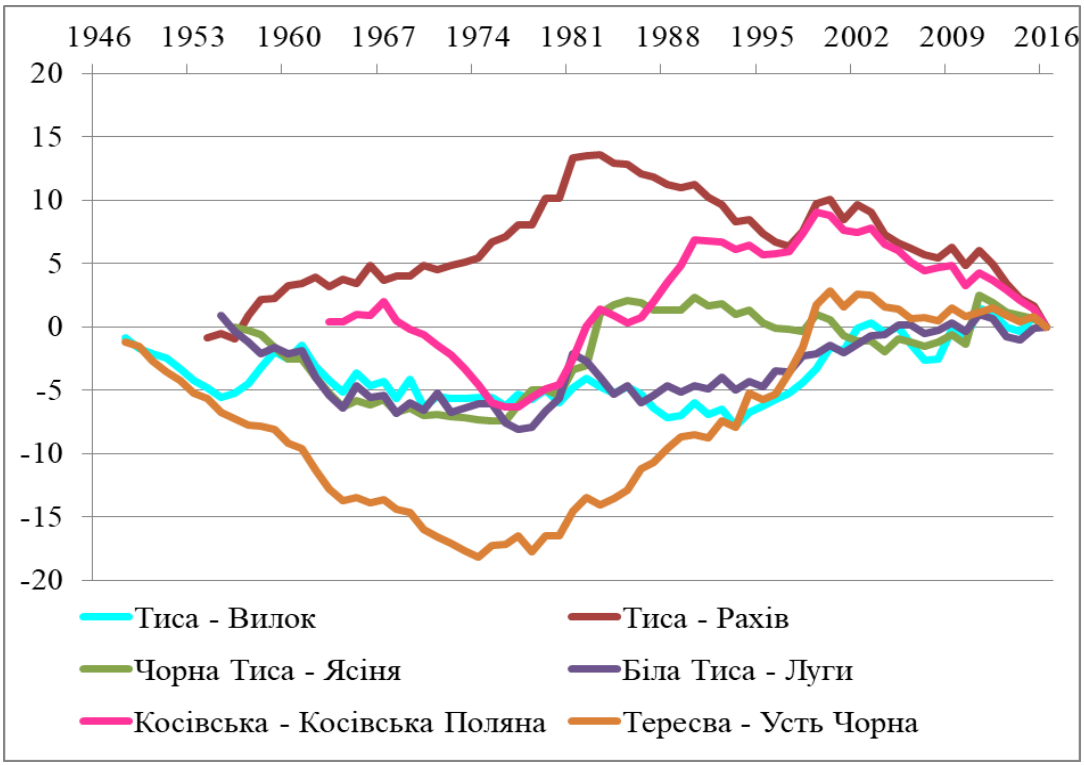


Рис. 3.18. Різницеві інтегральні криві мінімального стоку води за 7 діб літньо-осінньої межені для річок східного району

Це обумовлено в першу чергу особливостями формування мінімального стоку на різних водозборах та неоднорідністю природних умов басейнів. На річках східного району від початку спостережень і до початку 80-х років тривала як маловодна фаза (р.Тересва – Усть Чорна, р.Біла Тиса - Луги, р.Чорна Тиса - Ясіня,р. Тиса - Вилок), так і багатоводна (р.Тиса - Рахів). Від початку 80-х років коливання стають більш синфазними. На всіх гідрологічних, окрім р.Тиса – Рахів, спостерігається багатоводна фаза, яка триває подекуди і до 2015 року.

Багаторічні коливання на річках західного району вцілому характеризуються синхронними та синфазними коливаннями від початку спостережень і до кінця 80-років XX ст. Маловодна фаза змінюється багатоводною в середині 70-х років і триває до кінця 80-х років. Починаючи з 90-х років коливання стають асинфазними. Для більшості річок починається маловодна фаза, в той же час деякі річки залишаються у фазі підвищенної водності. На сучасному етапі на більшості річок спостерігається маловодна фаза (див. рис. 3.19).

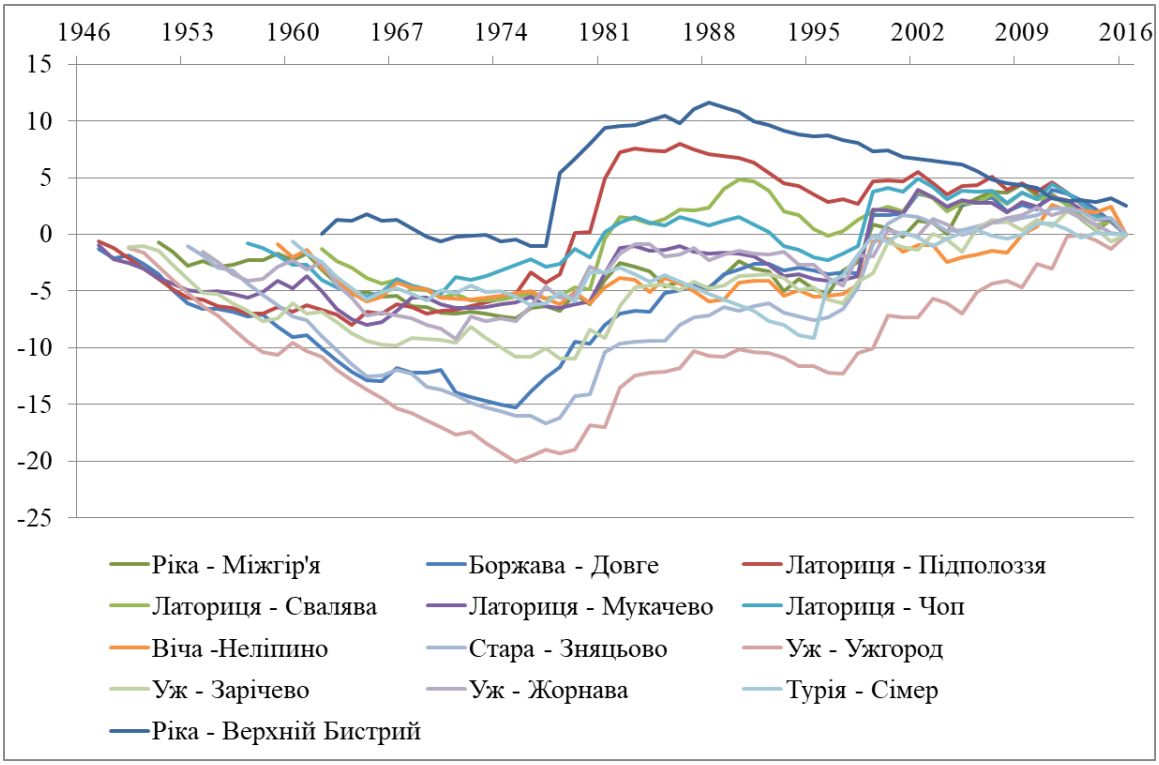


Рис. 3.19. Різницеві інтегральні криві мінімального стоку води за 7 діб літньо-осінньої межені річок західного району

Що стосується періоду зимової межені, то мінімальні витрати води за 7 діб формуються під впливом більшої кількості факторів, ніж в літньо-осінню. Особливо важливо враховувати не лише орографічну будову території, але й кліматичні умови, такі як температура повітря та опади. Найменші значення витрат води на гідрологічних постах басейну Тиси спостерігаються як в грудні, так і в лютому. Коливання температурного режиму атмосферного повітря можуть спричиняти відлиги. Разом з тим різна глибина промерзання ґрунту та неоднорідна висота снігового покриву обумовлюють неоднорідну інфільтрацію вологи в ґрунтові та підземні води. Проходження сніго-дощових та дощових паводків також суттєво ускладнюють встановлення тривалих періодів мінімального стоку та неоднорідність його коливань в просторову розподілі.

Мінімальний стік річок східного району (рис. 3.20) в період як зимової межені характеризуються вцілому синхронними та асинфазними коливаннями. З 1967 року мінімальний стік на р.Чорна Тиса – Ясіня, р. Косівська – Косівська Поляна та р.Тиса – Рахів знаходиться в багатоводній фазі аж до кінця 1980-х років.

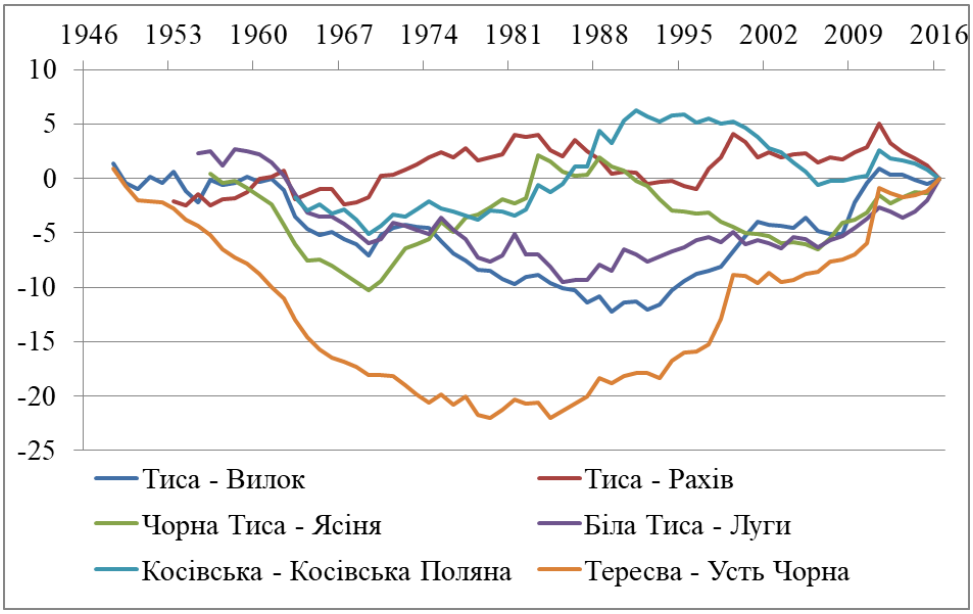


Рис. 3.20. Різницеві інтегральні криві мінімальних витрат води за 7 діб зимової межені для річок східного району

На сучасному етапі для більшості річок східного району продовжується фаза підвищенної водності мінімального стоку води за 7 діб.

Багаторічні коливання мінімального за 7 діб стоку води для періоду зимової межені в басейнах таких річок як Ріка та Латориця характеризуються вцілому синхронністю та синфазністю з деякими часовими зміщеннями настання фаз.

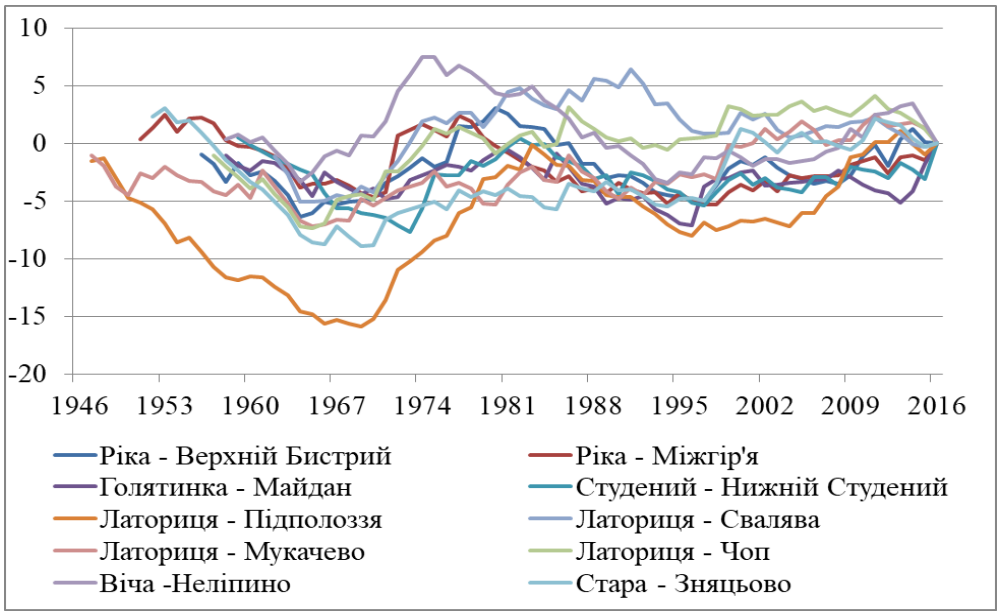


Рис. 3.21. Різницеві інтегральні криві мінімальних витрат води за 7 діб зимової межені для річок басейнів Ріки та Латориці

З середини 90-х років для більшості річок спостерігається стабілізація коливань (рис.3.21).

На рис. 3.22 можна прослідкувати багаторічні коливання мінімального за 7 діб стоку води для всього басейну Ужа.

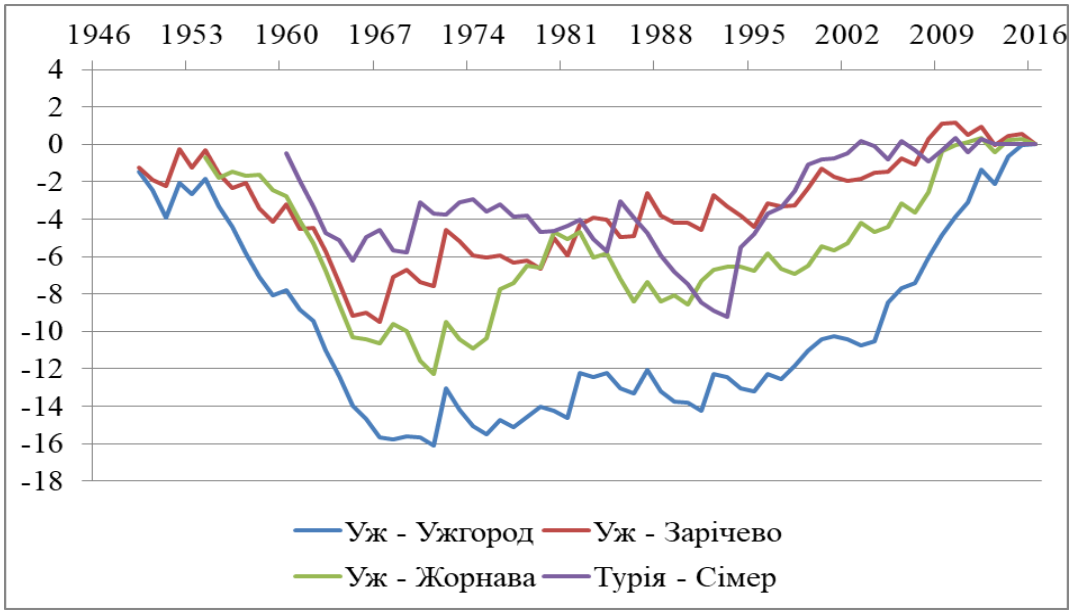


Рис. 3.22. Різницеві інтегральні криві мінімальних витрат води за 7 діб зимової межені для річок в басейні Ужа

Різницева інтегральна крива для гідрологічного поста Ужгород описує загальні тенденції коливань в басейні, в той самий час на кривих для інших гідрологічних постів прослідковуються внутрішньорядні флуктуації мінімального стоку, які формуються під дією азональних факторів.

Таким чином, уціому для річок басейну Тиси прослідковуються синхронні та асинфазні коливання мінімального стоку води за 7 діб. Для всього басейну характерною є відсутність повноцінних циклів коливань водності, що може пояснюватися азональними особливостями формування мінімального стоку на більшості території басейну. Це призводить до того, що на сучасному етапі мають місце різнопланові тенденції коливання стоку. Для більшості річок в межах західного району прослідковується період пониженної водності. А на річках східного району в той самий час мінімальний стік води 7 діб зростає.

3.6. Висновки до розділу 3

1. Проведено аналіз необхідної вихідної інформації та зібрано банк даних гідрологічної інформації про щоденні витрати води для 22 гідрологічних постів в басейні в межах України та 8 гідрологічних постів за її межами та 26 гідрологічних постів суміжних басейнів в межах України. Також зібрано дані про кліматичні характеристики, такі як опади, температуру повітря та сніговий покрив за кожен день. Для візуалізації отриманих результатів у вигляді картосхем, схем районів, розподілів ізоліній мінімального стоку та ін. зібрано також всю необхідно просторову та атрибутивну інформацію.

2. Обґрунтовано вибір розрахункового періоду для річок басейну Тиси тривалістю 7 діб. Побудовані гідрографи стоку для років різної забезпеченості та встановлено, що паводковий режим басейну, особливо в гірській його частині створює досить значні перешкоди до виділення тривалого меженного періоду у 30 діб. Тому за основу було взято період тривалістю 7 діб.

3. Проведено розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку. На його основі виділено 2 райони в межах басейну Тиси – західний та східний. Межа районів проходить по вододілу між басейнами р.Ріка та р.Теребря. На річках східного району на весняний сезон припадає 38,9% стоку, на літній - 27,5%, на осінній - 19,0%, лімітуючим сезоном є зима – 14,6%. Для західного району частка весняного стоку становить – 40,4%, літнього - 18,2%, осіннього – 16,7% та зимового 24,7%.

4. Ряди мінімальних витрат води за 1 добу, 7 та 30 діб були перевірені на часову однорідності з використанням параметричні на непараметричні критерії (Стьюдента, Фішера та Вількоксона). За параметричним критерієм Стьюдента Фішера гіпотеза про однорідність не спростовується у 95,5% випадків для 30 діб, більше як 81% випадків для рядів за 1 та 7 діб. За критерієм Фішера всі ряди у більше як 90% є однорідними. За непараметричним критерієм Вількоксона найбільш однорідними вважаються ряди за 30 діб – 95,5% випадків.

5. Оцінка мінливості мінімального стоку річок басейну Тиси засвідчила, що коефіцієнт варіації *Cv* для літньо-осінньої межені коливається в межах 0,28-0,68.

Середнє значення – 0,44. Найбільші значення відносяться до водозборів воднобалансової станції в басейні р.Ріка. Щодо зимової межені, то коефіцієнти варіації коливаються від 0,3 до 0,67, середнє значення становить 0,45. Коефіцієнти асиметрії *Cs* мають переважно додатні значення, що свідчить про те, що в багаторічній мінливості на річках в межах гідрологічних постів переважають витрати води менші за середні багаторічні. Тільки для мінімальних витрат зимової межені для гідрологічного поста р.Тиса-Вилок спостерігається незначна від'ємна асиметрія. Узагальнене для річок басейну Тиси в межах України співвідношення $Cs/Cv \approx 1{,}8$, свідчить про помірно-асиметричний розподіл коливань стоку.

6. Оцінка багаторічних коливань мінімального стоку засвідчила відсутність завершених циклів водності. Зміна періодів пониженої та підвищеної водності мінімальних витрат води відбувається досить неоднорідно по території басейну. Для літньо-осінньої межені чітко прослідковується залежність коливань мінімального стоку від середньої висоти водозбору. Вцілому для річок басейну Тиси прослідковуються синхронні та асинфазні коливання мінімального стоку води за 7 діб. Для всього басейну характерною є відсутність повноцінних циклів коливань водності, що може пояснюватися азональними особливостями формування мінімального стоку на більшості території басейну. На річках східного району мінімальний стік води за 7 діб зростає. Для більшості річок в межах західного району прослідковується період пониженої водності.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ЗВ'ЯЗКІВ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ З ВИЗНАЧАЛЬНИМИ ФАКТОРАМИ

4.1. Розрахункові характеристики мінімальних витрат води за 30 та за 7 діб заданої забезпеченості

В залежності від водогосподарських та інших потреб в Україні існують різні вимоги для розрахунку мінімального стоку води в річках.

Так, для функціонування екосистеми річки використовують таке поняття, як санітарна витрата – кількість води, яка має залишатися в руслі [95]. Для водогосподарських розрахунків використовуються карти мінімального модуля стоку забезпеченістю 80% [116]. В якості санітарної витрати в Україні рекомендовано використовувати мінімальну середньомісячну витрату води 95% забезпеченості [28]. В роботах Ободовського О.Г. детально розглянуто екологічно допустимі мінімальні витрати води на території України [108,115].

Таким чином можна зробити висновок, що в Україні до сьогодні не існує єдиних актуалізованих вимог до мінімальної кількості води в річкових системах. В різних сферах залишаються різні умови і підходи до її оцінювання.

Для побудови картосхем модуля мінімального стоку та встановлення перехідних коефіцієнтів на різні забезпеченості було проведено їх розрахунок.

Важливим оціночним аспектом мінімального стоку води річок басейну Тиси є його просторове відображення у вигляді картосхем. Картосхеми будуються в модулях мінімального стоку води (табл. 4.1, 4.2).

Для початку було проведено обчислення забезпеченостей мінімальних витрат води за 30 діб. Ординати аналітичних кривих забезпеченостей було визначено за графоаналітичним методом побудови [71,152]. Вказані розрахунки проведені

окремо для двох періодів — літньо-осінньої межені (табл.4.1) та зимової межені (табл. 4.2).

Таблиця 4.1

Модулі мінімального стоку за 30 діб заданих забезпеченостей розрахункових для літньо-осінньої межені, л/с.км^2

№	Річка-пост	Імовірність перевищення, %		
		75	80	95
1	2	3	4	5
1.	Тиса – Рахів	8.50	8.10	6.21
2.	Тиса – Вилок	5.31	4.91	3.71
3.	Чорна Тиса – Ясіня	7.91	7.41	5.11
4.	Біла Тиса –Луги	10.6	10.1	7.41
5.	Косівська - Косівська Поляна	12.6	11.8	8.21
6.	Тересва - Усть Чорна	10.5	9.81	6.80
7.	Ріка - Міжгір'я	4.80	4.40	3.00
8.	Боржава – Довге	5.50	5.00	3.20
9.	Латориця – Підполоззя	4.90	4.40	2.80
10.	Латориця – Свалява	4.90	4.50	2.90
11.	Латориця – Мукачеве	0.50	0.40	0.20
12.	Латориця – Чоп	2.10	2.00	1.50
13.	Віча – Неліпино	8.20	7.40	3.70
14.	Стара – Зняцьово	1.00	0.90	0.40
15.	Уж – Зарічово	4.80	4.40	3.00
16.	Уж – Жорнава	5.50	5.00	3.20
17.	Уж – Ужгород	4.90	4.40	2.80
18.	Тур'я – Сімер	4.90	4.50	2.90
19.	Голятинка – Майдан	0.50	0.40	0.20
20.	Пилипець – Пилипець	2.10	2.00	1.50
21.	Студений - Нижній Студений	8.20	7.40	3.70
22.	Ріка - Верхній Бистрий	1.00	0.90	0.40

Таблиця 4.2

Модулі мінімального стоку за 30 діб заданих забезпеченостей розрахункових для зимової межені, л/с.км^2

№	Річка-пост	Імовірність перевищення, %		
		75	80	95
1	2	3	4	5
1.	Тиса – Рахів	5.70	5.30	3.80

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5
2.	Тиса – Вилок	6.70	6.30	4.40
3.	Чорна Тиса – Ясіня	4.40	4.00	2.30
4.	Біла Тиса –Луги	6.50	6.00	3.70
5.	Косівська - Косівська Поляна	11.0	10.3	7.80
6.	Тересва - Усть Чорна	8.60	8.00	5.70
7.	Ріка - Міжгір'я	5.40	4.90	3.00
8.	Боржава – Довге	9.50	8.30	3.70
9.	Латориця – Підполоззя	6.50	5.60	1.10
10.	Латориця – Свалява	6.40	5.80	4.00
11.	Латориця – Мукачеве	3.40	3.10	1.90
12.	Латориця – Чоп	3.10	2.90	1.90
13.	Віча – Неліпино	5.70	5.00	1.90
14.	Стара – Зняцьово	2.40	2.10	1.30
15.	Уж – Зарічово	5.40	1.56	3.00
16.	Уж – Жорнава	9.50	3.21	3.70
17.	Уж – Ужгород	6.50	1.01	1.10
18.	Тур'я – Сімер	6.40	2.11	4.00
19.	Голятинка – Майдан	3.40	6.54	1.90
20.	Пилипець – Пилипець	3.10	9.62	1.90
21.	Студений - Нижній Студений	5.70	4.39	1.90
22.	Ріка - Верхній Бистрий	2.40	5.33	1.30

Оцінка забезпеченостей, наведених в табл. 4.1 і 4.2 засвідчила, що висока водність річок басейну Тиси, а також часті паводки, навіть у маловодні роки, забезпечують відсутність періодів пересихання досліджуваних річок.

Отримані значення будуть використані при побудові картосхем просторового розподілу модулів мінімального стоку води за 30 діб та визначення перехідних коефіцієнтів для розрахунку модулів та витрат води заданих забезпеченостей для річок за відсутності регулярних спостережень.

В таблиці 4.3 та 4.4 наведено розрахунок заданих забезпеченостей мінімальних витрат води за 7 діб. Як вже зазначалось (див. 1.1), однією із розрахункових величин можна вважати мінімальну витрату води за 7 діб. Для створення сучасних картосхем модулів мінімального стоку для всіх гідрологічних постів були відібрані мінімальні витрати за 7 діб за кожен рік та розрахована

величина їх 80% забезпеченості для літньо-осінньої та зимової межені (табл. 4.3-4.4).

Таблиця 4.3

Розрахункові забезпеченості модулів мінімального стоку води за 7 діб літньо-осінньої межені

№	Річка-пост	Імовірність перевищення, %		
		75	80	95
1.	Тиса – Рахів	6.70	6.40	5.10
2.	Тиса – Вилок	4.60	4.30	3.00
3.	Чорна Тиса – Ясіня	5.50	4.80	1.40
4.	Біла Тиса –Луги	9.60	9,00	6.30
5.	Косівська - Косівська Поляна	10.5	9.70	6.40
6.	Тересва - Усть Чорна	8.60	8.00	6.10
7.	Ріка - Міжгір'я	3.04	3.20	2.30
8.	Голятинка – Майдан	2.78	2.32	0.22
9.	Пилипець – Пилипець	5.56	4.89	2.25
10.	Студений - Нижній Студений	2.13	1.83	1.17
11.	Ріка - Верхній Бистрий	4.12	3.79	2.98
12.	Боржава – Довге	4.50	4.20	2.80
13.	Латориця – Підполоззя	3.60	3.20	2.10
14.	Латориця – Свалява	4.10	3.80	2.60
15.	Латориця – Мукачеве	2.50	2.30	1.50
16.	Латориця – Чоп	1.70	1.60	1.20
17.	Віча – Неліпино	7.70	7.20	4.80
18.	Стара – Зняцьово	0.80	0.70	0.30
19.	Уж – Зарічово	1.40	1.30	1.00
20.	Уж – Жорнава	3.20	2.90	1.70
21.	Уж – Ужгород	0.80	0.70	0.50
22.	Тур'я – Сімер	1.50	1.40	1.10

Таблиця 4.4

Розрахункові забезпеченості модулів мінімального стоку води за 7 діб зимової межені

№	Річка-пост	Імовірність перевищення, %			
		75	80	95	97
1	2	3	4	5	6
1.	Тиса – Рахів	4.50	4.26	3.10	2.70
2.	Тиса – Вилок	5.10	4.79	3.50	3.10
3.	Чорна Тиса – Ясіня	3.20	2.88	1.30	0.90
4.	Біла Тиса –Луги	5.10	4.92	4.20	4.10
5.	Косівська - Косівська Поляна	8.60	8.06	6.10	5.80
6.	Тересва - Усть Чорна	6.90	6.30	3.80	3.20
7.	Ріка - Міжгір'я	3.80	3.52	2.40	2.10
8.	Голятинка – Майдан	4.10	3.79	2.55	2.28
9.	Пилипець – Пилипець	5.69	5.01	2.32	1.63
10.	Студений - Нижній Студений	2.20	2.02	1.57	1.50
11.	Ріка - Верхній Бистрий	4.37	4.14	3.07	2.76
12.	Боржава – Довге	7.10	6.48	3.60	2.80
13.	Латориця – Підполоззя	4.50	4.02	1.70	1.10
14.	Латориця – Свалява	4.90	4.44	2.40	1.80
15.	Латориця – Мукачеве	3.10	2.86	1.90	1.70
16.	Латориця – Чоп	2.20	2.02	1.50	1.50
17.	Віча – Неліпино	5.50	4.83	1.70	0.70
18.	Стара – Зняцьово	1.50	1.36	0.90	0.80
19.	Уж – Зарічово	2.00	1.87	1.20	1.10
20.	Уж – Жорнава	3.10	2.79	1.40	1.05
21.	Уж – Ужгород	1.60	1.41	0.70	0.50
22.	Тур'я – Сімер	2.20	1.93	0.90	0.70

Отримані величини забезпеченостей мінімальних витрат води дали можливість розрахунку перехідних коефіцієнтів від мінімальних за 7 діб витрат води 80% забезпеченості до витрат заданих забезпеченостей.

Визначення витрат води розрахункової забезпеченості можна проводити за формулою (4.1) [122]:

$$Q_{p\%} = Q7_{80\%}\lambda_{p\%} \quad (4.1)$$

де, $Q7_{80\%}$ - мінімальна витрата води за 7 діб забезпеченістю 80%,

$\lambda_{p\%}$ - перехідний коефіцієнт від мінімальної витрати за 7 діб 80% забезпеченості до інших заданих забезпеченостей.

Коефіцієнт $\lambda_{p\%}$ визначається як середній в однорідному районі за даними річок аналогів з урахуванням гідрогеологічних умов, глибини ерозійного врізу русла річки та інших факторів мінімального стоку, особливо площі та висоти водозбору. Цей коефіцієнт можна визначити за графіком зв'язку $Q_{p\%} = f(Q7_{80\%})$ за тангенсом кута нахилу лінії зв'язку, або за рівняннями регресії. Відхилення емпіричних точок від лінії не має перевищувати 15% [122].

Для початку було розраховано перехідні коефіцієнти для всього басейну для літньо-осінньої та зимової межені (рис.4.1 – 4.2)

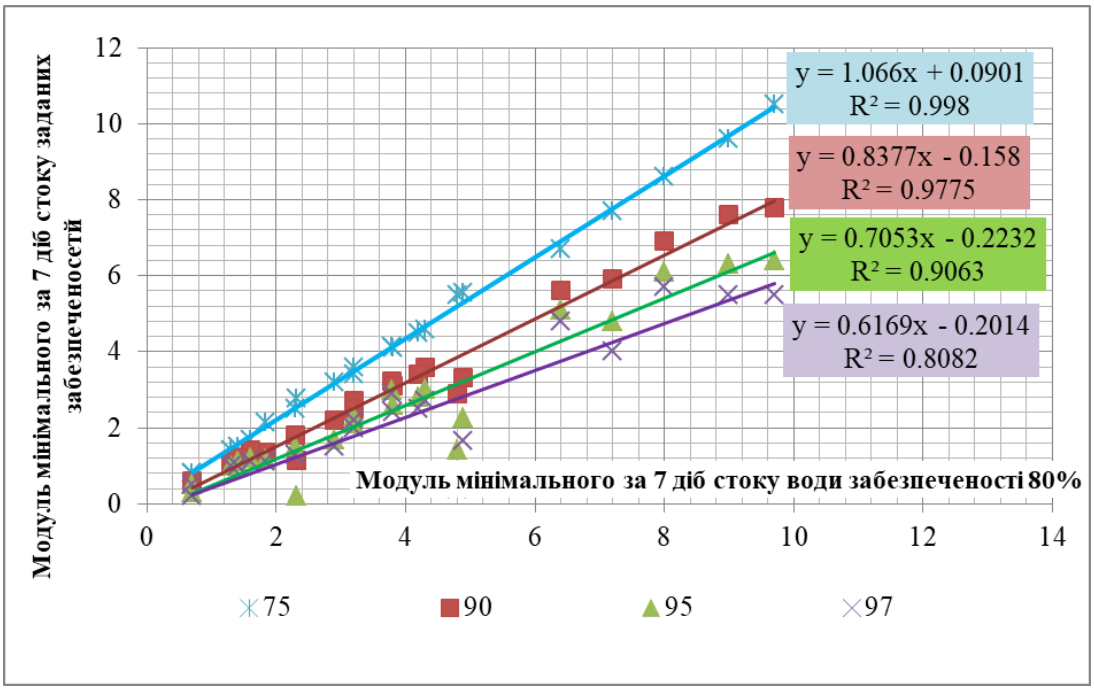


Рис. 4.1. Зв'язки мінімальних модулів стоку за 7 діб 80% забезпеченості з модулями стоку води заданих забезпеченостей для літньо-осінньої межені для всього басейну р. Тиси в межах України

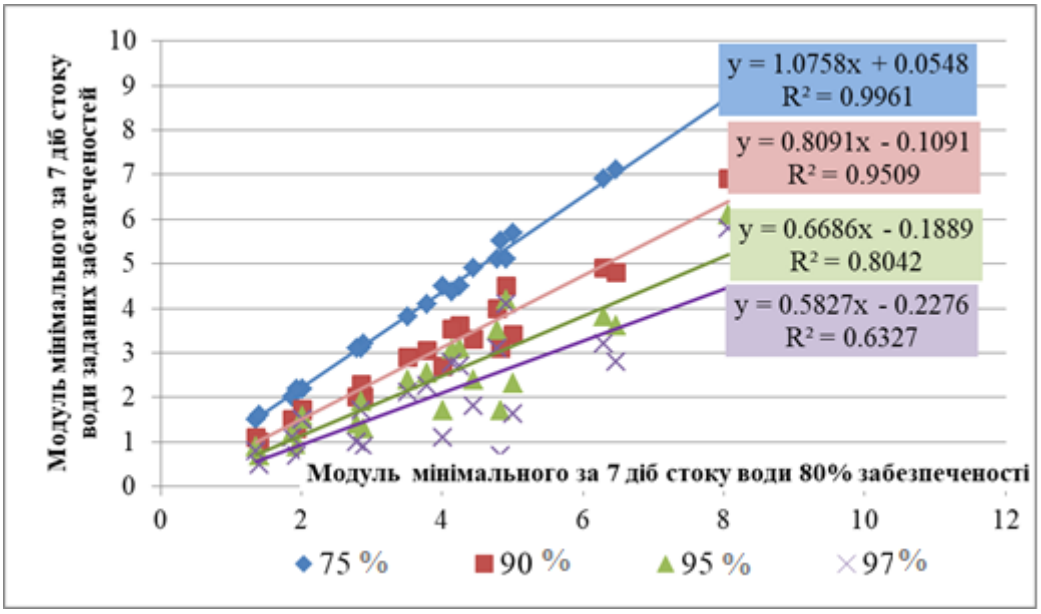


Рис. 4.2. Зв’язки мінімальних модулів стоку за 7 діб 80% забезпеченості з модулями стоку води заданих забезпеченостей для зимової межені для всього басейну р. Тиси в межах України

Аналіз графіків, представлених на рис. 4.1-4.2. засвідчив доволі тісний зв'язок між модулями мінімального стоку за 7 діб 80% забезпеченості та модулями мінімального стоку води 75, 90, 95 та 97% забезпеченостей, як для літньо-осінньої так і зимової межені. Найтісніші з вказаних зв’язків характерні для модулів стоку 80% та 75% забезпеченості, що підтверджує їх чутливість до коротких періодів без опадів на гірських річках.

В подальшому були проведені розрахунки перехідних коефіцієнтів окремо для східного (рис. 4.3, 4.5) та західного (рис. 4.4, 4.6) районів для літньо-осінньої та зимової межені.

Варто зазначити, що як і в попередньому випадку, найтісніші зв’язки для представлених на рис. 4.3 і 4.4. залежностей характерні також для модулів мінімального стоку 75% забезпеченості. Хоча з іншими забезпеченостями існують також тісні зв’язки.

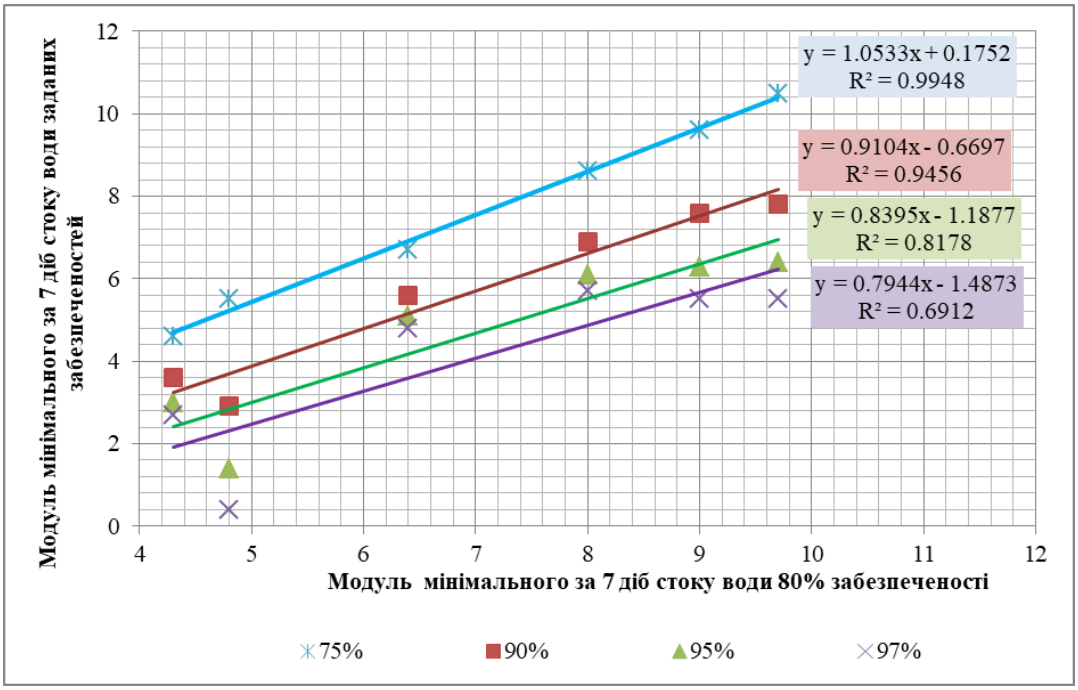


Рис. 4.3. Зв'язки мінімальних модулів стоку за 7 діб 80% забезпеченості з модулями стоку води заданих забезпеченостей літньо-осінньої межені для східного району басейну р.Тиси в межах України

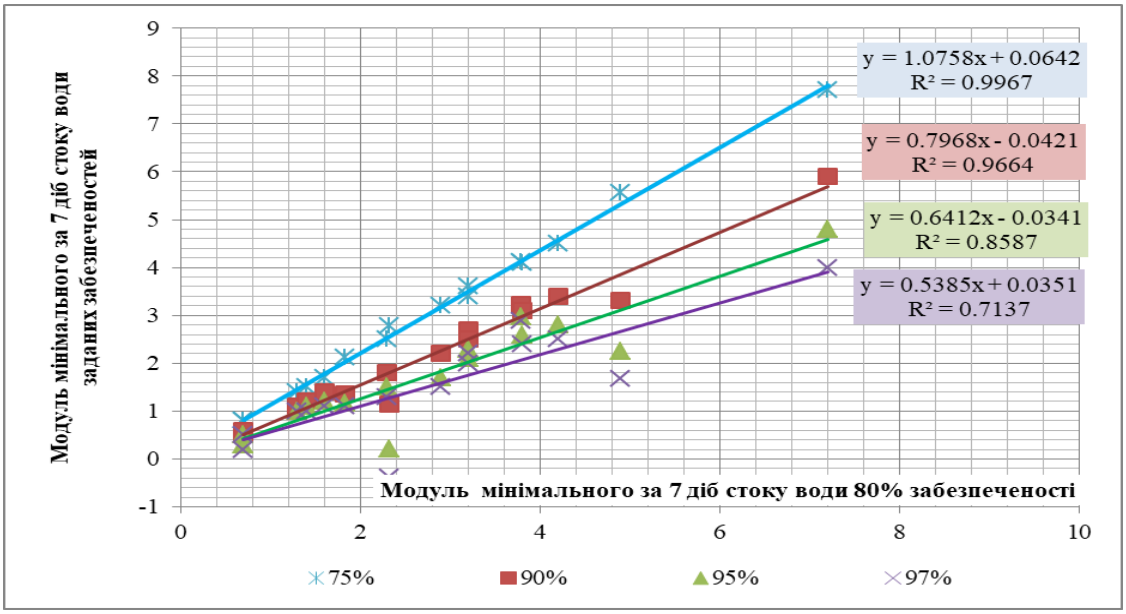


Рис. 4.4. Зв'язки мінімальних модулів стоку за 7 діб 80% забезпеченості з модулями стоку води заданих забезпеченостей літньо-осінньої межені західного району басейну р.Тиси в межах України

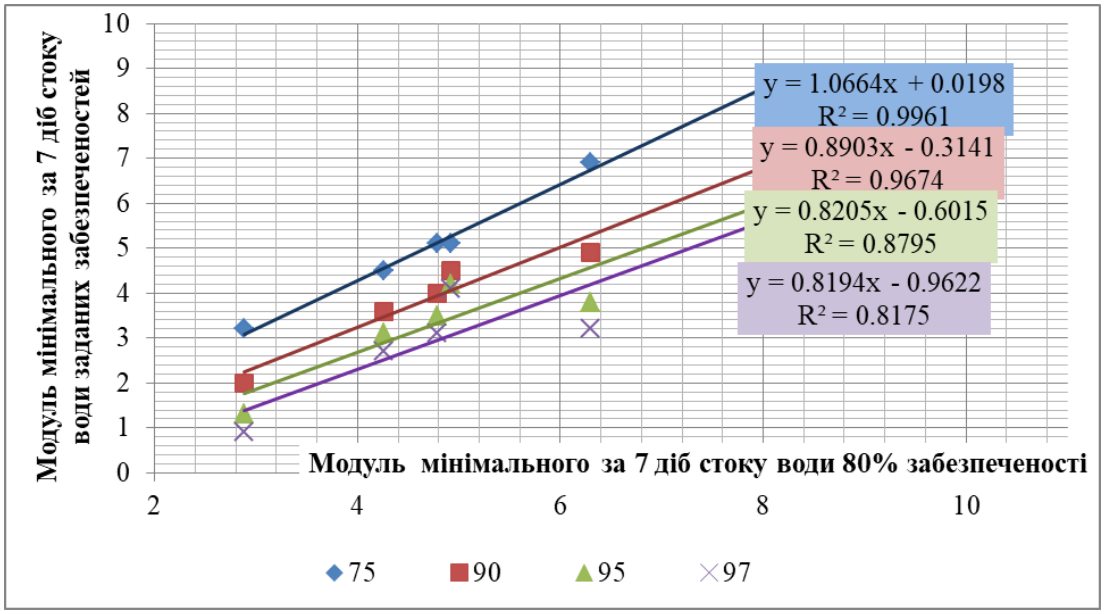


Рис. 4.5. Зв'язки мінімальних модулів стоку за 7 діб 80% забезпеченості з модулями стоку води заданих забезпеченостей для зимової межені для східного району басейну р.Тиси в межах України

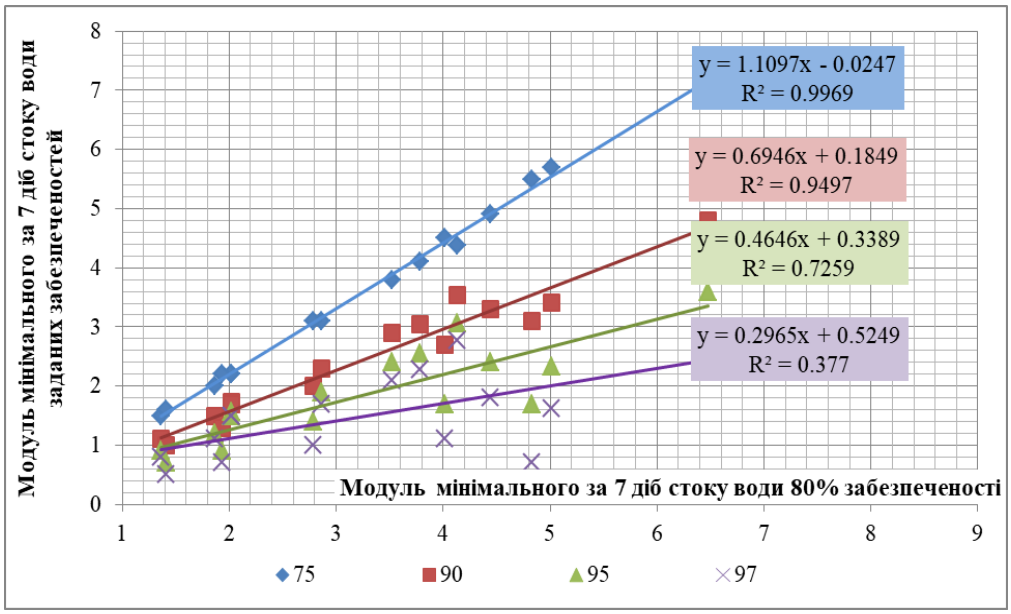


Рис. 4.6. Зв'язки мінімальних модулів стоку за 7 діб 80% забезпеченості з модулями стоку води заданих забезпеченостей для зимової межені для західного району басейну р.Тиси в межах України

Для східного району коефіцієнти кореляції представлених на рис 4.5 дещо нижчі. Але вони також мають тісні показники, особливо між модулями 80% і 75%

забезпеченості. Разом з тим для зимової межені вони вцілому дещо нижчі (див.розділ 3).

На основі отриманих залежностей були розраховані перехідні коефіцієнти для визначення мінімального стоку води заданих забезпеченостей від витрат води 80% по районах для зимової та літньо-осінньої межені (табл.4.5).

Таблиця 4.5

Перехідні коефіцієнти для визначення мінімального стоку води заданих забезпеченостей від витрат води 80% по районах для зимової та літньо-осінньої межені

	75%	90%	95%	97%
Басейн Тиси				
Літньо-осіння	1.07	0.81	0.68	0.67
Зимова	1.05	0.88	0.80	0.79
східний район				
Літньо-осіння	1.06	0.83	0.70	0.67
Зимова	1.09	0.74	0.56	0.44
західний район				
Літньо-осіння	1.09	0.90	0.92	0.98
Зимова	1.04	0.94	0.92	0.94

Дані таблиці 4.5 засвідчують закономірний процес зменшення перехідних коефіцієнтів від 75% до 97% забезпеченості (від 1.09 до 0.44), а перехідний коефіцієнт, рівний 1 притаманний саме 80% забезпеченості мінімального стоку води.

Наведені в табл. 4.5 коефіцієнти мають суттєве практичне значення і дозволяють визначати стік розрахункових забезпеченостей, залежно від знятих за картосхемами модулів мінімального за 7 діб стоку води 80% забезпеченості.

На основі отриманих залежностей представлених на рис. 4.1-4.6 були отримані рівняння регресії для визначення модулів мінімального за 7 діб стоку води заданих забезпеченостей для літньо-осінньої та зимової межені, які представлені в таблицях 4.6 – 4.7.

Таблиця 4.6

Рівняння регресії для визначення мінімального модуля стоку води за 7 діб для заданих забезпеченостей річок басейну Тиси для літньо-осінньої межені

	Басейн Тиси	Східний район	Західний район
75%	$Q_{75\%} = 1.066\ Q_{80\%} + 0.0901$	$Q_{75\%} = 1.0491\ Q_{80\%} + 0.2186$	$Q_{75\%} = 1.0681\ Q_{80\%} + 0.0458$
90%	$Q_{90\%} = 0.8377\ Q_{80\%} - 0.158$	$Q_{90\%} = 0.8844\ Q_{80\%} - 0.4867$	$Q_{90\%} = 0.8121\ Q_{80\%} - 0.0086$
95%	$Q_{95\%} = 0.7053\ Q_{80\%} - 0.2232$	$Q_{95\%} = 0.7809\ Q_{80\%} - 0.7503$	$Q_{95\%} = 0.6597\ Q_{80\%} + 0.0246$
97%	$Q_{97\%} = 0.6169\ Q_{80\%} - 0.2014$	$Q_{97\%} = 0.711\ Q_{80\%} - 0.8483$	$Q_{97\%} = 0.5539\ Q_{80\%} + 0.1156$

Таблиця 4.7

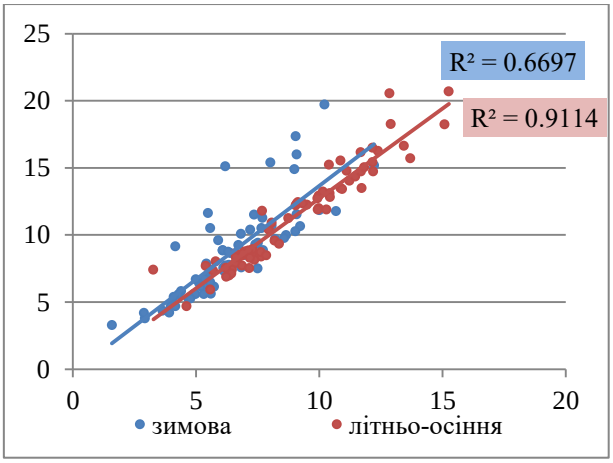
Рівняння регресії для визначення мінімального модуля стоку води за 7 діб для заданих забезпеченостей для басейну Тиси зимової межені

	Басейн Тиси	Східний район	Західний район
75%	$Q_{75\%} = 1.0758\ Q_{80\%} + 0.0548$	$Q_{75\%} = 1.0695\ Q_{80\%} + 0.0375$	$Q_{75\%} = 1.1088\ Q_{80\%} - 0.001$
90%	$Q_{90\%} = 0.8091\ Q_{80\%} - 0.1091$	$Q_{90\%} = 0.8493\ Q_{80\%} - 0.1532$	$Q_{90\%} = 0.6896\ Q_{80\%} + 0.1225$
95%	$Q_{95\%} = 0.6686\ Q_{80\%} - 0.1889$	$Q_{95\%} = 0.7418\ Q_{80\%} - 0.2682$	$Q_{95\%} = 0.4512\ Q_{80\%} + 0.2322$
97%	$Q_{97\%} = 0.5827\ Q_{80\%} - 0.2276$	$Q_{97\%} = 0.7019\ Q_{80\%} - 0.4377$	$Q_{97\%} = 0.275\ Q_{80\%} + 0.3953$

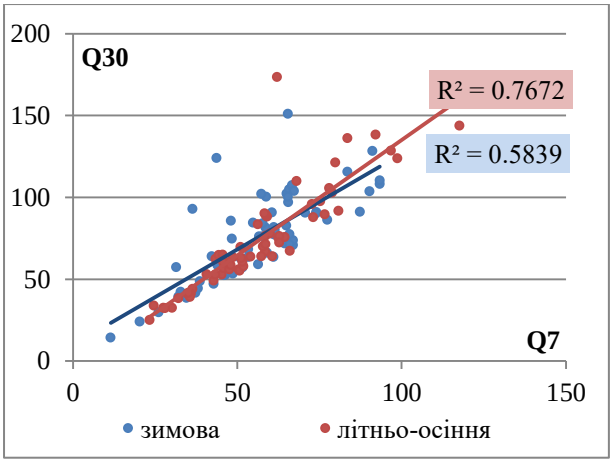
У всіх випадках (рис. 4.1-4.6) прослідковуються лінійні зв’язки досліджуваних величин. За даними рівняннями можна з високою достовірності (рис. 4.1-4.6), встановити мінімальні модулі стоку води за 7 діб для заданих забезпеченостей. Отримані залежності у поєднанні з картосхемою модуля мінімального стоку води за 7 діб дають можливість визначати мінімальні витрати води заданих забезпеченостей в просторовому розрізі та використовувати їх відповідно до різних потреб.

4.2. Зв'язки мінімальних витрат води за 7 діб з 30 денними мінімальними витратами води

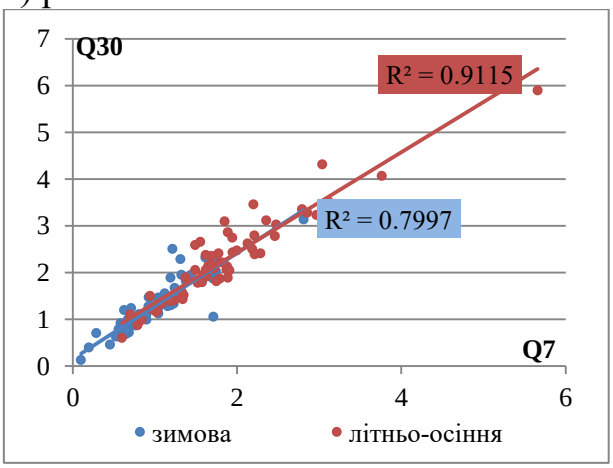
З метою встановлення локальних залежностей між мінімальними витратами води за 7 діб і за 30 діб, які використовуються в класичних розрахунках мінімального стоку води [122], для всіх гідрологічних постів були побудовані зв'язки мінімальних витрат води за 7 днів з мінімальними витратами води 30 діб, які представлені на рис. 4.7



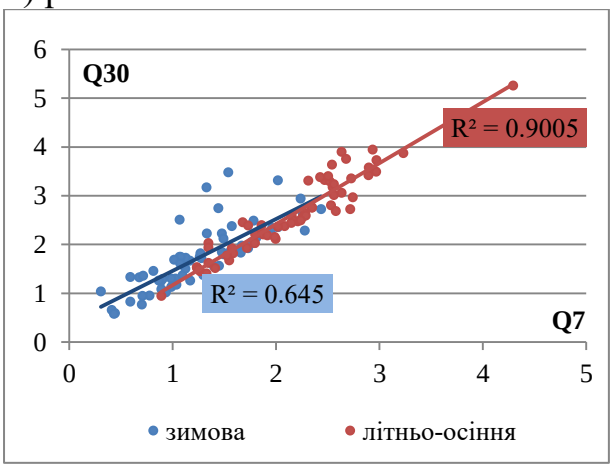
а) р.Тиса – г/п.Рахів



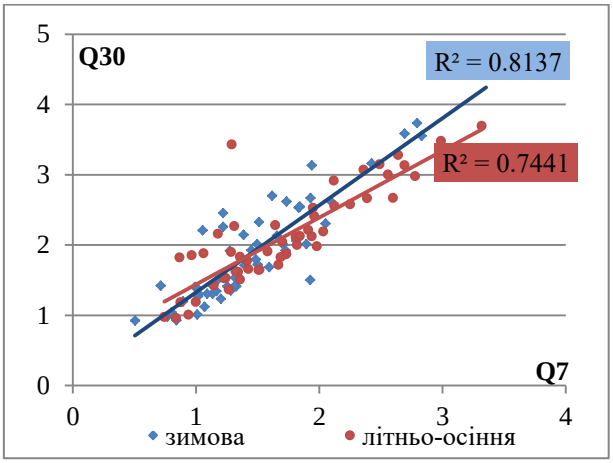
б) р.Тиса – г/п.Вилок



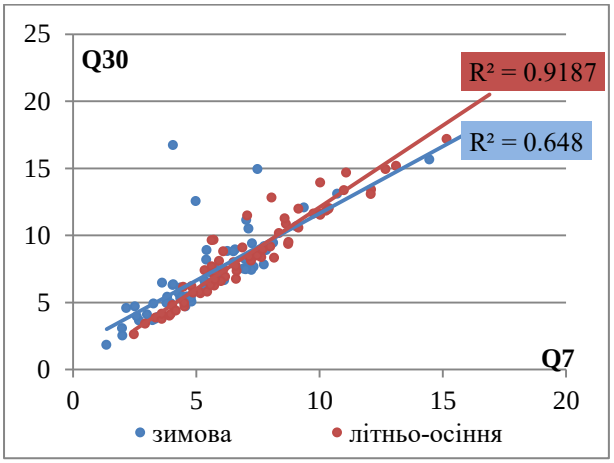
в) р.Чорна Тиса – г/п.Ясіня



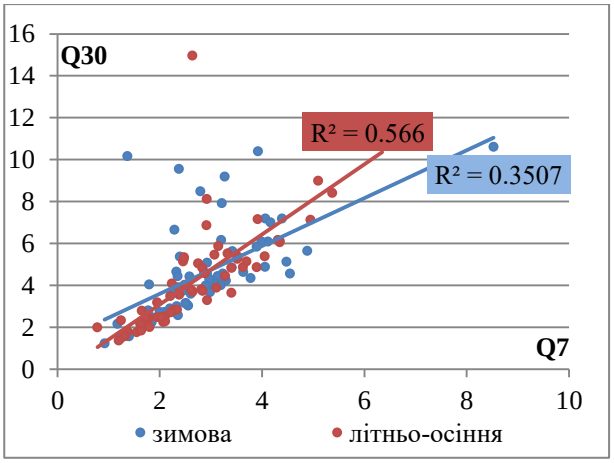
г) р.Біла Тиса – г/п.Луги



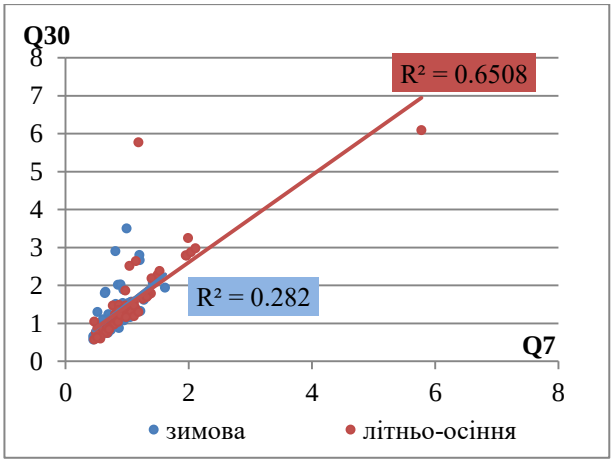
д) р.Косівська – г/п.Косівська Поляна



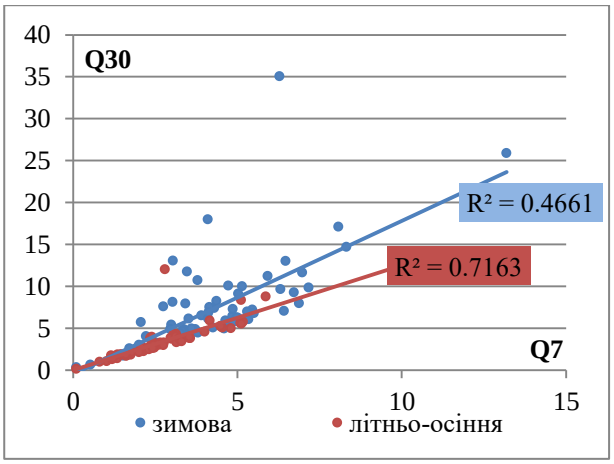
є) р.Тересва – г/п.Усть Чорна



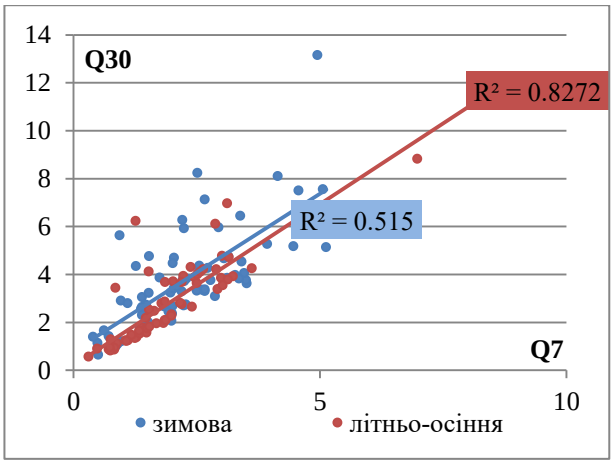
ж) р.Ріка – Міжгір'я



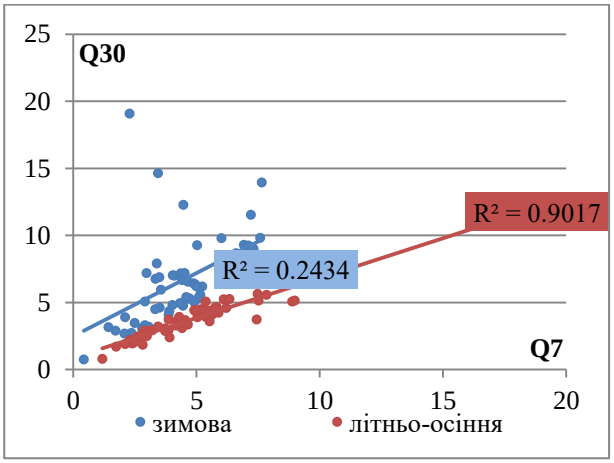
з) р.Ріка – г/п.Верхній Бистрий



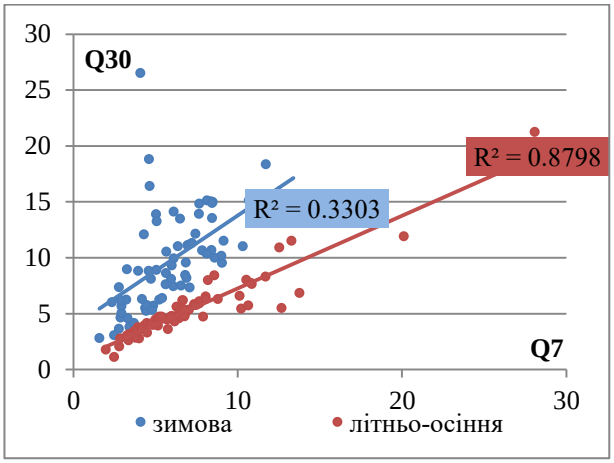
і) р.Боржава – г/п.Довге



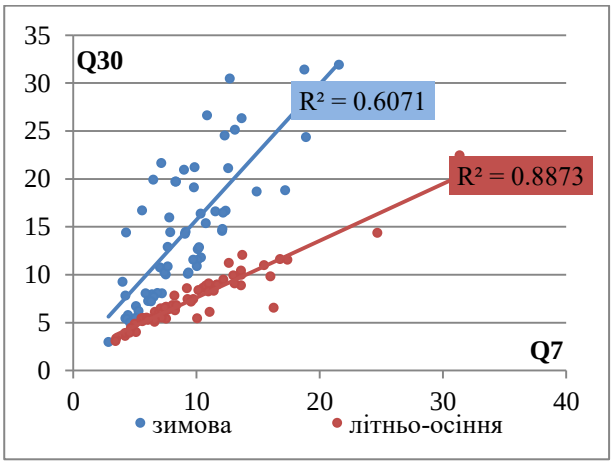
к) р.Латориця – г/п.Підполоззя



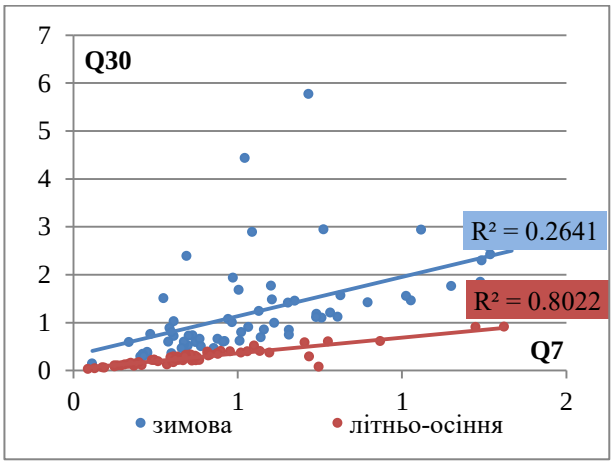
л) р.Латориця – г/п.Свалява



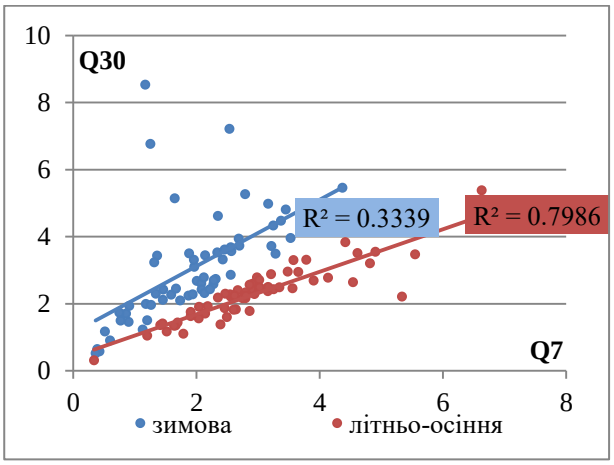
м) р.Латориця – г/п.Мукачеве



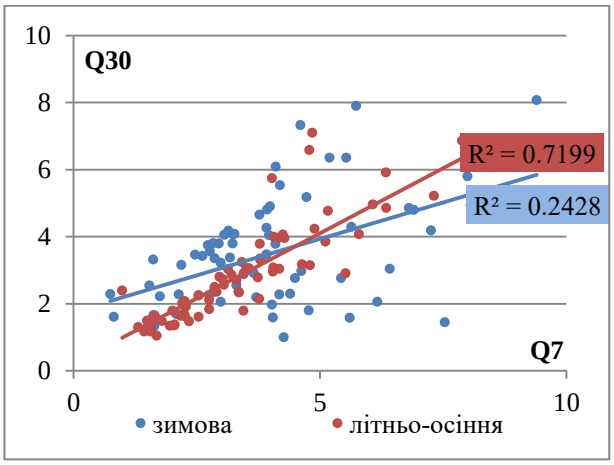
н) р.Латориця – г/п.Чоп



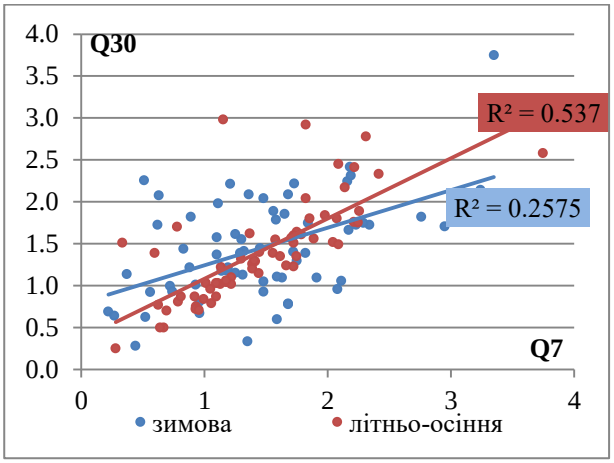
о) р.Стара – г/п.Зняцево



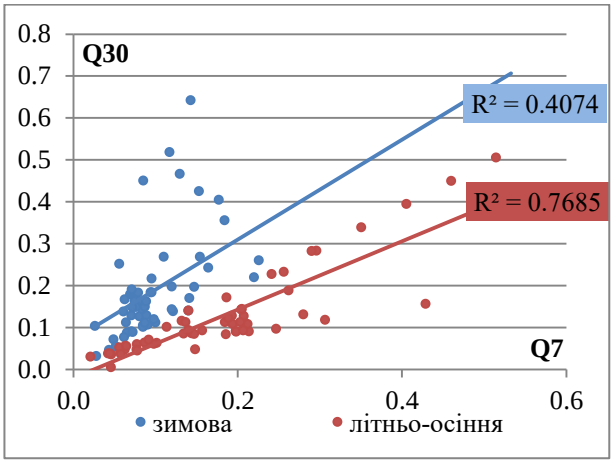
п) р.Віча – г/п.Неліпино



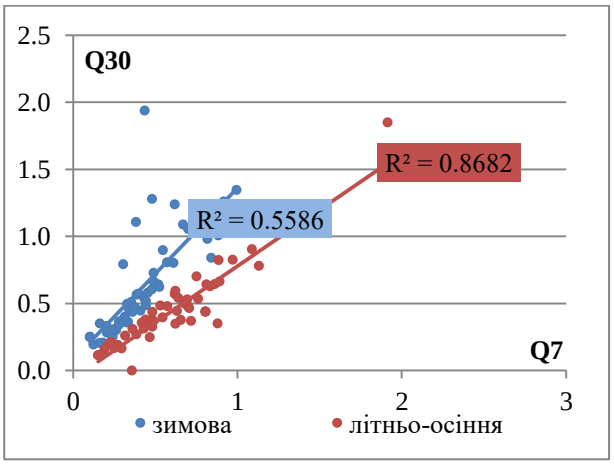
р) р.Уж – г/п.Зарічево



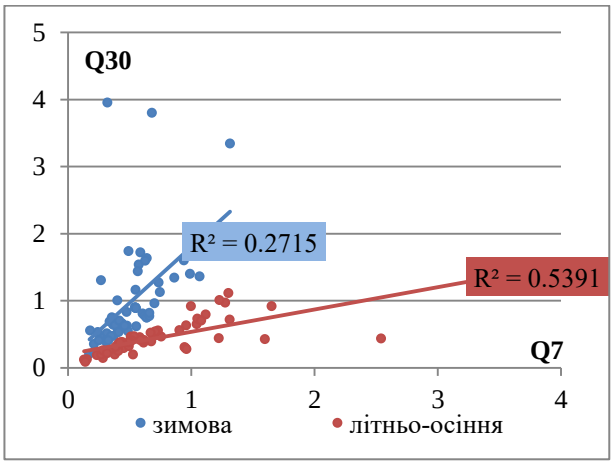
с) р.Уж – г/п.Жорнава



т) р.Студений – г/п.Нижній Студений



у) р.Пилипець – г/п.Пилипець



ф) р.Голятинка – г/п.Майдан

Рис. 4.7. (а-ф) Зв'язок мінімальних витрат води за 7 та за 30 діб для літньо-осінньої та зимової межені для річок східного та західного районів

Аналізуючи отримані результати (рис. 4.7) було встановлено, що найбільш тісні зв’язки спостерігаються для мінімальних витрат води літньо-осінньої межені як для річок східного, так і для західного районів, що пояснюється певною схожістю формування межені в теплий період року.

В холодний період для обох районів ці зв’язки характеризуються значно нижчими значеннями коефіцієнта кореляції, а для р.Уж - Жорнава і р.Голятинка – Майдан – вони майже відсутні, що можна пояснити значною мінливістю температур і характеру випадіння опадів взимку та формування відлиг, коли за відсутності опадів можуть сформуватися паводки (табл.4.8).

Для просторової оцінки отриманих зв’язків було запропоновано картосхему їх розподілу по басейну Тиси біля гідрологічних постів (рис.4.8).

На ній у вигляді діаграм представлені коефіцієнти кореляції, які характеризують зв’язки мінімального стоку за 7 і 30 діб для літньо-осінньої та зимової межені. З рис. 4.8 можна встановити, що загалом тісніші зв’язки притаманні річкам східного району.

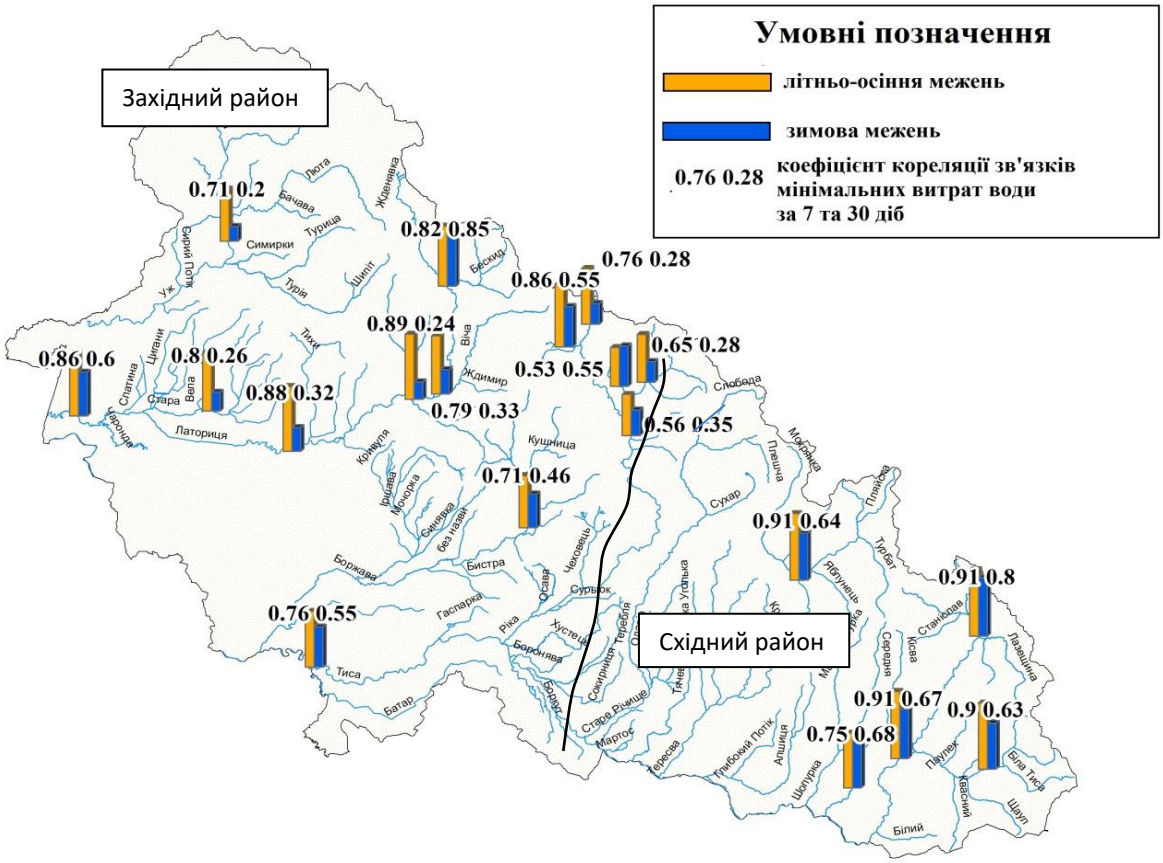


Рис. 4.8. Розподіл коефіцієнта кореляції для зв’язків мінімального стоку води 7 та 30 діб за період літньо-осінньої та зимової межені по басейну р.Тиса в межах України

Зв’язки мінімальних витрат води за 7 та зі 30 діб засвідчують диференціацію по басейну вцілому. В загальному випадку більш тісні зв’язки спостерігаються в період літньо-осінньої межені, ніж зимової (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Величина коефіцієнта кореляції між мінімальними витратами води за 7 та 30 діб для річок східного району

	Річка- пост	Літньо-осіння межень	Зимова межень
1.	Тиса – Рахів	0.95	0.81
2.	Тиса – Вилок	0.87	0.76
3.	Чорна Тиса – Ясіня	0.95	0.89
4.	Біла Тиса – Луги	0.95	0.80
5.	Косівська – Косівська Поляна	0.86	0.83
6.	Тересва – Усть Чорна	0.95	0.80
Середнє		0.92	0.82
Максимальне		0.95	0.89
Мінімальне		0.86	0.76

Для східного району середнє значення коефіцієнта кореляції становить 0.92 для літньо-осінньої межені. Найкращі зв’язки зафіксовані для басейнів Чорної та Білої Тиси. В період зимової межені середнє значення по району становить 0.82, і також найкращі зв’язки притаманні найвищому по висоті водозбору басейну річки Чорна Тиса.

Таблиця 4.9

Величина коефіцієнта кореляції між мінімальними витратами води за 7 та 30 діб для річок західного району

	Річка- пост	Літньо-осіння межень	Зимова межень
1	2	3	4
1	Ріка – Верхній Бистрий	0.81	0.53
2	Ріка – Міжгір’я	0.75	0.59
3	Студений – Нижній Студений	0.87	0.63
4	Пилипець – Пилипець	0.93	0.74
5	Голятинка – Майдан	0.73	0.52
6	Боржава - Довге	0.84	0.68
7	Латориця – Підполоззя	0.91	0.71
8	Латориця – Свалява	0.95	0.49

Продовження табл. 4.9

1	2	3	4
9	Латориця – Мукачево	0.94	0.57
10	Латориця - Чоп	0.94	0.78
11	Віча – Неліпине	0.89	0.57
12	Стара – Зняцево	0.89	0.51
13	Уж – Зарічево	0.84	0.49
14	Уж - Жорнава	0.73	0.51
15	Уж - Ужгород	0.81	0.61
16	Турія - Сімер	0.82	0.68
Середнє		0.85	0.60
Максимальне		0.95	0.78
Мінімальне		0.73	0.49

Щодо західного району, то тут середнє значення коефіцієнта кореляції в літньо-осінню межень становить 0,85, а зимової - 0,60. Найбільш тісні зв’язки між мінімальними витратами води за 7 та 30 діб спостерігаються в басейні Латориці та в гірській частині басейну Ріки.

Таким чином можна констатувати загальну ситуацію, яка засвідчує доволі тісні зв’язки між мінімальними витратами води за 7 і 30 діб для річок обох районів. Разом з тим найбільш тісні зв’язки притаманні для літньо-осінньої межені річок східного району.

4.3. Співвідношення середнього і мінімального стоку води річок за 7 діб

Параметри мінімального стоку річок, поряд з максимальними його характеристиками, стають в сучасних умовах оцінювання та використання водних ресурсів річок басейну Тиси все більш значними. Особливо це стосується лімітованих обсягів водокористування в маловодні періоди.

Чинник мінімального стоку річок є також актуальним при оцінюванні та використанні гідроенергетичних ресурсів для вказаних річок. Він може обмежувати виробництво гідроенергії в періоди маловоддя, коли недостатніми для цього є

кількісні показними річкового стоку, а також суттєво може змінюватись напір (похили водної поверхні) на ділянці річки, або на значній її протяжності [103,104,107,109-114].

Попередньо вже були проведені оцінки зв'язків середнього багаторічного стоку води та мінімальних витрат води за 30 діб для річок Українських Карпат

Виходячи з висловленого, для встановлення зв'язків середнього багаторічного стоку води та мінімальних витрат води за 7 діб річок басейнів Тиси в межах України для літньо-осінньої та зимової межені були виконані відповідні розрахунки (табл.4.10).

Таблиця 4.10

Співвідношення показників середнього багаторічного та мінімального за 7 діб стоку води річок басейну Тиси в межах України для літньо-осінньої та зимової межені

№	Річка - пост	Середня витрата води, $м^3/с$	Мінімальна витрата води за 7 діб, $м^3/с$		Відношення середніх та мінімальних за 7 діб витрат води	
			літньо-осіння межень	зимова межень	літньо-осіння межень	зимова межень
1	2	3	4	5	6	7
Східний район						
1	Тиса–Рахів	25.7	9.03	6.37	2.85	4.03
2	Чорна Тиса–Ясіня	4.83	1.89	0.99	2.56	4.88
3	Біла Тиса–Луги	5.12	2.15	1.26	2.38	4.06
4	Косівська–Косівська Поляна	4.63	1.73	1.49	2.68	3.11
5	Тересва–Усть-Чорна	18.4	7.27	5.59	2.53	3.29
Середнє для східного району					2.60	3.88
Західний район						
6	Ріка–Верхній Бистрий	4.13	1.08	0.88	3.82	4.69
7	Ріка–Міжгір'я	13.7	2.69	2.88	5.09	4.76
8	Голятинка–Майдан	2.12	0.45	0.52	4.71	4.08
9	Пилипець–Пилипець	1.45	0.41	0.41	3.54	3.54
10	Студений–Нижній Студений	0.61	0.11	0.17	5.55	3.59
11	Боржава–Довге	11.1	2.79	4.28	3.98	2.59
12	Латориця–Підполоззя	9.3	2.07	2.29	4.49	4.06

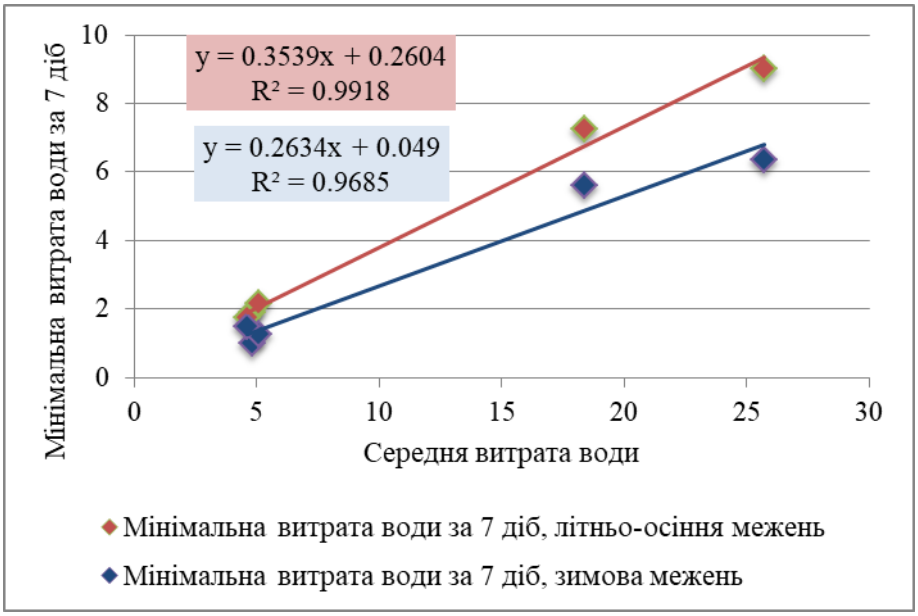
Продовження табл. 4.10

1	2	3	4	5	6	7
13	Латориця–Свалява	14.7	3.87	4.42	3.80	3.33
14	Латориця–Мукачеве	26.5	5.34	6.1	4.96	4.34
15	Латориця - Чоп	36.0	7.44	9.13	4.84	3.94
16	Віча–Неліпино	6.68	2.28	1.96	2.93	3.41
17	Стара–Зняцево	2.27	0.27	0.56	8.41	4.05
18	Уж–Жорнава	6.64	1.4	1.45	4.74	4.58
19	Уж–Зарічеве	21	2.9	3.92	7.24	5.36
20	Уж–Ужгород	29.4	3.69	5.26	7.97	5.59
21	Тур'я–Сімер	9.27	1.47	1.85	6.31	5.01
Середнє для західного району					5.15	4.18

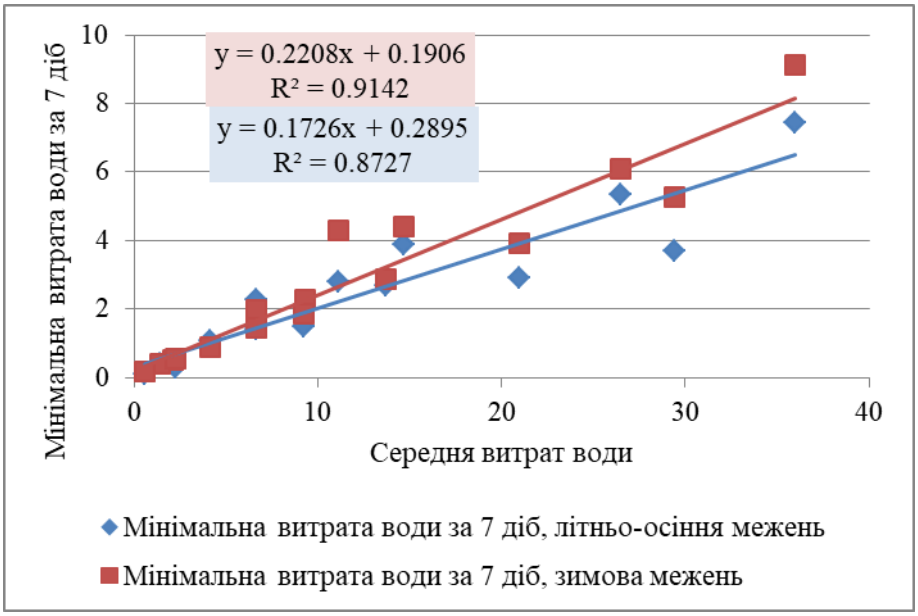
В таблиці 4.10 наведена інформація про середню багаторічну витрату води для річок басейну Тиси, мінімальні витрати води за 7 діб для літньо-осінньої та зимової межені а також співвідношення середніх та мінімальних витрат води.

Оцінку даних співвідношень було проведено в межах східного та західного районів. Встановлено, що для східного району в мінімальний стік води літньо-осінньої межені в середньому в 2,6 разів менший від середнього, а для зимової межені в 3,88 рази. Це свідчить про те, що мінімальні витрати води за 7 діб в період зимової межені менші від мінімальних витрат води за 7 діб періоду літньо-осінньої межені. Щодо західного району, то тут дане співвідношення має протилежний характер. Мінімальні витрати води літньо-осінньої межені тут нижчі, ніж зимової. Середнє значення співвідношення середнього та мінімального за 7 діб стоку води становить 5,15 для літньо-осінньої та 4.18 для зимової межені. Ці залежності доцільно також використовувати для визначення мінімальних витрат води за 7 діб на річках з відсутніми даними спостережень. Для більш точного визначення були побудовані графіки звязків між середніми та мінімальними за 7 діб витратами води для літньо-осінньої та зимової межені, визначенні їх коефіцієнти кореляції з їх відносними похибками.

Якщо ж проаналізувати співвідношення середніх та мінімальних витрат води за 7 діб по районах, то можна отримати наступні співвідношення (рис.4.10)



а)



б)

Рис. 4.10. Графік зв’язку *Q*мін = f (*Q*сер) по районах басейну Тиси а) східний район; б) західний район

Графіки, які наведені на рис 4.10 засвідчують, що для річок як східного так, і західного району прослідковуються тісні зв'язки середнього та мінімального за 7 діб стоку води як для літньо-осінньої, так і зимової межені. Це підтверджено коефіцієнтами кореляції, наведеними в таблиці 4.11. Такі високі значення їх показників дають підстави стверджувати, що даний метод можна використовувати при розрахунках мінімального стоку в різні фази гідрологічного режиму.

Таблиця 4.11

Коефіцієнти кореляції між середніми та мінімальними за 7 діб витратами води та їх стандартні похибка для східного та західного районів

Район	Коефіцієнт кореляції з його стандартною похибкою, *r(xy)* ±sr	
	літньо-осіння	зимова
Східний район	0.99±0.05	0.98±0.10
Західний район	0.95±0.08	0.93±0.09

Для розрахунку показників мінімальних витрат води за 7 діб в залежності від середніх витрат, зручно також застосовувати рівняння лінійної регресії з графіків (рис.4.10) (4.2-4.5).

Були розраховані такі рівняння для східний району:

$$Q7мін = 0.3539\ Qсер + 0.2604 \text{ літньо-осіння межень} \quad (4.2)$$

$$Q7мін = 0.2634\ Qсер + 0.049 \text{ – зимова межень} \quad (4.3)$$

також для західного району:

$$Q7мін = 0.2208\ Qсер + 0.1906 \text{ літньо-осіння межень} \quad (4.4)$$

$$Q7мін = 0.1726\ Qсер + 0.2895 \text{ зимова межень} \quad (4.5)$$

Таким чином було встановлено, що мінімальні витрати води за 7 діб літньо-осінньої та зимової межені знаходяться в тісних зв’язках із середніми витратами, що підтверджують високі значення коефіцієнтів кореляції. Для східного району такі зв’язки є тіснішими і становлять 0.98±0.10 - 0.99±0.05 відповідно для зимової та літньо-осінньої межені. Для річок в межах західного району зв’язки між середніми та мінімальними за 7 діб витратами води характеризуються також тісними зв’язками з коефіцієнтами кореляції - 0.93±0.09 - 0.95±0.08 для зимової та літньо-осінньої межені. При чому для обох районів значення кореляції вище для періоду літньо-осінньої межені.

4.4. Емпіричні регіональні залежності мінімального стоку з визначальними факторами

Існуючі методи розрахунку мінімального стоку за відсутності, або недостатній кількості гідрометричних спостережень гірських річок можна розділити на дві групи: емпіричні регіональні залежності та картосхеми ізоліній [63]. У переважній більшості робіт використовуються різноманітні емпіричні залежності, оскільки в умовах гірських районів картосхеми ізоліній різних характеристик носять схематичний характер, а точність розрахунків за ними буває недостатньою для практичних цілей. При цьому із методів першої групи в практиці розрахунків приймаються залежності величин мінімального стоку води (Q,м^3/с, M, л/с км^2) від середньої висоти водозбору (H, м абс.), похилів русла річки (I м/км), площі водозбору (F, км^2) та ерозійного врізу (ΔH м абс) [30,31,60]. Для встановлення цих залежностей була складена схема основних гідрографічних характеристик водозборів річок басейну Тиси (в межах України) (табл.4.13).

Всі дослідження, як правило, вказують на вплив вертикальної зональності в формуванні та розподілі мінімального стоку води на гірських річках. Тому при розробці методів розрахунку мінімального стоку найчастіше в якості основного розрахункового параметра приймається середня висота водозбору [30].

Таблиця 4.13

Основні гідрографічні характеристики водозборів басейну Тиси (в межах України)

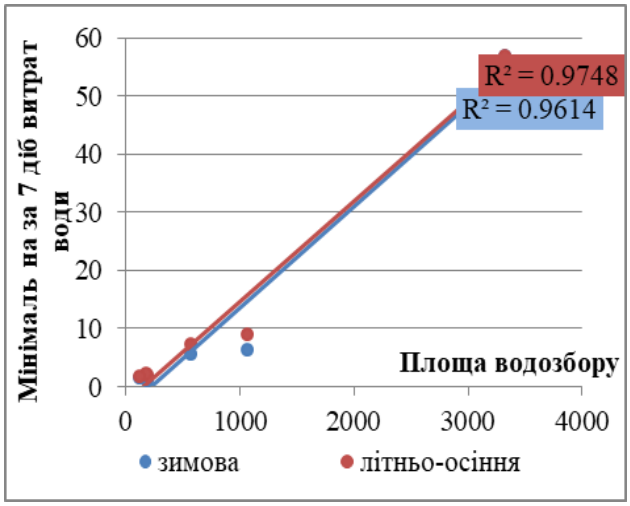
№	Річка - пост	Площа басейну, км^2	Висота басейну, м	Ерозійний врізу, м	Похил річки, ‰	$M_{7діб}$ (зимова межень) л/с км^2	$M_{7діб}$ (літньо-осіння межень) л/с км^2
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Тиса–Рахів	1070	1100	668	14.3	5.96	8.44
2.	Тиса–Вилок	3330	1184	1071	5.5	17.03	17.06
3.	Чорна Тиса–Ясіня	194	1000	350	27.5	5.10	9.74
4.	Біла Тиса–Луги	189	1000	398	130	6.67	11.38

Продовження табл. 4.13

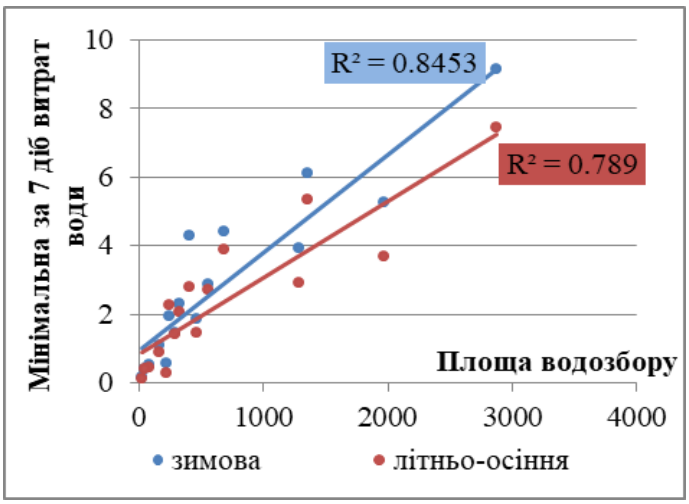
1	2	3	4	5	6	7	8
5.	Косівська–Косівська Поляна	122	1060	653	34	12.2	14.1
6.	Тересва–Усть-Чорна	572	1120	576	20	9.77	12.7
7.	Ріка – Верхній Бистрий	165	920	395	9	6.59	5.38
8.	Ріка–Міжгір'я	550	308	364	7	5.24	4.89
9.	Голятинка - Майдан	86	790	290	32	6.05	5.29
10.	Пилипець-Пилипець	44.2	820	248	32	9.3	9.3
11.	Студений - Нижній Студений	25.4	800	194	32	6.93	4.09
12.	Боржава–Довге	408	620	450	34	10.4	6.84
13.	Латориця–Підполоззя	324	720	362	9.58	7.07	6.39
14.	Латориця–Свалява	680	700	508	10.9	6.50	5.69
15.	Латориця–Мукачеве	1360	570	452	5.52	4.49	3.93
16.	Латориця - Чоп	2870	310	212	3.5	3.18	2.59
17.	Віча–Неліпино	241	760	534	20	8.13	9.46
18.	Стара–Зняцево	224	300	194	19.2	2.50	1.21
19.	Уж–Жорнава	286	670	341	17.6	5.07	4.90
20.	Уж–Зарічеве	1280	560	404	9.8	3.06	2.27
21.	Уж–Ужгород	1970	530	417	7.6	2.67	1.87
22.	Тур'я–Сімер	464	540	387	27,6	3.99	3.17

Однією із превалюючих характеристик формування стоку є розміри площі водозбору. В основу виконаних розрахунків покладено зв'язок мінімального за 7 діб стоку води для річок в літньо-осінню та зимову межень.

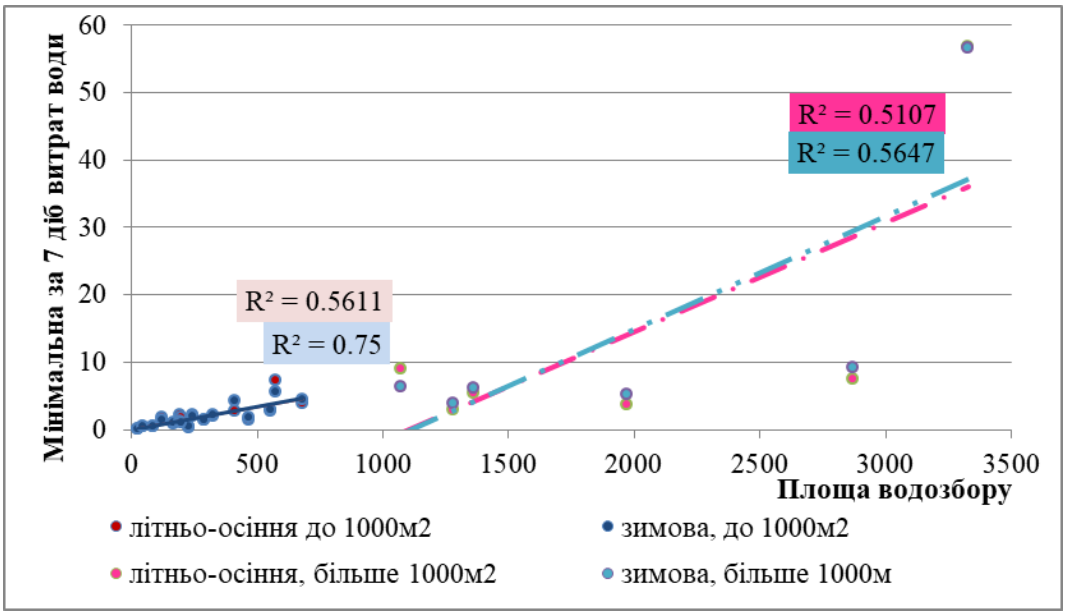
Аналіз розрахованих стокових характеристик для досліджуваної території підтвердив відому закономірність - зі збільшенням площі водозбору зростають витрати води (рис. 4.11).



а)



б)



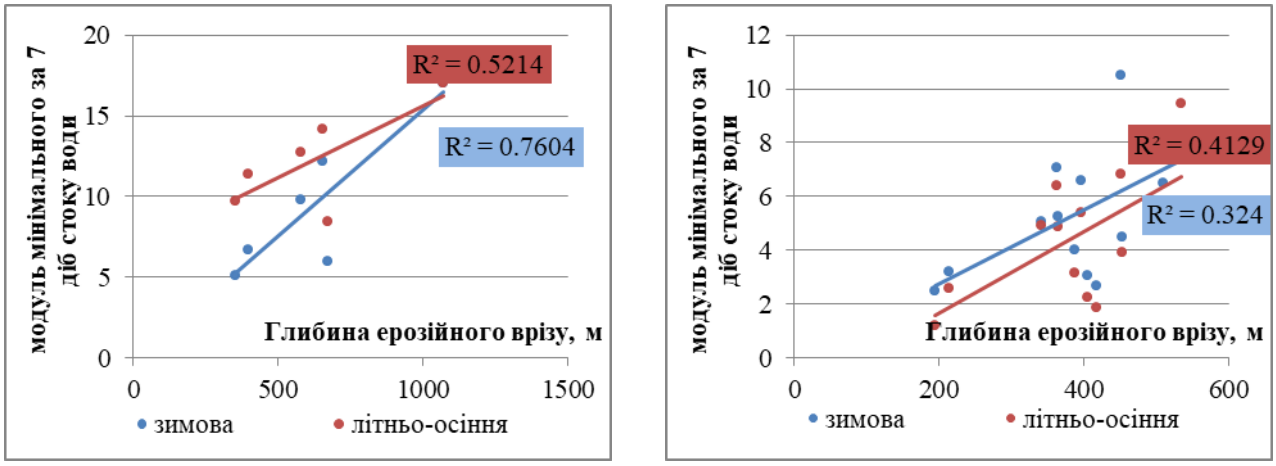
в)

Рис. 4.11 Залежність мінімальної витрати води за 7 діб від площі водозбору для східного (а) та західного (б) районів та для басейну Тиси вцілому (в)

Для більш детального аналізу залежностей мінімального за 7 діб стоку води від гідрографічних характеристик басейни поділені за площею на дві групи – до 1000км^2, та більше 1000км^2. Для малих річок (до 1000 км^2) зв'язок витрати води з площею водозбору є більш тісним R^2=0.76 (зимова межень) та R^2=0,57 (літньо-осіння межень), ніж для великих річок R^2=0.56 (зимова межень) та R^2=0,51 (літньо-осіння межень). Також встановлено, що басейн Тиси в межах гідрологічного поста Вилок вибивається з загальних тенденцій, що пояснюється тим, що його площа та

кількість приток, які впадають вище за течією суттєво впливають на формування мінімального стоку води за 7 діб (рис.4.11).

Наступним повязаним із формуванням мінімального стоку води річок емпіричним регіональним показником є глибина ерозійного врізу русел річок басейну Тиси (рис 4.12). Глибина ерозійного врізу русла є показником інтенсивності підземного живлення річок, особливо в меженні періоди. При збільшенні значення ерозійного врізу русла зростає кількість водоносних горизонтів, які дренує річка. В результаті підземна складова стоку збільшується. Вплив глибини ерозійного врізу русел річок (рис.4.12) встановлювався для східного та західного районів басейну Тиси.



а) східний район б) західний район

Рис. 4.12 Залежності модуля мінімального стоку за 7 діб від глибини ерозійного врізу для літньо-осінньої та зимової межені для східного (а) та західного (б) районів басейну Тиси

Для східного району кращі звязки спостерігаються в період зимової межені *r*=0,81, а для літньо-осінньої *r*=0.72. Для річок західного району більш тісними звязки ерозійного врізу і модуля мінімального стоку є для літньо-осінньої межені *r*=0,64. Для зимової межені коефіцієнт кореляції менший і становить *r*=0,56. Помітна незначна тенденція до зростання модуля стоку зі збільшенням глибини ерозійного врізу русел річок басейну Тиси.

Наступним показником оцінки мінімального річок басейну Тиси була залежність його модуля від середньої висоти водозбору (рис.4.13).

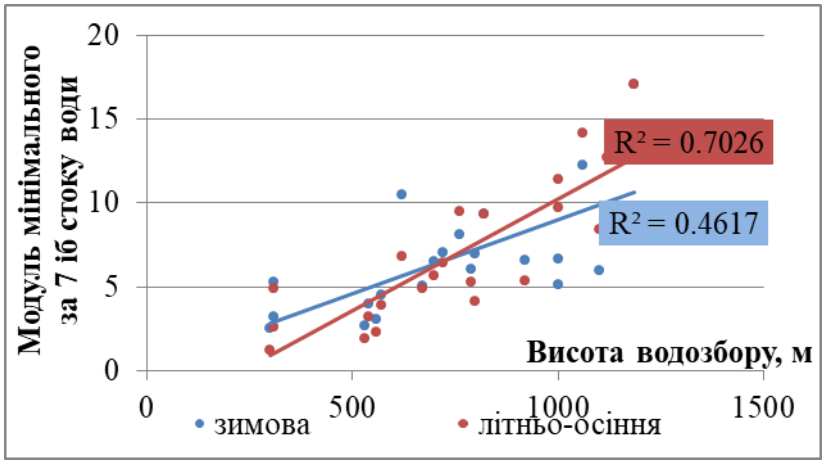
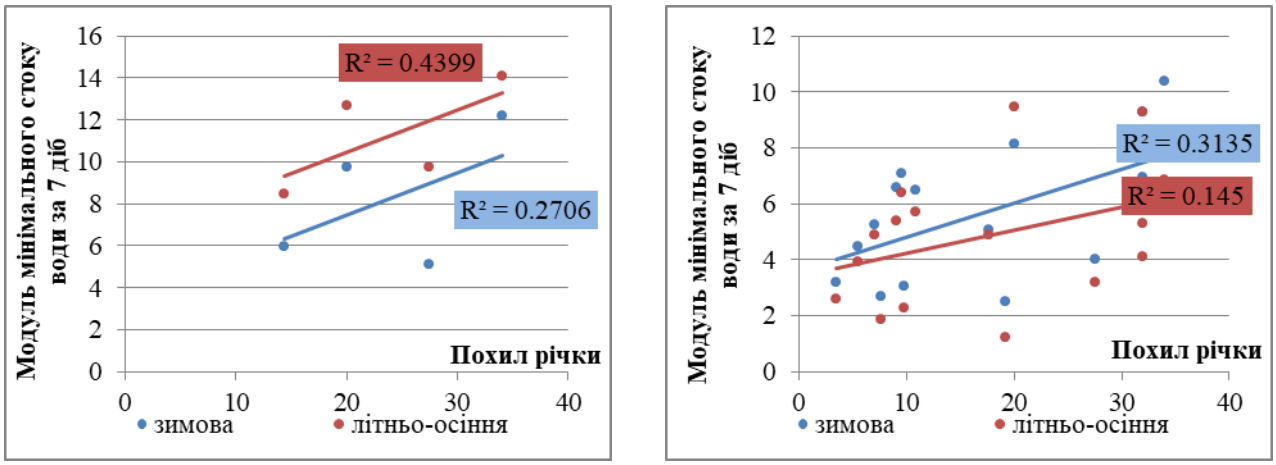


Рис. 4.13. Залежності модуля мінімального стоку за 7 діб від середньої висоти водозбору для літньо-осінньої та зимової межені

Аналіз рисунка 4.13 засвідчує наявність тісних зв’язків між модулем мінімального стоку за 7 днів та висотою водозбору. Значення модуля стоку збільшується зі зростанням висоти. Це підтверджується коефіцієнтами кореляції *r*=0,67 для зимової та *r*=0,83 для літньо-осінньої межені.

Ще однією емпіричною регіональною залежністю є зв’язок між модулями мінімального стоку води за 7 діб та похилами річок в межах гідрологічних постів. Кореляційні зв’язки цих характеристик зображені на рисунку 4.14.



а) б)

Рис. 4.14. Графік зв'язку між модулями мінімального стоку води за 7 діб та похилами річок для літньо-осінньої та зимової межені для а) східного, б) західного районів

Якщо оцінювати зв’язки модуля мінімального стоку води за 7 діб з похилом річки окремо для східного та західного районів басейну Тиси, то отримані графіки засвідчують, що між ними прослідковуються помірні та слабкі зв’язки, які більше виражають тенденції їх просторової оцінки. Коефіцієнти кореляції становлять r=0,66 та r=0,38 для східного та західного районів відповідно для літньо-осінньої межені (рис.4.14). Для зимової межені величина коефіцієнта кореляції в східному районі нижча, ніж для літньо-осінньої і складає 0,52. Для річок західного району навпаки, зв'язок для в періоду зимової межені вищий і характеризується коефіцієнтом кореляції r=0,56. Зі збільшенням похилу зростає модуль мінімального стоку, а витрати води відповідно зменшуються.

Таким чином, не всі досліджувані емпіричні регіональні залежності вцілому можуть бути використані при визначені мінімального стоку води на річках з відсутністю даних спостережень.

4.5. Висновки до розділу 4

1. Розраховані забезпеченості рядів мінімальних витрат води за 30 та за 7 діб для східного та західного районів та басейну та встановлені перехідні коефіцієнти та розраховані рівняння регресії між витратами 80% забезпеченості та заданими імовірностями перевищення (75%, 80%, 95% та 97%) між мінімальними витратами води за 7 і за 30 діб. Встановлено, що найбільш тісні зв’язки спостерігаються для мінімальних витрат води літньо-осінньої межені як для річок східного, так і західного районів. Для східного району середнє значення коефіцієнта кореляції становить 0.92 для літньо-осінньої межені. В період зимової межені середнє значення по району становить 0.82.

2. Встановлено, що мінімальні витрати води за 7 діб літньо-осінньої та зимової межені мають тісні зв’язки з середніми витратами, що підтверджують високі значення коефіцієнтів кореляції. Для східного району такі зв’язки є тіснішими і становлять 0.98±0.10 - 0.99±0.05 відповідно для зимової та літньо-осінньої межені. Для річок західного району зв’язки між середніми та мінімальними за 7 діб

витратами води також характеризуються тісними зв'язками з коефіцієнтами кореляції - 0.93±0.09 - 0.95±0.08 для зимової та літньо-осінньої межені. Причому для обох районів значення кореляції вищі для періоду літньо-осінньої межені.

3. Аналіз емпіричних регіональних залежностей та мінімального стоку води за 7 діб проводився з урахуванням різних факторів, таких як площа басейнів (менше та більше 1000км^2) та за районами внутрішньорічного розподілу стоку (східний та західний), а також для басейна вцілому. Було встановлено, що мінімальні витрати води зростають з площею водозбору. Для малих річок (до 1000 км^2) зв'язок витрати води з площею водозбору є більш тісним R^2=0.76 (зимова межень) та R^2=0,57 (літньо-осіння межень), ніж для великих річок R^2=0.56 (зимова межень) та R^2=0,51 (літньо-осіння межень). Для східного району кращі зв'язки між глибиною ерозійного врізу та модуля мінімального стоку спостерігаються в період зимової межені r=0,81, а для літньо-осінньої r=0.72. Для річок західного району більш тісними зв'язки ерозійного врізу і модуля мінімального стоку є для літньо-осінньої межені r=0,64. Для зимової межені коефіцієнт кореляції менший і становить r=0,56. Помітна незначна тенденція до зростання модуля стоку зі збільшенням глибини ерозійного врізу русел річок басейну Тиси. Також було встановлено, що значення мінімального модуля стоку за 7 діб збільшується зі зростанням висоти. Це підтверджується коефіцієнтами кореляції 0,67 для зимової та 0,83 для літньо-осінньої межені. Найменший вплив на формування мінімального стоку мають похили річки.

РОЗДІЛ 5
ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ РІЧОК БАСЕЙНУ ТИСИ В МЕЖАХ УКРАЇНИ

5.1. Передумови побудови сучасних картосхем модуля мінімального стоку води для річок басейну Тиси

Мінімальний стік води річок басейну Тиси є слабко дослідженим, адже через надмірне зволоження території більша увага приділяється максимальному стоку води цього регіону (див. розділ 1). Разом з тим, в останній час були відмічені дуже низькі межені на вказаних річках, які, навіть, встановили подекуди історичні мінімуми. Поряд з недостатньою вивченістю мінімального стоку води на річках басейну Тиси, його перебіг є вкрай важливим при вирішенні ряду водогосподарських задач.

Одним із розповсюджених у науці і практиці методів визначення мінімальної витрати води на ділянках річок, на яких відсутні регулярні гідрометричні спостереження, є використання картосхем розподілу модуля мінімального стоку води.

На жаль, в Україні, досі діють Державні Будівельні Норми та Правила «Визначення розрахункових гідрологічних характеристик» [116], які були розроблені ще у 1984 році для території всього колишнього СРСР. Водогосподарські, будівельні та інші організації на сучасному етапі досі користуються картами, рекомендованими цим правилами. Наявні карти були побудовані на основі даних по 1975 р. включно.

Згідно досліджень [42,57,103] було запропоновано використовувати схему внутрішньорічного розподілу стоку зі зміщеннями відносно календарних сезонів (див. розділ 3). Стосовно цього розподілу, якщо для якогось з районів характерна наявність паводків в меженні періоди, то допускається замість мінімальних витрат води за 30 діб використовувати за 23-30 діб [116,122].

На період сьогодення виникає потреба створення нових картосхем розподілу мінімального стоку. Для цього необхідно проаналізувати як змінився мінімальний стік окремо в літньо-осінню та зимову межень з 1975 по 2015 рік. На основі цього варто створити сучасні картосхеми згідно прийнятих стандартів та підходів, а саме картосхеми мінімальних за 30 діб витрат води 80% за період від початку спостережень по 2015 рік та проаналізувати зміни розподілу ізоліній модулів стоку.

Згідно запропонованих підходів оцінки мінімального стоку (див. розділ 3) варто також побудувати сучасні картосхеми модулів мінімального за 7 діб стоку води для літньо-осінньої та зимової межені та виконати їх порівняння з картосхемами мінімальних за 30 діб витрат води 80% .

5.2. Обґрунтування необхідності побудови сучасних картосхем мінімальних за 30 діб витрат води 80% забезпеченості для літньо-осінньої та зимової межені

Одним із нагальних питань, на наш погляд, було створення сучасних картосхем мінімального стоку води за 30 діб. Така необхідність пов’язана з тим, що діючі карти рекомендовані нормативними документами та методичними рекомендаціями до використання можуть бути не актуальні на сьогоднішній день. Тож нашим завданням було провести аналіз відповідності існуючих карт сучасному стану мінімального стоку та створення нових актуальних картосхем.

Карти, які наведені в діючому стандарті [116,122] (рис.5.1), як вже було зазначено, були створені на основі аналізу даних гідрологічних постів станом на 1975 рік.

Від початку спостережень і до 1975 р. в басейні Тиси діяли 43 гідрологічні пости (див.3.1). Період спостереження на них коливався від 15 до 35 років. Проте більшість рядів з них на момент побудови карти не перевищували період в 30 років регулярних спостережень, що не охоплює повного циклу водності із маловодною та багатоводною фазою. Це могло суттєво впливати на величину норми стоку.

Рис. 5.1. Карти ізоліній модулів мінімального 30-добового зимового та літньо-осіннього стоку, забезпеченістю 80% [122]

Крім того на основі аналізу різницевих інтегральних кривих (див. розділ 3.2) було встановлено, що в період 1974-1975рр. на річках басейну Тиси прослідковується закінчення маловодної фази та перехід у 80-х роках до багатоводної. Виходячи з викладеного актуальність зазначених картосхем практично втрачено, що спонукає до побудови нових картографічних відображень мінімального стоку. Тому наступним завданням було встановлення величини середньої багаторічної мінімальної за 30 діб витрати води станом на 1975 та на 2015 роки. Для цього були розраховані та проаналізовані наступні вихідні дані по всіх діючих витратних гідрологічних постах за період, які представлкні в табл.5.1 та рис. 5.2. Для початку були осереднені показники витрат мінімального стоку за 30 діб, що дало змогу отримати певні відмінності. У порівняльних значеннях, які можуть слугувати додатковим обґрунтуванням необхідності побудови нової картосхеми мінімального стоку, особливо з огляду на його формування в літньо-осінню та зимову межень (табл.5.1). Варто відмітити, що як для літньо-осінньої, так і для зимової межені спостерігаються різнопланові відхилення мінімального за 30 діб стоку і більшими вони є для першого з вказаних періодів.

Таблиця 5.1

Мінімальні за 30 діб витрати води за багаторічний період станом на 1975 та 2015рр для літньо-осінньої та зимової межені басейну Тиси

N	Річка - пост	літньо-осіння межень				зимова межень			
		1975	2015	Δ	%	1975	2015	Δ	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Тиса - Рахів	10.9	11.4	0.50	4.59	8.40	8.62	0.22	2.62
2.	Тиса - Вилок	84.5	73.8	-10.7	-12.6	58.5	56.7	-1.8	-3.08
3.	Чорна Тиса - Ясіня	1.96	2.3	0.34	17.3	1.14	1.3	0.16	14.0
4.	Біла Тиса -Луги	2.36	2.60	0.24	10.1	1.69	1.7	0.01	0.59
5.	Косівська - Косівська Поляна	1.99	2.10	0.11	5.53	1.85	2.00	0.15	8.11
6.	Тересва - Усть Чорна	6.80	8.86	2.06	30.3	5.61	7.25	1.64	29.2
7.	Ріка - Міжгір'я	4.11	4.29	0.18	-25.0	4.75	4.61	-0.14	-1.45
8.	Боржава - Довге	2.85	3.51	0.66	4.38	6.08	7.38	1.3	-2.95
9.	Латориця - Підполоззя	2.77	2.99	0.22	-15.7	3.70	3.82	0.12	1.01
10.	Латориця - Свалява	4.19	5.04	0.85	-17.5	6.32	6.65	0.33	-25.0
11.	Латориця - Мукачеве	6.05	7.04	0.99	4.55	5.89	6.10	0.21	-13.6
12.	Латориця - Чоп	8.91	9.74	0.83	23.1	16.1	14.4	-1.7	21.4
13.	Віча - Неліпино	2.60	2.94	0.34	7.94	3.27	3.08	-0.19	3.24

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14.	Стара - Зняцьово	0.26	0.37	0.11	20.2	1.07	1.24	0.17	5.22
15.	Уж - Зарічово	4.19	5.04	0.85	16.3	6.32	6.65	0.33	3.57
16.	Уж - Жорнава	6.05	7.04	0.99	9.32	5.89	6.1	0.21	-10.6
17.	Уж - Ужгород	1.80	2.30	0.50	13.0	1.63	1.88	0.25	-5.81
18.	Тур'я - Сімер	2.85	3.51	0.66	42.3	6.08	7.38	1.3	15.9
19.	Голятинка - Майдан	0.89	0.75	-0.14	4.35	0.99	1.00	0.01	4.69
20.	Пилипець - Пилипець	0.74	0.61	-0.13	16.8	0.88	0.66	-0.22	11.8
21.	Студений - Нижній Студений	0.22	0.23	0.01	35.2	0.22	0.19	-0.03	27.7
22.	Ріка - Верхній Бистрий	2.08	1.56	-0.52	3.57	1.38	1.36	-0.02	3.85

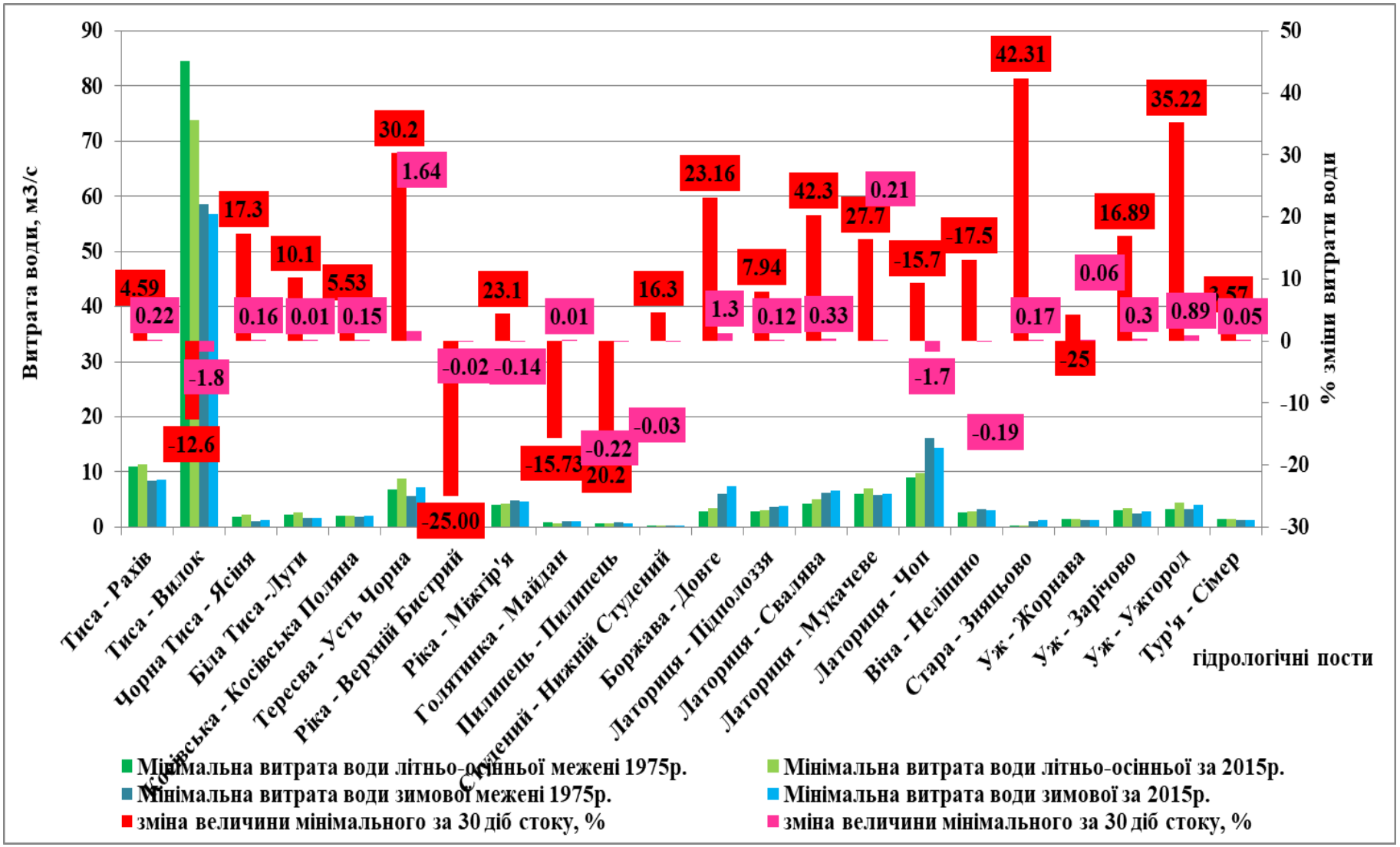


Рис. 5.2. Зміни величини мінімальної за 30 діб витрати води для літньо-осінньої межені та зимової межені

Таблиця 5.2

Мінімальні за 30 діб модулі стоку станом на 1975 та 2015рр для літньо-осінньої та зимової межені басейну Тиси

	Річка-пост	Модуль мінімального за 30 діб стоку води 1975р.	Модуль мінімального за 30 діб стоку води 2015р.	Зміна величини мінімального за 30 діб стоку	Зміна величини мінімального за 30 діб стоку, %	Модуль мінімального за 30 діб стоку води 1975р.	Модуль мінімального за 30 діб стоку води 2015р.	Зміна величини мінімального за 30 діб стоку	Зміна величини мінімального за 30 діб стоку, %
		літньо-осіння межень				зимова межень			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Тиса - Рахів	10.2	10.7	0.47	4.59	7.85	8.06	0.21	2.62
2	Тиса - Вилок	9.25	8.07	-1.17	-12.7	6.40	6.20	-0.20	-3.08
3	Чорна Тиса - Ясіня	10.1	11.9	1.75	17.3	5.88	6.70	0.82	14.0
4	Біла Тиса - Луги	12.5	13.8	1.27	10.2	8.94	8.99	0.05	0.59
5	Косівська - Косівська Поляна	16.3	17.2	0.90	5.53	15.2	16.4	1.23	8.11
6	Тересва - Усть Чорна	11.9	15.5	3.60	30.3	9.81	12.67	2.87	29.2
7	Ріка - Верхній Бистрий	12.6	9.45	-3.15	-25.0	8.36	8.24	-0.12	-1.45
8	Ріка - Міжгір'я	7.47	7.80	0.33	4.38	8.64	8.38	-0.25	-2.95
9	Голятинка - Майдан	10.3	8.72	-1.63	-15.7	11.5	11.6	0.12	1.01
10	Пилипець - Пилипець	16.7	13.8	-2.94	-17.6	19.9	14.9	-4.98	-25.0
11	Студений - Нижній Студений	8.66	9.06	0.39	4.55	8.66	7.48	-1.18	-13.6
12	Боржава - Довге	6.99	8.60	1.62	23.2	14.9	18.1	3.19	21.4
13	Латориця - Підполоззя	8.55	9.23	0.68	7.94	11.4	11.8	0.37	3.24
14	Латориця - Свалява	6.16	7.41	1.25	20.3	9.29	9.78	0.49	5.22

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	Латориця - Мукачеве	4.45	5.18	0.73	16.4	4.33	4.49	0.15	3.57
16	Латориця - Чоп	3.10	3.39	0.29	9.32	5.61	5.02	-0.59	-10.6
17	Віча - Неліпино	10.8	12.2	1.41	13.1	13.6	12.8	-0.79	-5.81
18	Стара - Зняцьово	1.16	1.65	0.49	42.3	4.78	5.54	0.76	15.9
19	Уж - Жорнава	4.83	5.03	0.21	4.35	4.48	4.69	0.21	4.69
20	Уж - Зарічово	2.31	2.70	0.39	16.9	1.98	2.22	0.23	11.8
21	Уж - Ужгород	1.70	2.30	0.60	35.2	1.63	2.08	0.45	27.7
22	Тур'я - Сімер	3.02	3.13	0.11	3.57	2.80	2.91	0.11	3.85

З метою просторового відображення мінімального стоку за 30 діб, для території басейну Тиси були розраховані модулі мінімального за 30 діб стоку води за багаторічні період по 1975 та на 2015 роки. Це дало можливість більш детально порівняти відповідні картографічні схеми вказаного стоку води річок досліджуваного регіону.

Аналізуючи таблиці 5.1 та 5.2 можна помітити, що величини як витрат води, так і модулів стоку літньо-осінньої межені змінились в діапазонах від -25% до +42%. Для майже всієї території басейну мінімальні 30-добові витрати води збільшились. Лише для водозборів річок Голятинки, Пилипця та Ріки (г/п Верхній Бистрий) відбулось зменшення мінімальної витрати води.

Щодо зимової межені, то тут величина мінімальних витрат води змінилась в межах від -25% до +29%. В зимовий період для 7 гідрологічних постів, які розташовані в межах західного району (див. розділ 3.1), спостерігається зменшення мінімальних витрат води за 30 діб. Для решти гідрологічних постів величина мінімальних витрат води зросла від в діапазоні 4-29%.

Раховуючи факт зміни величини багаторічного значення мінімальних витрат води за 30 діб виникає необхідність побудови нових актуальних картосхем мінімального за 30 діб стоку окремо для літньо-осінньої та зимової межені.

5.3. Методичні підходи до побудови картосхем мінімального стоку води

5.3.1. Загальні методичні підходи створення картосхем модулів стоку води. Побудова картосхем ізоліній будь-якої гідрологічної характеристики здійснюється шляхом просторової інтерполяції. Можуть застосовуватися методи лінійної інтерполяції, оптимальної лінійної інтерполяції, заснованої на просторовій кореляційній функції, та інші. При цьому використання просторової кореляційної функції включає оцінку її однорідності [117]. У разі визначального впливу інших регіональних факторів (наприклад, висоти водозборів в гірських районах) інтерполяція здійснюється з їх урахуванням [60,105,148].

При просторовій інтерполяції гідрологічних характеристик рекомендується використовувати геоінформаційні системи. Застосування ГІС-технології в гідрологічних розрахунках у міру накопичення нової гідрометеорологічної інформації дасть можливість створювати альбоми річних картосхем гідрологічних характеристик, які можуть постійно доповнюватися, що відкриває нові можливості інженерних гідрологічних розрахунків при відсутності даних спостережень в розрахунковому створі. А це може бути актуалізовано при вирішенні інших практичних завдань для різних галузей народного господарства [184,203,207].

Побудова картосхеми водного стоку може проводитися безпосередньо за даними спостережень за стоком води річок досліджуваної території [86,105]. При цьому значення стоку води річок, що обираються для їх просторового аналізу та розподілу, повинні бути репрезентативними, тобто, такою величиною може бути мінімальні багаторічні значення стоку води річок або норма мінімального стоку води.

При побудові картосхем просторового розподілу мінімального стоку води певної території необхідно виключити вплив площі водозбору річок. Тому використовують величини водного стоку річок, які представлені у вигляді шарів стоку води (*Y, мм*) або модулів стоку води (*q, л·/с·км*), тобто величин приведених до одиниці площі *F* [105,128,130,131].

Значення або шарів, або модулів стоку відносять до умовних точок – центрів тяжіння водозбору, які, таким чином, відображають середні умови їх формування. Це обумовлено тим, що стік води, що виміряно на гідрологічному посту, представляє собою осереднений стік зі всього річкового басейну. Після чого проводиться інтерполяція між цими показниками. Для автоматичного визначення центрів тяжіння водозбору використовуються інструменти модулів ГІС [181,182]. Треба зазначити, що у гірських районах інтерполяція проводиться з урахуванням висотних відміток рельєфу. Для цього будуються залежності норм водного стоку річок від висоти їх водозборів. Можна враховувати при цьому й інші морфометричні та гідрографічні показники [189,190].

При побудові картосхем за даними спостережень розраховуються значення мінімального модуля стоку води за 30 та за 7 діб відносять до центру тяжіння водозбору, що замикається гідрологічним створом. Орієнтація ізоліній має враховувати загальні географічні тенденції в змінах гідрологічних характеристик, рельєф, клімат та інші фізико-географічні особливості території. Норми мінімального стоку води як для малих, так й великих річкових басейнів слугують лише для контролю надійності побудови картосхеми. Тому для побудови картосхеми було використано всі точки, адже виключення деяких з них, особливо тих, які знаходяться високо в горах призводить до заниження значень мінімального стоку води [47].

Важливою умовою для побудови картосхеми просторового розподілу мінімального стоку води за допомогою аналітичних функцій ГІС є аналіз всієї існуючої гідрологічної та картографічної інформації, оскільки важливими при їх складані є щільність і рівномірність розподілення точок та, відповідно, підготовка необхідних даних для створення основи електронної картосхеми [191,204]. Необхідність залучення ГІС пояснюється високою точністю отриманих результатів та оперативністю у вирішенні ряду гідрологічних задач [147,181,203]. В наших попередніх дослідженнях ці методи були з успіхом застосовані [106,105,128,130,131]. При цьому було використано програмне забезпечення QGIS, яке є одним із відкритих програмних продуктів для вирішення завдань гідрологічного моделювання [181,203,207].

5.3.2. Методичні підходи до побудови картосхеми розподілу модуля мінімального стоку води для гірських районів. Застосування перерахованих в попередньому підрозділі підходів і положень дозволяють побудувати картосхему просторового розподілу модулів мінімального стоку води для річок басейну Тиси в межах України. Алгоритм побудови картосхем включає в себе декілька етапів [128, 130, 131].

Перший етап - підготовчий. На даному етапі слід оцінити повноту гідрологічних даних. Провести розрахунки середньорічних характеристик стоку. Створити необхідні підготовчі шейп-файли, які б містили базову інформацію:

- гідрографії;
- гідрологічних постах;
- опадах;
- рельєфу досліджуваного басейну.

Другий етап - моделювання річкових басейнів. На даному етапі передбачається виділення меж басейнів річок, а також водозборів в створах гідрологічних постів. В результаті банк даних наповнюється новими векторними шарами (shape-файли):

- контури водозборів (полігональний шар);
- центри водозборів (точковий шар);
- модуль стоку (полілінійний шар).

Третій етап - вибір методу інтерполяції та проведення ізоліній модуля стоку води. Необхідно врахувати всі наявні способи інтерполяції обрати той, який найкраще описує розподіл стоку води по території. В результаті створюється нова растрова поверхня з даними модуля стоку в кожній точці. Далі з неї знімаються ізолінії з заданим кроком у вигляді векторного шару:

- ізолінії модуля мінімального стоку води.

На першому етапі виникали суттєві труднощі, пов'язані з недостатньою кількістю опорних точок в центрах водозборів в межах гідрологічних постів. Для побудови достатньо надійної картосхеми просторового розподілу мінімального стоку води необхідно отримати дані зі всіх частин басейну Тиси, і навіть по тих, які знаходяться за межами України. Тому для цього були використанні дані по 30 гідрологічних постах (з них в межах України – 22 та за межами – 8 гідрологічних постів), а також 26 гідрологічних постів на суміжних річкових басейнах.

Необхідною умовою для побудови картосхем стоку води взагалі, і мінімального, зокрема, є визначення площ водозборів для кожного гідрологічного поста. Визначення контурів водозборів відбувається за допомогою алгоритму, який

передбачає обробку цифрової моделі висот (ЦМВ) [177,188,191] функціями гідрологічного моделювання, які вбудовані в модуль SAGA [182, 184,203]. Зручність даного алгоритму полягає в тому, що є можливість створення контуру водозбору для кожного елемента гідрографічної мережі, а також для окремих гідрологічних постів.

Всі етапи побудови картосхеми стоку можна логічно об’єднати в алгоритм та створити напівавтоматичну модель побудови картосхеми модулів стоку води (рис 5.3).

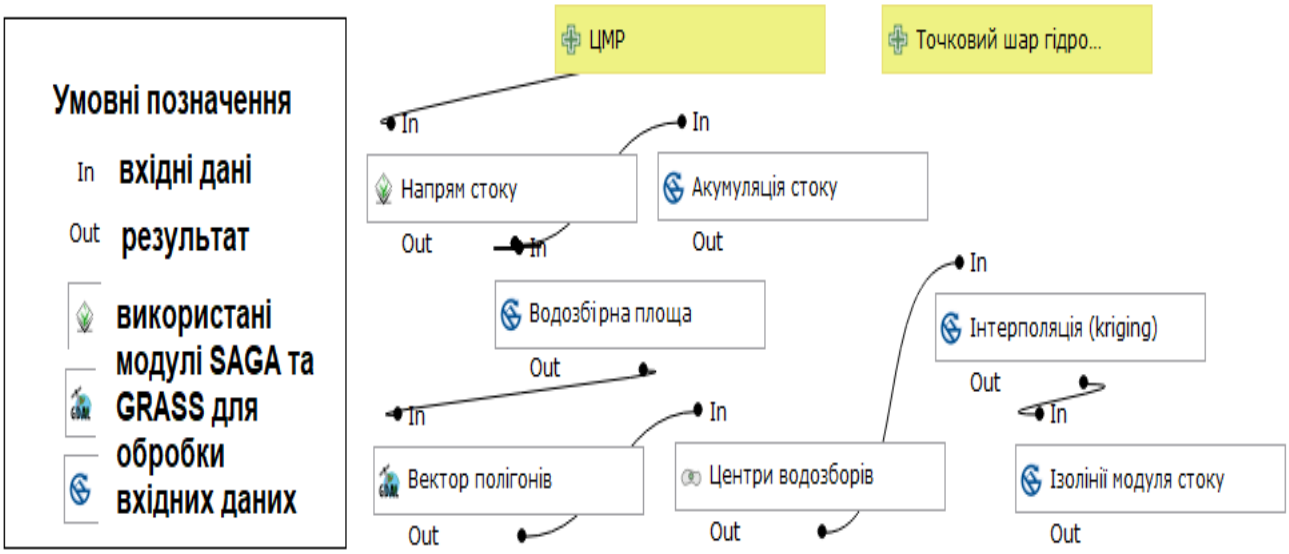


Рис. 5.3 Розрахунковий алгоритм побудови картосхеми модулів мінімального стоку води в середовищі QGIS

Для побудови картосхеми гідрологічних характеристик необхідно визначити центри тяжіння водозборів або центроїди водозборів (див. 5.3.1). В якості вхідних даних використовується створений раніше шейп-файл водозбірних басейнів. Для кожного центроїда водозбірного басейну автоматично визначаються і їх координати.

Приклад картосхеми з центроїдами та межами водозборів наведений на рисунку 5.4.

Рис. 5.4. Приклад побудови центроїдів для річок басейну Тиси

Для центрів водозборів, кожного діючого гідрологічного поста вводилися розраховані дані мінімального модуля стоку води за 7 да 30 діб забезпеченістю 80% у вигляді атрибутивної таблиці. Для подання зазначених модулів стоку води у просторовому їх розподілі проводився попередній аналіз та розраховувались їх величини.

На основі обраного методу інтерполяції створювалися ізолінії модулів стоку, за допомогою функцій Terrain Analyses [207].

5.4. Аналіз сучасних картосхем модуля мінімального стоку води для річок басейну Тиси

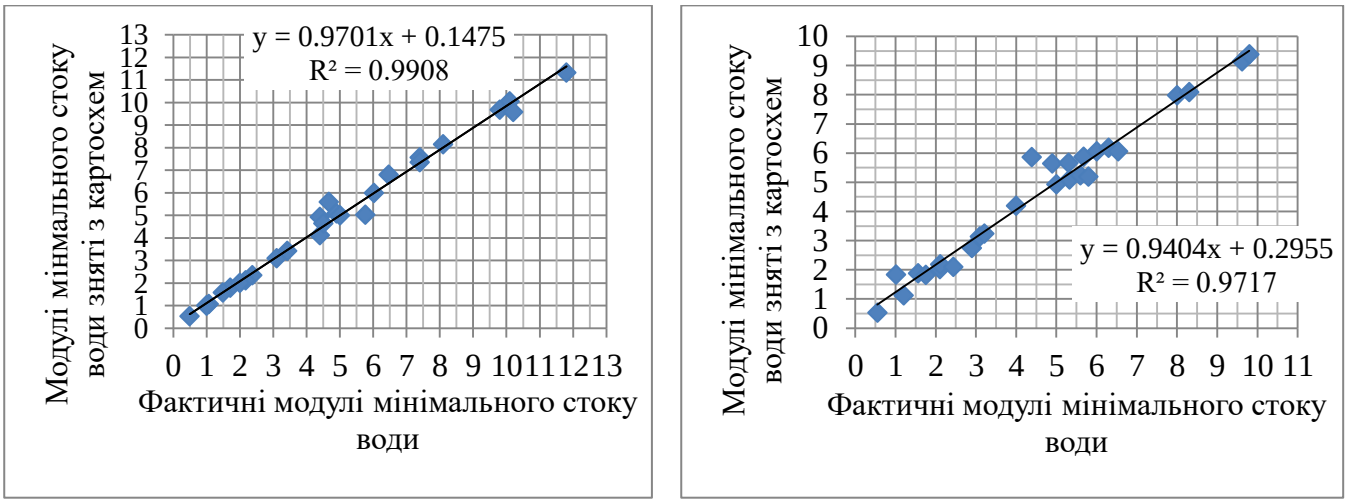
Враховуючи вищезазначене, проведено створення нових картосхем мінімальних за 30 діб модулів річкового стоку 80% забезпеченості для басейну Тиси для літньо-осінньої та зимової межені (рис. 5.6, 5.7).

Рис. 5.6.Картосхема модулів мінімального за 30 діб стоку води 80% забезпеченості для літньо-осінньої межені

Рис. 5.7. Картосхема модулів мінімального за 30 діб стоку води 80% забезпеченості для зимової межені

За результатами аналізу побудованих картосхем мінімальних модулів стоку води річок для літньо-осінньої та зимової межені здійснена оцінка їх достовірностей.

Ізолінії на рис. 5.6 і 5.7 проведені через 1л/с.км^2, що забезпечує відповідну достовірність у визначенні показників мінімального за 30 діб стоку води 80% забезпеченості для літньо-осінньої та зимової межені. Вона визначається за порівнянням і оцінкою зв'язків фактичних модулів мінімального стоку та модулів мінімального стоку, знятих з картосхем (рис. 5.8).



а) б)

Рис. 5.8 - Залежність між розрахованими та картографованими модулями мінімальними за 30 діб стоку води річок басейну Тиси в межах України за а) літньо-осінню і б) зимову межені

Аналіз вказаних залежностей засвідчив наступне. По-перше, між фактичними їх значеннями в гідрометричних створах, розрахованими за багаторічний період, та знятими з картосхеми (рис.5.6-5.7) отримано тісний зв'язок. При цьому коефіцієнт кореляції склав r = 0,99 для літньо-осінньої та r = 0,98 для зимової. Причому, лінія зв'язку співпадає з лінією рівних значень. Відхилення розрахованих і картографованих показників середньорічних модулів стоку води знаходяться в межах відносних похибок розрахунку мінімальних витрат.

Все це вказує на досить високу достовірність просторового узагальнення середньорічних модулів стоку води річок басейну Тиси Українських Карпат та можливість застосування розробленої картосхеми у практичних та наукових цілях.

Аналізуючи отримані картосхеми (рис. 5.6-5.7) можна прослідкувати, що модулі мінімальних витрат води за 30 діб як для літньо-осінньої, так і для зимової межені зменшуються з північного сходу на південний захід басейну. Якщо характеризувати його по районах, то максимальні значення модулів мінімального стоку припадають по одному на кожен район. Для західного – це витоки річок басейнів Ріки, Боржави та Латориці, де спостерігаються максимальні значення модуля мінімального літньо-осіннього стоку - близько 10 л/скм^2, а зимового – 8-9 л/скм^2 . Інший максимум простежується на витоках річок, які беруть свій початок на Свидовецькому та Чорногірському хребтах, а саме – Косівська, Тересва, Чорна та Біла Тиси, Шопурка. Так для літньо-осіннього сезону мінімальний стік на високогір'ї становить близько 10 л/с.км^2, а для зимового – 8 л/с км^2.

Значення модуля стоку зменшується по басейну від гірських вершин на рівнинну територію басейну до 1 л/с*км^2 в літньо-осінню межень і 2 л/с*км^2 в зимову. Такими чином мінімальний стік літньо-осінньої межені є більш мінливими та залежить від висоти водозбору, в той час як стік зимової межені є більш стійким з висотою водозборів. Це можна пояснити тим, що в період літньо-осінньої межені на формуванням мінімумів значно впливають опади, які дуже нерівномірно випадають по території басейну. Що ж стосується зимового періоду, то оскільки мінімальний стік спостерігається за наявності від'ємних температур, розподіл яких по території є більш однорідним за розподіл опадів, які в зимовий час мають значно менший вплив, то і зміна величини мінімального стоку по території басейну в цей період є менш мінливою. Варто також зазначити, що вцілому ізолінії мінімального стоку повторюють характер розподілу ізоліній норми стоку [85,105,200].

5.5 Побудова картосхем модуля мінімального за 7 діб стоку води

Як вже зазначалось однією із розрахункових величин можна вважати мінімальну витрату води за 7 діб. Для створення сучасних картосхем модулів мінімального стоку для всіх гідрологічних постів були відібрані мінімальні витрати за 7 діб за кожен рік та розрахована величина їх 80% забезпеченості (див. 4.2).

Для побудови картосхем модулів мінімального стоку за 7 діб так само були використані дані 22 гідрологічних постів в межах басейну Тиси в межах України, а також 7 гідрологічних постів за межами басейну. Всі дані про стік води були приведені до центрів тяжіння водозборів (рис.5.9, 5.10). Точки за межами басейну Тиси слід вважати додатковими, які були взяті з метою уточнення інтерполяції між існуючими центрами водозборів. Дані про витрати води на гідрологічних постах, що знаходяться за межами водозборів басейну Тиси в Україні є різними за тривалістю та періодами і можуть використовуватися лише для уточнення побудов.

Рис. 5.9. Модуль мінімального за 7 діб стоку води для літньо-осінньої межені забезпеченістю 80% річок басейну Тиси в межах України.

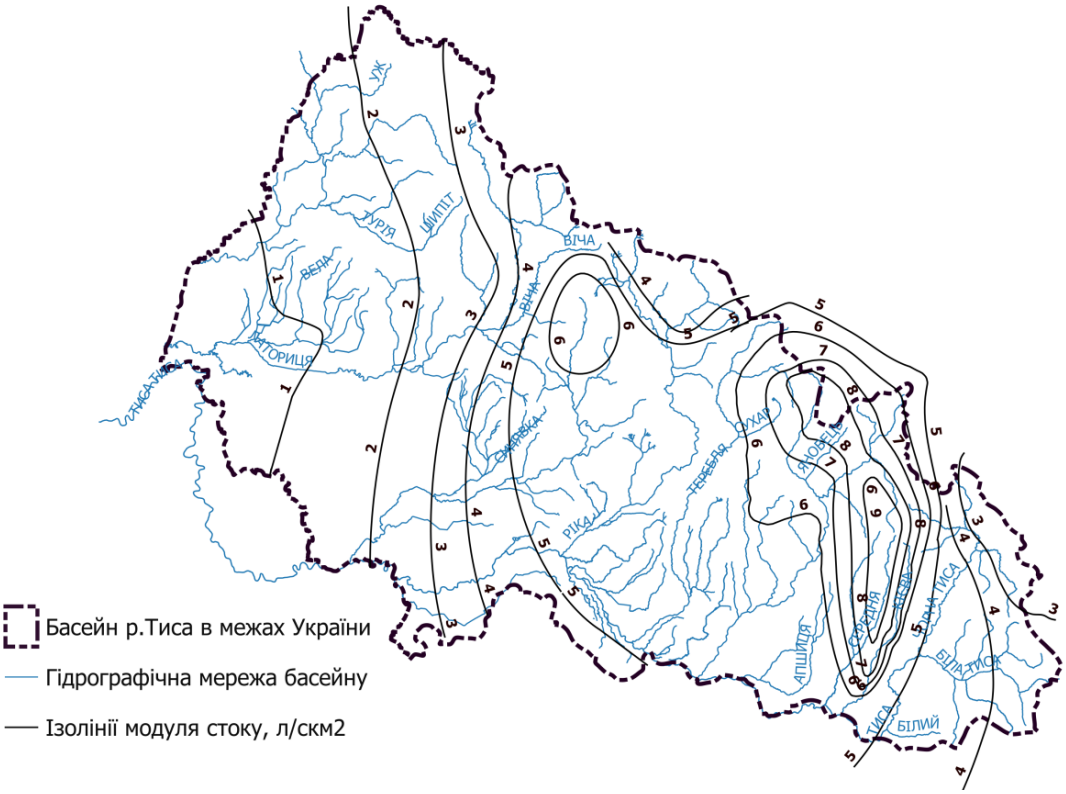
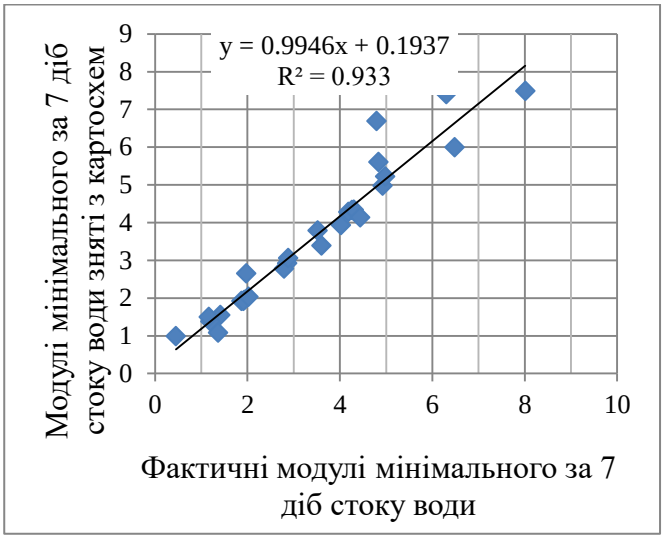
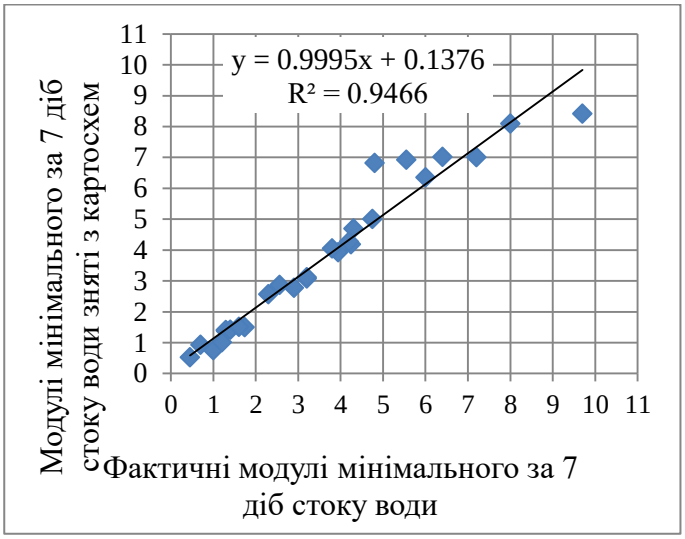


Рис. 5.10. Модуль мінімального за 7 діб стоку води для зимової межені забезпеченістю 80% річок басейну Тиси в межах України.

Як і для картосхем модуля мінімального стоку за 30 діб для картосхем, побудованих для модулів мінімального стоку за 7 діб було проведено оцінку їх достовірності. Проведено порівняння між фактичними значенням в гідрометричних створах та знятими з картосхеми значеннями (рис.5.11).



а)



б)

Рис. 5.11 Оцінка відповідності розрахованих модулів стоку фактичним за а)літньо-осінню і б) зимову межені

Представлені на рис.5.11 залежності засвідчують тісний зв'язок між розрахованими за картосхемою модулями мінімального стоку за 7 діб та фактичними модулями мінімального стоку за 7 діб, який виражається коефіцієнтами кореляції r = 0,96 та r = 0,97 для літньо-осінньої та зимової межені відповідно. Причому, лінія зв’язку співпадає з лінією рівних значень. Відхилення розрахованих і картографованих значень середньорічних модулів стоку води знаходяться в межах відносних похибок розрахунку норм мінімального за 7 діб стоку води.

Як видно з отриманих картосхем розподілу модулів мінімального стоку води за 7 діб, він, уцілому, повторює просторовий розподіл модулів мінімального стоку картосхем для 30-ти добового періоду, так і карт модуля середнього стоку. Водночас величина модулів за 7 діб нижча, ніж за 30 діб, що і пояснюється тим, що мінімальні витрати води в цей семиденний період формуються без впливу опадів, які випадають в басейні за рахунок їх добігання з водозбору (див. розділ 4.5).

Що стосується застосування вищенаведених картосхем, то тут все залежить від конкретних задач. Для потреб, які враховують мінімальний стік 95% забезпеченості доцільніше користуватися величиною мінімального стоку за 7 діб відповідної забезпеченості, адже ця величина дає можливість врахувати найменші витрати води річок. Також картосхеми 7-добових витрат рекомендується використовувати для розрахунків в гірській місцевості, особливо в літньо-осінню межень, де частіше спостерігаються паводки, вплив яких є більш значним на мінімальні витрати.

5.6. Висновки до розділу 5

1. Для підтвердження необхідності створення сучасних картосхем мінімального стоку було проведено оцінку зміни мінімальних витрат води за два періоди. Перший - від початку спостережень по 1975 року, другий – по 2015 рік. 1975 рік було обрано як період, по який були зібрані дані для створення нині діючих картосхем модулів мінімального стоку.

2. Встановлено, що середнє багаторічне значення мінімальної витрати води за 30 діб змінилося порівняно з 1975 роком від -25% до +42% для літньо-осінньої межені, в межах -25% до +29% в зимовий період.

3. Проведено узагальнення методичних підходів побудови картосхем модулів мінімального стоку для літньо-осінньої та зимової межені, з урахуванням особливості гірської місцевості. Актуальні картосхеми створені в середовищі QGIS та візуалізовані у вигляді ізоліній модуля мінімального стоку за 30 та за 7 діб 80% забезпеченості. Для всіх картосхем проведена оцінка достовірності їх побудови. Коефіцієнти кореляції між фактичними та розрахованими за картосхемами значеннями мінімальних модулів стоку перевищують r =0.97%, а лінії зв'язку лежать на лінії рівних значень, що підтверджує можливість їх використання для подальших розрахунків мінімального стоку невивчених територій. Картосхеми модулів мінімального стоку води за 7 діб уцілому повторюють просторовий розподіл модулів мінімального стоку води за 30 діб.

ВИСНОВКИ

1. При розгляді проблематики досліджень мінімального стоку було встановлено, що існують значні розбіжності у визначеннях для описання періодів мінімального стоку та основних розрахункових величин, як у вітчизняних, так і закордонних вчених. Тому значна увага була приділена врахуванню генетичних особливостей формування мінімального стоку, що представлено у вигляді алгоритму виконання досліджень. Виявлено, що основними факторами на території басейну Тиси, які визначають особливості формування мінімального стоку річок є геологічна будова, кліматичні умови, гідрогеологічні умови, кліматичні умови, ґрунти та рослинність та господарська діяльність.

2. Обґрунтовано вибір розрахункового періоду для оцінювання мінімального стоку річок басейну Тиси тривалістю 7 діб на основі аналізу гідрографів стоку води та опадів.

3. За внутрішньорічним розподілом стоку води виділено 2 райони - західний та східний. Межа цих районів проходить по басейну р.Ріка. Встановлено, що на річках східного району на весняний сезон припадає 38,9% стоку, на літній - 27,5%, на осінній - 19,0%, а лімітуючим сезоном є зима – 14,6%. Для західного району частка весняного стоку складає 40,4%, літнього - 18,2%, осіннього (лімітуючого сезону) – 16,7% та зимового 24,7%.

4. Перевірка рядів мінімальних витрат води за 1 добу, 7 та 30 діб уцілому засвідчила часову їх однорідність. За параметричним критерієм Стьюдента гіпотеза про однорідність не спростовується у 95,5% випадків для мінімального стоку 30 діб та більше як 81% випадків для рядів мінімального стоку за 1 та 7 діб. За критерієм Фішера всі ряди у більше як 90% є однорідними. За непараметричним критерієм Вількоксона найбільш однорідними вважаються ряди за 30 діб – 95,5% випадків.

Оцінка мінливості мінімального стоку річок басейну Тиси засвідчила, що коефіцієнт варіації *Cv* для літньо-осінньої межені коливається в межах 0,28-0,68. Середнє значення – 0,44. Найбільші значення відносяться до малих водозборів воднобалансової станції в басейні р.Ріка. Щодо зимової межені, то коефіцієнти

варіації коливаються від 0,3 до 0,67, середнє значення становить 0,45. Засвідчено, що із урахуванням співвідношення *Cv/Cs* на річках басейну спостерігається помірно-асиметричний розподіл. Встановлено зменшення коефіцієнтів варіації з висотою для зимової та літньо-осінньої межені для мінімальних витрат води за 7 діб.

5. Характеристика багаторічних коливань мінімального стоку показала відсутність завершених циклів водності. Зміна періодів пониженої та підвищеної водності мінімальних витрат води відбувається досить неоднорідно по території басейну. Вцілому для річок басейну Тиси прослідковуються синхронні та асинфазні коливання мінімального стоку води за 7 діб. Виявлено, що річки західного району знаходяться в маловодній фазі, а східного – здебільшого в багатоводній.

6. Для східного та західного районів отримані розрахункові забезпеченості мінімального стоку води за 7 діб та визначені перехідні коефіцієнти та рівняння регресії між витратами 80% забезпеченості та заданими ймовірностями перевищення (75%, 80%, 95% та 97%) для зимової та літньо-осінньої меженей. Проаналізовано зв`язки між мінімальними витратами води за 7 і за 30 діб. Встановлено, що найбільш тісні зв’язки спостерігаються для мінімальних витрат води літньо-осінньої межені як для річок східного, так і західного району.

7. Встановлено, що мінімальні витрати води за 7 діб літньо-осінньої та зимової меженей знаходяться в тісних зв’язках з середніми багаторічними витратами води. Для східного району коефіцієнти кореляції цих зв’язків складають r = 0.98 - 0.99 для зимової та літньо-осінньої межені. Для річок в межах західного відмічені також тісні зв’язки - r = 0.93- 0.95.

Аналіз емпіричних залежностей мінімального стоку з визначальними факторами засвідчив, що мінімальні витрати води за 7 діб зростають з площею водозбору. Для малих річок (до 1000 км2) зв’язок витрати води з площею водозбору є більш тісним, ніж для великих річок. Для східного району встановлено, що зв’язки між глибиною ерозійного врізу та модулями мінімального стоку води за 7 діб більш тісні для східного району (для зимової межені r=0,81, а для літньо-осінньої r=0.72). Помітна тенденція до зростання модуля стоку зі збільшенням глибини ерозійного врізу русел досліджуваних річок. Поміж тим виявлено, що значення мінімального

модуля стоку за 7 діб збільшуються зі зростанням висоти водозбору. Найменший вплив на формування мінімального стоку мають похили річки.

8. Для підтвердження необхідності створення сучасних картосхем мінімального стоку було проведено оцінку зміни мінімальних витрат води за два періоди. Перший - від початку спостережень по 1975 року, другий – по 2015 рік. Встановлено, що середнє багаторічне значення мінімальної витрати води за 30 діб змінилося порівняно з 1975 роком від -25% до +42% для літньо-осінньої межені, в межах -25% до +29% в зимовий період.

9. Створені актуальні картосхеми в середовищі QGIS та візуалізовані у вигляді ізоліній модуля мінімального стоку за 30 та за 7 діб 80% забезпеченості. Картосхеми модулів мінімального стоку води за 7 діб уцілому повторюють просторовий розподіл модулів мінімального стоку води за 30 діб. Для всіх картосхем проведена оцінка достовірності їх побудови. Коефіцієнти кореляції між фактичними та розрахованими за картосхемами значеннями мінімальних модулів стоку перевищують r=0.97%, а лінії зв’язку лежать на лінії рівних значень, що підтверджує можливість їх використання для подальших розрахунків мінімального стоку невивчених територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алехин Ю. М. Статистические прогнозы в геофизике: монография. Ленинград : ЛГУ, 1963. 86 с.

2. Алехин Ю. М. Множественное линейное экстраполирование макропроцесов (динамико-статистический метод прогнозирования). *Труды ЛГМИ*. 1968. Вып. 28. С. 46-59.

3. Амусья А.З., Ратнер Н.С., Соколов Б.Л. Минимальный сток рек: состояние и перспективы исследований. *Труды ГГИ*. 1991. Вып.355. С.3-28.

4. Андреанов В.Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах. *Труды ГГИ*. 1959. №68. С. 3–49.

5. Андреянов В. Г. Методические основы исследования и расчета внутригодового распределения стока. *Труды ГГИ*. 1957. Вып. 61. С. 71-105.

6. Андрущенко Г. О. Грунти західних областей УРСР : монографія. Львів – Дубляни : Вільна Україна, 1970. 184 с.

7. Антонов Н.Д. Минимальный сток рек СССР. *Труды НИУ ГУГМС*. Сер.4. 1941. Вып.2. С.65-89.

8. Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России : монография. Санкт-Петербург : РГГМУ,2001. 209 с.

9. Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР. Москва : ГУГК, 1978. 183 с.

10. Атлас України (електронна версія). Інститут географії НАНУ. Київ : ІС ГЕО. 2000.

11. Бабинец А.Е., Белявский Г.А. Естественные ресурсы подземных вод зоны интенсивного водообмена Укаины : монография. Киев : Наукова думка, 1973. 111 с.

12. Баранов В.А. Минимальный сток рек ЕТС. *Труды ГГИ*. 1966. Вып. 133. С 112-147.

13. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1983. 390 с

14. Боголюбов С.Н., Богомазова З.П. Вертикальная зональность подземных вод как основной фактор формирования стока. *Метеорология и гидрология*. 1955. №6. С.28-49.

15. Боголюбов С.Н., Богомазова З.П. О роли подземного питания в годовом стоке рек и временных водотоков. *Труды ГГИ*. 1956. Вып. 52 (106). С. 5–41.

16. Божок Ю. В., Лобода Н.С. Вплив посушливості клімату на стік річок Карпатського регіону в сучасних та майбутніх умовах. *Ресурси природних вод Карпатського регіону (проблеми охорони та раціонального використання)* : матеріали XII Міжнародної наук.-практ. конф. Львів: ЛвДЦНІІ, 2013. С.193-196

17. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волги. *Метеорология и гидрология*. 2014. №3. С.75-85.
18. Бондарчук В. Г. Геологія України : монографія. Київ : АН УРСР, 1959. 832 с.
19. Бучинский И.Е., Волеваха Н.М., Коржов В.А. Климат Украинских Карпат : монографія. Київ : Науковда думка, 1971. 172с.
20. Вернандер Н. Б. Почвы Закарпатской области УССР. *Почвоведение*.1947. № 6. С. 5–22.
21. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання : монографія. Київ: Віпол, 2000. 376 с
22. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України : монографія. Київ, 2003. 324 с.
23. Владимиров А.М. Минимальный сток рек СССР : монография. Ленинград : Гидрометеоиздат,1970. 214 с.
24. Владимиров А.М. Сток рек в маловодный период года : монография. Ленинград : Гидрометеоиздат,1976. 295 с.
25. Владимиров А.М. Об «указаниях по определению расчетных мини-мальных расходов воды рек при строительном проектировании». *Метеорология и гидрология*. 1967. № 2. С. 91–93.
26. Владимиров А.М. Особенности формирования и расчет минимального стока малых рек СССР. *Труды ГГИ*. 1966. Вып. 133. С. 148–174.
27. Владимиров А.М. Связь минимального стока малых рек севера Европейской территории СССР с подземным питанием. *Труды ГГИ.* Ленинград : Гидрометеоиздат, 1964.Вып. 114. С. 119–128.
28. Водний кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1995, № 24, ст.189.
29. Волчек А. А., Валуев В. Е. Расчет статистических характеристик годового стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. *Мелиорация и водное хозяйство.* 1991. № 3. С. 16 - 20.
30. Волчек А. А., Грядунова О. И. Методика расчета минимального стока воды рек Беларуси при отсутсвии наблюдений. *Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление*. 2008. №6. С. 4–28.
31. Волчек, А.А. Калинин М. Ю., Грядунова О.И. Минимальный сток малых рек Беларуси как функция эрозионного вреза русловой сети. *Водные ресурсы (информационные материалы) РУП*. 2005. №20.С. 59-65.
32. Воропай Л. І., Куниця М.О. Українські Карпати : монографія. Київ : Радянська школа, 1966. 166 с.

33. Габчак Н.Ф. Антропогенна трансформація та екологічний стан річкових систем Закарпаття. *Наука і освіта* : матеріали VI наук.-практ. конф., 20-24 січня 2003. Дніпропетровськ, 2003. С. 9-11.
34. Генсірук С. А. Ліси України : монографія. Львів : НТШ, 2002. 496 с.
35. Геология СССР : монография. Москва : Недра, 1966. 540 с.
36. Герушинський З.Ю. Типологія лісів Українських Карпат : посібник. Львів: Піраміда, 1996. 208 с.
37. Гидрологическая изученность. Том 06. Украина и Молдавия. Выпуск 1. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1964. 240 с.
38. Гидрологические и водно-балансовые расчёты / под ред. Н.Г. Галущенко. Киев : Вища школа, 1987. 247 с.
39. Гинко С.С. Обследования и изыскания для строительства сельских ГЭС. Москва - Ленинград : Сельхозгиз, 1955. 179 с.
40. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / ред. В. К. Хільчевський. - К. : Ніка-Центр, 2007. - 184 с. - Бібліогр.: с. 156-163. - ISBN 978-966-521-445-8
41. Горбачёва Л. А., Христюк Б.Ф. Оценка однородности и стационарности рядов среднегодового стока воды рек Украины. *Всерос. гидрологический съезд* : тезы докл., 19-21 нояб. 2013 г. Санкт-Петербург : СПб., 2013. – С. 21-25.
42. Горбачова Л. О. Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України. *Український географічний журнал*. 2015. № 3. С. 16-23.
43. Горбачова Л. О., Бібік В.В. Часова однорідність характеристик водного стоку в басейні річки Боржава. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2012. Вип. 262. С.176-188.
44. Горбачова Л.О. Гідролого-генетичний аналіз просторово-часових закономірностей водного стоку річок України: методологія, тенденції, прогноз: автореф. дис. докт. геогр. наук: 11.00.07. Київ. 2017. 40 с.
45. Горбачова Л.О. Методичні підходи щодо оцінки однорідності і стаціонарності гідрологічних рядів спостережень. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2014. Т.1 (32). С.22-32.
46. Горбачова Л.О., Баужа Т.О. Динаміка середньорічного стоку води гірських річок (на прикладі Закарпатської воднобалансової станції). *Наук. пр. УкрНДГМІ*. 2011. Вип. 260. С. 175-185.
47. Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1979. 431 с.
48. Государственный водный кадастр. Ежедневные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.2, Киев. Вып. 1. 1945-2011.
49. 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.

50. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічнйи аналіз) : монографія. Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
51. Державне агентство лісових ресурсів : вебсайт. URL: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/index
52. Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000, аркуші M-34-XXIX (Сніна), M-34-XXXV (Ужгород), L-34-V (Сату-Маре). Пояснювальна записка / Міністерство екології та природних ресурсів України, ДГП «Західукргеологія», – Львів : ДГП «Західукргеологія», 2003. 96 с.
53. Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000, аркуші M-34-XXXVI (Хуст), L-34-VI (Бая-Маре), M-35-XXXI (Надвірна), L-35-I (Вішеу-Де-Сус). Пояснювальна записка / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Державна геологічна служба, НАК «Надра України», ДП «Західукргеологія», Укр. держ. геологорозвідувальний ін-т. – К. : УкрДГРІ, 2009. – 188с.
54. Державне агентство водних ресірсів України : вебсайт. URL: https://www.davr.gov.ua/
55. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты : учебник. Москва : МГУ, 1990. 304 с.
56. Железняк И. А., Радзиевская Н. Н. Внутригодовое распределение стока. Ресурсы поверхностных вод СССР. 1971, т. 6, вып. 1.
57. Железняк І. А. Внутрірічний розподіл стоку річок України : монографія. Київ : АН УРСР, 1959. 136 с.
58. Жовнір В.В., Гребінь В.В. Аналітичний огляд досліджень мінімального стоку води. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. 2018. №1(48). С. 16-24.
59. Загальна гідрологія: підручник. / за ред. В. К. Хільчевського і О. Г. Ободовського. Київ : Київський університет, 2008. 399 с.
60. Задорожная Р.Г. О влиянии средней высоты бассейна и глубины вреза на минимальный сток в бассейне Тисы. *Сб. науч. тр. ЦНИИКИВР*. 1975. С. 107-115.
61. Кайсл Ч. Анализ временных рядов гидрологических даннях. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1972. 138 с.
62. Калинин Г. П., Давыдова А.И. Исследование циклических колебаний стока рек северного полушария. *Многолетние колебания стока и вероятностные методы его расчета*. Москва : МГУ, 1967. С. 35-44.
63. Картвелишвили Н. А. Стохастическая гидрология : монография. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1975. 162 с.
64. Керівництво для підготовки Планів управління посухами. Глобальне водне партнерство Центральної та Східної Європи. 2015. 48 с.
65. Киндюк Б.В. Гидрографическая сеть и ливневой сток рек Украинских Карпат: монография. Одесса : ТЕС, 2003, 220 с.

66. Киндюк Б.В. Гідрографічна мережа та зливовий стік річок Українських Карпат : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра геогр. наук : 11.00.07. Київ, 2004. 30 с.
67. Кирилюк М. І. Водний баланс і якісний стан водних ресурсів Українських Карпат : монографія. Чернівці : Рута, 2001. 246 с.
68. Клибышев К.П., Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. Ленинград : Гидрометиздат, 1970. 460 с.
69. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
70. Ковалевский В.С. Многолетняя изменчивость ресурсов подземных вод : монография. Москва : Наука, 1983. 205 с.
71. Колпачева М.П. Об определении сезонного стока заданной обеспеченности при расчете внутригодового распределения стока рек ЦЧО. *Сб. работ по гидрологии*. 1970. №9. С.62-70.
72. Комлев А.М. Исследования и расчеты зимнего стока рек (на примере Западной Сибири). – Москва: Гидрометеоиздат, 1973. – 200 с.
73. Комплексний атлас України / ред. В. В. Молочко, ред. В. О. Прокоп'єва. Київ : ДНВП "Картографія". 2005. - 96 с.
74. Кочерин Д.И. Низкие и наименьшие расходы воды на территории Европейской части СССР. *Труды Московского института инженеров транспорта*. 1929. Вып. XI.
75. Кравчук Я. С. Геоморфологія Полонинсько-Чорногірських Карпат : монографія. Львів : ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. 188 с.
76. Кравчук Я. С. Геоморфологія Скибових Карпат : монографія. Львів : ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2005. 232 с.
77. Кравчук Я. С., Хомин Я.М. Геоморфологія Вулканічного пасма Українських Карпат : монографія. Львів : ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. 189 с.
78. Краснюк М.Г., Лившиц И.М. Расчет многолетних колебаний минимального стока. *Водное хозяйство Белоруссии*. 1971. Вып.1. С.20-29.
79. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком : монография. Москва. 1981. 255 с.
80. Курдов, А.Г. Минимальный сток рек (основные закономерности формирования и методы расчета) : монография. Воронеж : ВГУ, 1970. 252 с.
81. Лаликін М.В., Ревера О.З. Гідрологічні та водогосподарські розрахунки : монографія. Київ : Вища школа, 1973. 200 с.
82. Левчак О.Ю., Лета В.В., Осійський Е.Й. Гідроекологічна характеристика Верхньої Тиси (в межах Закарпатської області). *Наук. вісник Ужгородського ун-ту. Серія: Географія. Землеустрій. Природокористування*. 2013. Вип. 2. С. 13–20.

83. Лобода Н. С., Хохлов В.М., Божок Ю.В. Оцінка характеристик посушливості Закарпаття в сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2011. Т. 2. С. 49-56.

84. Лобода Н.С. Расчеты минимального стока зимней межени Верхнего Днестра на основе метода множественной регрессии. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2004. Вип. 48. С. 468-472.

85. Лукянець О.І., Ободовський О.Г., Гребінь В.В., Почаєвець О.О. Середній річний стік води в межах районів річкових басейнів України. Дунай. *Conference of the danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*. 2019. V.28 p. 42.

86. Лучшева А.А. Практическая гидрология : монография. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1976. 440 с.

87. Лысенко К. А. Колебания минимального стока рек Украины. *Труды УкрНИГМИ*. 1969. Вып. 76. С. 131-135.

88. Лысенко К. А. Минимальный сток малых рек Карпат и его расчеты. *Труды УкрНИГМИ*. 1976. Вып. 149. С. 130-141.

89. Лысенко К.А. Минимальный сток рек Украины и Молдавии. *Труды УкрНИГМИ*. 1966. Вып. 64. С. 143–154. 17.

90. Малиновський К. А. Рослинність високогір'я Українських Карпат : монографія. Київ : Наук. думка, 1980. 280 с.

91. Маринич О. М., Шищенко П.Г. Фізична географія України : підручник. Київ : Знання, 2003. 479 с.

92. Международный гидрологический словарь. 2-е изд. Женева: ВМО, 1992. 414 с.

93. Метеорологический ежемесячник. – Часть I. Выпуск 10. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1971 – 2015.

94. Метеорологічні щорічники та щомісячники. ЦГО, 1971-2015

95. Методика визначення екологічно допустимих рівнів відбору води з річок з метою збереження сталого функціонування їх екосистем / ред.Яцик А.В. Київ, 2002. 48 с.

96. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Математичні методи в гідрометеорології» для студентів географічного факультету. Київ, 2010. 52с.

97. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. Санкт-Петербург : ГУ «ГГИ», 2010. 103 с.

98. Методические рекомендации по сохранению водности малых рек на территории УССР. Київ, 1990. 30 с.

99. Національний атлас України. Київ : Картографія, 2007. 440 с.

100. Національний план управління басейном р. Тиса. URL : http://buvrtysa.gov.ua/download/National %20plan%203.0.pdf.
101. Ніколайчук В.І., Вакерич М.М., Шпонтак, М.К. Карпюк. Сучасий стан водних ресурсів Закарпаття. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. 2015. 23(2). С.116-123.
102. Норватов А.М. Минимальный сток малых рек Европейской территории СССР. *Труды ГГИ*.1956. Вып. 67. С. 55-62.
103. Ободовський О .Г. Почаєвець О. О. Заварзін М. А. Оцінка зв'язків мінімального та середнього стоку води річок Українських Карпат. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 1. С. 60-69.
104. Ободовський О. Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О. Загальний гідроенергетичний потенціал річок Українських Карпат. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2017. 1(66)/2 (67) С. 15-28.
105. Ободовський О. Г., Лук'янець О.І., Коноваленко О.С., Корнієнко В.О. Середній річний водний стік річок Українських Карпат та особливості його територіального розподілу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 4. С. 25-32.
106. Ободовський О. Г., Сурай К.С., Почаєвець О.О. Оцінка мінімального стоку води річок суббасейну Ужа (басейн річки Тиса). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2018. № 2. С. 6-15.
107. Ободовський О., Данько К., Почаєвець О., Ободовський Ю. Методика встановлення гідроенергетичного потенціалу річок (на прикладі річок українських Карпат). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. 2017. 1 (64). С. 5-12.
108. Ободовский А.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів на прикладі річок України : монографія. Київ : Ніка-Центр, 2001. 274 с
109. Ободовський А.Г. Данько К.Ю., Почаевец Е.А. та ін. Гидрологические исследования и прогноз гидроэнергетического потенциала рек Украинских Карпат в условиях изменения климата. *Водные ресурсы и климат*: мат. док. V Межд. водного форума. С.245-249.
110. Ободовський О.Г., Онищук В.В., Почаєвець О.О. Перспективи використання гідроенергетичного потенціалу на річках басейну Дніпра (на прикладі р.Рось). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2019. 1(84). С.56-62.
111. Ободовський О.Г. Почаєвець О.О. Кривець О.О. Визначення придатних до використання ділянок річок з урахуванням територій природно-заповідного фонду в межах регіону Українських Карпат. *Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони* : мат. міжн. наук.сем. 2018. С.266-271.

112. Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О. Методичні положення встановлення гідроенергетичного потенціалу річок. *Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд* : зб.наук.праць. 2017. С.156-158.

113. Ободовський А.Г., Данько К.Ю., Почаевець Е.А. Оценка современных колебаний водности рек Украинских Карпат в условиях изменений климата. *Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата*: мат. междунар.науч.конф. 2016. с.25-28.

114. Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О. та ін. Гідроекологічна оцінка та прогноз енергетичного потенціалу річок Українських Карпат. *Соціум і науки про Землю*: мат. міжн. каук.-практ. конф. 2017. с.45-47.

115. Ободовський Ю.О., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г. Гідроморфоекологічна оцінка руслових процесів річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України): моногорафія. Київ : Прінт сервіс, 2018. 193с.

116. Определение расчетных гидрологических характеристик СниП 2.014-83 (Гос. комитет СССР по делам строительства). Москва, 1983. 97 с.

117. Основы геоинформатики : монография / ред. В. С. Тикунова. Москва : ИЦ «Академия», 2004. 352 с.

118. Оцінювання однорідності рядів стокових характеристик річок районів річкових басейнів та суббасейнів України. В. В. Гребінь та ін. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 1. С. 36-50.

119. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів : підручник у 2-х ч. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2010. Ч. ІІ. 286 с.

120. Поляков Б.В. Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на реках малых бассейнов : монография. Москва : Госэнергоиздат,1948. 303 с.

121. Попов О.В. Подземное питание рек. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1968. 290 с.

122. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1984. 448 с.

123. Почаєвець О.О., Ободовський О.Г. Оцінка впливу основних гідрографічних характеристик водозборів річок бассейну Тиси (в межах України) на формування мінімального стоку води. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2018. № 4. С. 76-86.

124. Почаєвець О.О. Встановлення величини екологічно-допустимого використання водних ресурсів на річках в басейні Тиси. *Молоді науковці – географічній науці* : мат. Всеукраїнська наук.-практ. Конф. 2016. с.32-36.

125. Почаєвець О.О. Дослідження мінімального стоку: ретроспектива, огляд, перспектива. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. Т 4. С. 76-86.

126. Почаєвець О.О. Забезпеченість мінімальних витрат води річок басейну Тиси в межах України. *Молоді науковці – географічній науці*: мат. всеукр. наук.-практ. конф. 2015. С.25-28.

127. Почаєвець О.О. Мінімальний стік річок басейну Тиси як складова забезпечення раціонального водокористування. *Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень* : мат. всеукр. наук.-практ. конф. 2018. С.133-136.
128. Почаєвець О.О. Ободовський О.Г. Використання ГІС для оцінки просторового розподілу мінімального стоку води річок басейну Тиси в межах України. *Фізична географія те геоморфологія*. 2019. Вип. 95 (3). С.18-25.
129. Почаєвець О.О. Розлач З.В. Паводки на річках басейну Стрия та їх вплив на морфологічні зміни русел. *Меліорація і водне господарство*. 2014. Вип. 101. С. 259-272.
130. Почаєвець О.О., Сурай К.С. Карти мінімального стоку води для басейну Тиси в межах України. *Шевченківська весна* : мат. міжн. наук.-практ. конф. 2019. С. 43-47.
131. Почаєвець О.О., Сурай К.С. Карти розподілу мінімального стоку води для суббасейну р.Уж (басейн Тиси). *Молоді науковці* – географічній науці : мат. всеукр. наук.-практична конф. 2017. С 5-9.
132. Природа Закарпатської області : монографія / ред. Геренчук К.І. Львів: Вища школа, 1981. 156 с.
133. Природа Украинской ССР. Почвы Украинских Карпат / ред. Вернандер Н. Б. Киев : Наук. думка, 1986. С. 145–171.
134. Природа Украинской ССР. Т. 1. Климат / ред. Бабиченко В.Н. Київ : Наук. Думка, 1984. 232 с.
135. Природа Українських Карпат / ред. К. І. Геренчука. Львів : вид-во Львівського ун-ту, 1968. 266 с.
136. Распопов М.П. Районирование подземных вод равнины Европейской части СССР по условиям их стока в реки. *Труды ГГИ*. 1950. Вып. 27 (81). С. 5–56.
137. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып. 1 Западная Украина и Молдавия. Ленинград : Гидрометиздат, 1969. 884с.
138. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 6. Украина и Молдавия. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1978. 491 с.
139. Речной сток и геофизические процессы. Связи, цикличность и предвидение : монография / ред. Т. Л. Золотарев. Москва : Наука, 1966. 295 с.
140. Рождественский А. В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1977. 271 с.
141. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1974. 424 с.
142. Ромась І.М. Оцінка гідролого-гідрохімічних характеристик мінімального стоку річок басейну Дніпра (в межах України) : дис... канд. геогр. Наук. Київ, 2004. 185 с.
143. Ромась І.М. Періоди мінімальної середньої добової водності в басейні Дніпра в межень. Наук. *Праці УкрНДГМІ*. 2003. Вип.251. С.38-42.

144. Рудько Г. І., Лущух Р.Й. Аналіз причин та прогноз розвитку небезпечних геологічних процесів в Карпатському регіоні. Екологічні та соціально-економічні аспекти катастрофічних стихійних явищ у Карпатському регіоні (повені, селі, зсуви). Рахів, 1999. С.297-302.

145. Рудько Г.І., Консевич Л.М. Наукові основи екологічної оцінки та оптимального використання гідроресурсів Карпатського регіону України : монографія. Київ : Знання, 1998. 137 с

146. Сакович, В.М. Исследование роли эрозионного вреза в формировании минимального стока рек (на примере рек бассейна р. Шелони). *Водные ресурсы Северо-Западного региона России*: сб. науч. тр. РГГМУ. СПб : РГГМУ, 1999. Вып. 121. С. 45–48.

147. Самойленко В.М. Географічні інформаційні системи та технології: підручник. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 448 с.

148. Самойленко В.М., Даценко Л. М., Діброва І.О. Проектування ГІС: Підручник (англ.. і укр.) – Київ : ДП «Принт Сервис», 2015. – 256 с.

149. Семенова І.Г. Оцінка просторово-часового розподілу посух в закарпатському регіоні в короткостроковій перспективі до 2050 року. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. вип. 18. С.29-37

150. Сибирцева Л.А. Минимальный сток и его распределение на Европейской части СССР. Исследования рек СССР. 1937. Вып. 10.

151. Сливка Р. О. Геоморфологія Вододільних Карпат : монографія. Львів : ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. 152 с.

152. Соколовский Д.Л. Применение кривых распределения к установлении вероятных колебаний годового стока рек Европейской части СССР : монография. Ленинград : Гостехиздат,1930. 77 с.

153. Соловей Т. В. Умови формування та розрахунки мінімального стоку води річок басейну Пруту (у межах України). *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2003. Вип. 252. С. 33-39.

154. Соловей Т.В. Характеристика мінімального стоку річок басейну Прута. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*: тези доп. II Всеукр. наук. конф. Київ : Ніка-Центр, 2003. С. 76-77.

155. Соседко М. Н. Исследование циклических колебаний дождевого стока в бассейне Днестра. *Тр. УкрНИГМИ*. 1974. Вып.127. С.16-37.

156. Сосєдко М. М. Лук'янець О. І. Можливості оцінювання річкового стоку в Карпатах на найближчі роки з урахуванням його багаторічних коливань. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 1998. Вип. 246. С. 46-55.

157. Спосіб регулювання мінімального стоку гірських річок / Онищук В.В., Ободовський О.Г., Почаєвець О.О. Патент на корисну модель № 130190 від 26.11.2018, Бюл.№ 22.

158. Стеженская И.Н. Сезонный сток рек Западно-Сибирской равнины : монография. Ленинград: Гидрометиздат, 1971.
159. Сусідко М.М. Карпати – паводконебезпечний район України. Комплексна басейнова система. Прогнозування паводків у Закарпатті: методична та технологічна база її складових : монографія. Київ : Ніка-Центр, 2009. 88 с.
160. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Паводки в Карпатах – причини їх виникнення та повторюваність. *Стихійні явища у Карпатах* : мат. міжн. конф. Рахів. 1999. С.316-320.
161. Тепловой и водный баланс Украинских Карпат : монография / ред. Л. И. Сакали. Ленинград : Гидрометиздат, 1985. 365 с.
162. Урываев В.А. Обеспеченность расходов в году рек Европейской части СССР. *Труды НИУ ГУГМС*. 1941. Вып.2. С.53-71.
163. Физико-географическое районирование Украинской СССР : монография / ред. В.П. Попова, А.М.Маринича, А.И. Ланько. Киев: Изд-во Киевского университета, 1968. 684с.
164. Флора і рослинність Карпатського заповідника : монографія / Стойко С. М., Тасєнкевич Л. О., Мілкіна Л. І та ін. Київ : Наук. думка, 1982. 220 с.
165. Хільчевський В. К. Гончар О.М. Характеристика гідрохімічного режиму річок басейну Дністра. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2011. Т. 3. С. 126-137.
166. Хороняк Е. С., Лобода Н.С. Расчеты минимального стока зимней межени Верхнего Днестра на основе метода множественной регрессии. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2004. Вип. 48. С. 468-472.
167. Христофоров А. В. Надежность расчетов речного стока : монография. Москва : Изд-во МГУ, 1993. 166 с.
168. Христофоров А. В. Теория случайних процесов в гидрологии : монография. Москва : МГУ, 1994. 143 с.
169. Цепенда М. В. Мінімальний стік карпатських і подільських допливів Дністра як індикатор їх екологічного стану. Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету. Сер. географія. 2004. № 2, ч. 1. С. 114–119.
170. Цись М.П. Геоморфологія УРСР : монографія. Львів: Львівський університет, 1962. 244с.
171. Чеботарев Н.П. Теория и метод определения минимального стока. *Труды всесоюзного совещания по изучения стока, регулирования стока и зимнему режиму*. Москва. 1954.
172. Чіппінг Г.О., Лисенко К.А. Річний та мінімальний стік на території України : монографія. Київ: АН УРС, 1959. 164 с.
173. Чорноморець Ю.О. Внутрірічний розподіл стоку річок Українських Карпат. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2003. т.5. С. 165-169.

174. Ющенко Ю. С., Настюк М.Г. Вплив зливових опадів на формування високих паводків у басейнах Верхнього Пруту та Сірету. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. - 2012. - Т. 2. - С. 30-37.
175. Ющенко Ю. С. Загальна гідрологія : підручник. Чернівці : Чернів. нац. ун-т, 2017. – 591 с.
176. Arnell N.W. Changing frequency of extreme hydrological events in northern and western Europe. *FRIENDS in Hydrology, IAHS Publications*,1989. No.187. P.237-249.
177. ASTER GDEM Validation Team. ASTER Global DEM v.1 Validation Summary Report. – METI/ NASA, 2009. – 28 p.
178. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems / Richter B.D. Conservation Biology, 1996. 10(4), 1163-1174.
179. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network / Richter B.D. et al. *Regulated Rivers: Research & Management*.1998 14, 329-340.
180. Bossard M. et al. CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. *Technical report No 40*. – Copenhagen: EEA, 2000. – 105 p.
181. Bruy, D. Svidzinska D. QGIS By Example. Birmingham: Packt Publishing, 2015. 320 p.
182. Cimmery V. User Guide for SAGA. 2010. Vol. 1. 393 p.
183. Climate monitoring data application in the technological regional assessment scheme and simulation of water flow / Snizhko et al. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. 2019 V.XIII.
184. Conrad O., Bechtel B., Bock M. et al. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 Geosci. Model Dev. 2015. N 8. P. 1991–2007
185. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m. / Buchhorn, M., et al. 2015. Globe (Version V2.0.2). DOI: 10.5281/zenodo.3243508
186. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the european climate assessment / Klein Tank et al., Int. J. Climatol., 2002. 22(12):1441–1453.
187. Dracup J.A., Lee K.S.,Paulson E.G.Jr. On the definition of droughts. *Water Resour.Res.*, 1980. Vol.16(2). P.297-302.
188. Earth Explorer. USGS.URL: http://earthexplorer.usgs.gov.
189. Fairfield J., Leymarie P. Drainage networks from grid digital elevation models. *Water Resources Research*.1991. 27(5). P. 709-717.
190. Guidelines for the Compilation of a 1:2,500,000 SOTER Database (SOVEUR Project) N.H. Batjes and V.W.P. Van Engelen (eds)
191. Global Datasets: Elevation Data. GRASS GIS Users Wiki, 2008. URL : http://grasswiki.osgeo.org/wiki/Global_datasets#Elevation_data.

192. Gorbachova L.O., Nabyvanets Yu.B. Forecasted estimations of runoff change in the Dniester Basin under conditions of climate change. *EGU Leonardo 2012, "Hydrology and Sosiety"*. 2012. 87 p. URL : www.Eguleonardo2012polito.it/stuff/Abstracts_Book.pdf.
193. Hisdal H., Tallaksen L. M. Drought event definition. *Technical Report to the ARIDE project*. University of Oslo, Norway, 2002. No. 6.
194. How much water does a river need? / Richter B.D. et al. *Freshwater Biology*, 1997. 37, P.231-249.
195. Hydrological drought characteristics. In: Hydrological Drought Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater (ed. by L. M. Tallaksen & H. A. J. Van Lanen). *Developments in Water Science*, 48, Elsevier Science BV, The Netherlands. 2014. P. 139–198.
196. Impact of land-use, climatic change and groundwater abstractions on streamflow droughts using physically-based models / Querner E. et al. *FRIEND'97 – Regional Hydrology:concepts and models for sustainable ater Resourse Management*. 2006. No.246. P.171-179.
197. Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1. User`s Manual. The Nature Conservancy, 2009. URL : https://www.coservationgateway.org/ConversationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofhydrologicAlteration/.
198. Liebscher H.J. The use of long-term river level and discharge records in the study of climatic variations in the Federal Republic of Germany. *Proceedings of the Symposium on Variations in the Global Water Budget*. Reidel, Oxford, 1983. P.173-184.
199. Luk'yanets O. Sosedko M. Die Abflussbewertung auf nächste Jahre in den Karpaten unter Berücksichtigung der mehrjährigen Abflussschwankungen. Konferenz der Donauländer : Sammelband der XIX. Osijek, 1998. S. 393-401
200. Lukianets O. Obodovskyi Iu. Spatial, Temporal and Forecast Evaluation of Rivers' Streamflow of the Drainage Basin of the Upper Tisa under the Conditions of Climate Change. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2015. No. 71(1). P. 36-46.
201. Majercakova O., Fendekova M., Leskova D. The variability of hydrological series due to extreme climate conditions and possible change of the hydrological characteristics with respect to potential climate change. *FRIEND'97 – Regional Hydrology:concepts and models for sustainable Water Resource Management*. 1997. No.246. P.59-66.
202. Obodovskyi O., Danko K., Pochaievets O. Assessment of hydropower potential of the Tisza river basin. *Journal of Education, Health and Sport*. 2017;7(5):497-504. DOI http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.800727
203. Olaya V. A gentle introduction to SAGA GIS, 2004. 216 p.
204. OpenStreetMap / GIS-Lab / Geofabrik. URL : http://gis–lab.info/projects/osm_shp/region та http://download.geofabrik.de/europe/ukraine.html.

205. Opperman, J. Indicators of Hydrologic Alteration analysis for the Patuca River. 2006.
206. Opperman, J. Preliminary IHA analysis for the Middle Fork Willamette River at Jasper OR. 2006
207. QGIS user guide. Вебсайт. URL :https://docs.qgis.org/3.4/en/docs/user_manual/
208. Reilly C. Kroll N. Estimation of 7-day, 10-year low-streamflow statistics using baseflow correlation. *Water resources research*. 2003. №30. p. 1–10.
209. Smakhtin V.Y., Watkins D.A. Low-flow estimation in South Africa. *Water Research Comission Report*. 1997. No.494 (1). 97p.
210. Smakhtin,V.Y. Low flow Hydrology: a rewiew. *J.Hydrol*. 2001. 240. P.147-186.
211. Telis P.A. Improving estimates of low-flow characteristics for streamflow stations affected by climatic cycles. *Proceedings of the 20th Mississippi 160 Water resources Conference. Jackson, Mississippi*: Water Research Institute, Mississippi State University. 1990. P.37-40.
212. The Global Runoff Data Centre, 56068 Koblenz, Germany URL : https://www.bafg.de/GRDC/EN/01_GRDC/13_dtbse/database_node.html
213. Tokarczyk T. Classification of Low Flow and Hydrological Drought for a River Basin. *Acta Geophysica*. 2013. №61. P. 404–421.
214. Use remote sensing for estimation hydropower potential of the rivers of the Ukrainian Carpathians. Obodovskiy O. et al. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*. 2019, № 15867.
215. Wilby R., Greenfield B., Glenny C. A coupled synoptichydrological model for climate change impact assessment. *J.Hydrol*. 1994. Vol.153. P.265-290.
216. Wood T.R. Present-day hydrology of the River Severn. *Paleohydrology in Practice: A River Basin Analysis*. 1987. P.79-97.

ДОДАТКИ

Додаток А

Результати перевірки на часову однорідність мінімального стоку води за 30діб, 1 добу та 7 діб річок басейну тиси за параметричними критеріями при рівні значимості 2α=5%

№	Річка-пост	Критерії однорідності	30діб	1доба	7діб літньо-осіння межень	7діб зимова межень
1	2	3	4	5	6	7
1	Тиса –Вилок	Стьюдента, статистика *t*	1,27	1,83	3,49	0,63
		межа, *ta*	2,00	2,19	2,00	2,00
		Фішера, статистика *F*	1,48	1,1	1,06	1,02
		Fa	2,15	2,17	2,13	2,13
2	Тиса - Рахів	Стьюдента, статистика *t*	1,64	2,06	1,05	2,31
		межа, *ta*	2,39	2,64	2,18	2,92
		Фішера, статистика *F*	1,09	1,06	1,14	1,14
		Fa	2,14	2,17	2,09	2,67
3	Чорна Тиса-Ясіня	Стьюдента, статистика *t*	0,40	0,88	0,50	0,11
		межа, *ta*	2,48	2,66	2,00	2,00
		Фішера, статистика *F*	2,49	1,90	1,25	2,36
		Fa	2,23	2,28	2,15	2,15
4	Біла Тиса – Луги	Стьюдента, статистика *t*	1,27	2,29	1,18	2,49
		межа, *ta*	2,19	2,00	2,67	2,67
		Фішера, статистика *F*	1,54	2,40	2,61	2,06
		Fa	2,17	2,15	2,77	2,77
5	Тересва – Усть Чорна	Стьюдента, статистика *t*	4,59	4,50	3,55	4,73
		межа, *ta*	2,64	2,64	2,64	2,66
		Фішера, статистика *F*	1,72	1,28	1,69	2,86
		Fa	2,19	2,19	2,17	2,64
6	Ріка – Міжгір’я	Стьюдента, статистика *t*	1,51	1,39	0,68	0,48
		межа, *ta*	2,00	2,00	2,00	2,66
		Фішера, статистика *F*	1,22	1,80	2,09	2,42
		Fa	2,07	2,07	2,11	2,70
7	Пилипець – Пилипець	Стьюдента, статистика *t*	0,93	0,69	2,35	2,84
		межа, *ta*	2,17	2,19	2,01	2,01
		Фішера, статистика *F*	1,46	1,54	2,18	2,53
		Fa	2,17	2,19	2,25	2,23

Продовження табл. А

1	2	3	4	5	6	7
8	Боржава Довге	Стьюдента, статистика *t*	0,90	2,06	1,82	1,46
		межа, *ta*	2,64	2,64	2,66	2,00
		Фішера, статистика *F*	1,05	1,06	1,44	1,49
		Fa	2,17	2,17	2,64	2,07
9	Латориця – Підполоззя	Стьюдента, статистика *t*	0,15	1,87	1,12	0,45
		межа, *ta*	2,18	2,64	2,64	2,64
		Фішера, статистика *F*	1,29	1,44	2,09	1,51
		Fa	2,09	2,17	2,17	2,17
10	Латориця – Свалява	Стьюдента, статистика *t*	1,85	0,64	0,82	1,46
		межа, *ta*	2,41	2,41	2,41	2,41
		Фішера, статистика *F*	1,18	1,06	1,44	2,03
		Fa	2,29	2,29	2,27	2,27
11	Латориця – Мукачево	Стьюдента, статистика *t*	0,99	0,15	0,79	0,81
		межа, *ta*	2,18	2,00	2,66	2,00
		Фішера, статистика *F*	1,40	1,027	2,43	1,08
		Fa	2,09	2,078	2,64	2,07
16	Латориця – Чоп	Стьюдента, статистика *t*	0,40	0,55	0,39	0,79
		межа, *ta*	2,48	2,67	2,67	2,67
		Фішера, статистика *F*	2,49	2,26	2,08	2,31
		Fa	2,23	2,80	2,80	2,80
17	Віча - Неліпино	Стьюдента, статистика *t*	1,43	1,24	1,29	0,33
		межа, *ta*	2,41	2,19	2,67	2,67
		Фішера, статистика *F*	1,62	1,18	1,96	1,34
		Fa	2,25	2,21	2,83	2,80
18	Стара – Знецево	Стьюдента, статистика *t*	0,24	2,27	2,36	1,27
		межа, *ta*	2,00	2,40	3,24	2,00
		Фішера, статистика *F*	2,81	1,03	1,13	1,04
		Fa	2,13	2,18	2,86	2,11
19	Уж – Зарічеве	Стьюдента, статистика *t*	0,917	1,42	2,01	1,48
		межа, *ta*	2,00	2,39	1,89	1,20
		Фішера, статистика *F*	1,25	1,00	1,26	1,15
		Fa	2,07	2,12	2,08	2,14

Продовження табл. А

1	2	3	4	5	6	7
20	Уж – Жорнава	Стьюдента, статистика *t*	1,19	2,53	1,25	1,27
		межа, *ta*	2,18	2,18	2,19	2,13
		Фішера, статистика *F*	1,08	1,95	1,52	1,57
		Fa	2,15	2,15	2,45	2,46
21	Уж – Ужгород	Стьюдента, статистика *t*	2,17	3,68	2,47	2,12
		межа, *ta*	2,39	3,42	2,52	2,42
		Фішера, статистика *F*	1,57	1,31	1,56	1,47
		Fa	2,12	2,47	2,13	2,35
22	Турія - Сімер	Стьюдента, статистика *t*	1,41	1,59	1,32	1,45
		межа, *ta*	2,39	2,64	2,45	2,38
		Фішера, статистика *F*	1,37	1,03	1,25	1,02
		Fa	2,14	2,19	2,13	2,14

Дадаток А2

Результати перевірки на часову однорідність мінімального стоку води основних річок басейну Тиси в межах України за непараметричним критерієм Вілкоксона при рівні значимості 2α=5%

№	Річка-пост	Період мінімальної витрати води	Довірчій інтервал для статистики U		Емпіричне значення статистики $U_{емп}$	Результати перевірки гіпотези про однорідність ряду
			нижнє значення $U_Н$	верхнє значення $U_В$		
1	2	3	4	5	6	7
1.	Тиса – Вилок	30денний	341	619	343	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		7 днів теплого	366	657	768	
		7 днів холодного	366	657	409	
2.	Тиса - Рахів	30денний	401	754	431	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		1 день	417	807	433	
		7 днів теплого	436	788	681	
		7 днів холодного	382	842	819	
3.	Чорна Тиса- Ясіня	30денний	303	596	452	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		7 днів теплого	341	619	546	
		7 днів холодного	341	619	466	
4.	Біла Тиса – Луги	30денний	333	627	570	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		7 днів теплого	297	663	371	
		7 днів холодного	297	663	288	
5.	Косівська – Косівська Поляна	30денний	333	627	570	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		1 день	251	477	400	
		7 днів теплого	251	477	439	
		7 днів холодного	251	477	421	

Продовження таблиці А2

1	2	3	4	5	6	7
6.	Тересва – Усть Чорна	30денний	391	764	917	гіпотеза спростовується
		1 день	445	779	1009	
		7 днів теплого	417	807	885	
		7 днів холодного	393	831	1002	
7.	Ріка – Верхній Бистрий	30денний	333	627	570	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		7 днів теплого	297	663	371	
		7 днів холодного	297	663	288	
8.	Ріка – Міжгір'я	30денний	445	779	505	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		1 день	303	785	373	
		7 днів теплого	391	697	566	
		7 днів холодного	344	744	445	
9.	Пилипець – Пилипець	30денний	317	582	560	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		7 днів теплого	230	445	473	гіпотеза спростовується
		7 днів холодного	251	477	532	
10.	Боржава Довге	30денний	417	807	721	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		1 день	445	779	888	
		7 днів теплого	393	831	794	
		7 днів холодного	445	779	702	
11.	Латориця – Підполоззя	30денний	436	788	597	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		1 день	445	779	661	
		7 днів теплого	417	807	690	
		7 днів холодного	417	807	565	
12.	Латориця – Свалява	30денний	239	489	462	$U_Н<U_{емп.}<U_В$, гіпотеза не спростовується
		7 днів теплого	259	524	418	
		7 днів	259	524	471	

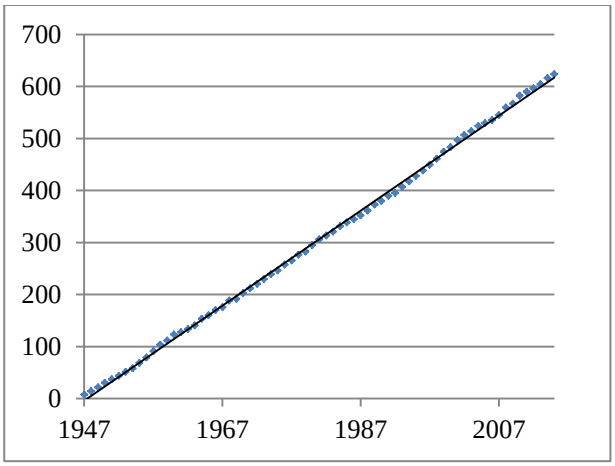
Продовження таблиці А2

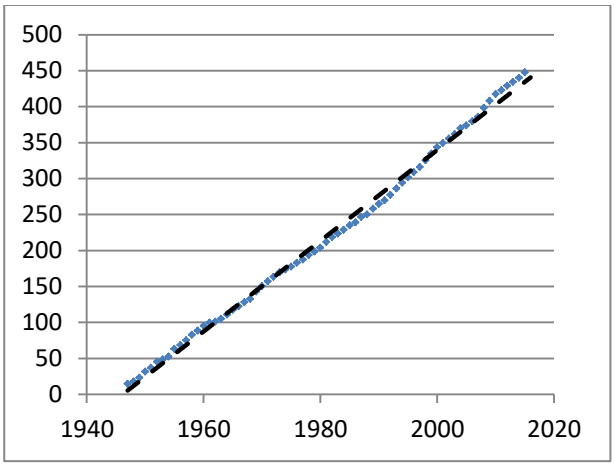
1	2	3	4	5	6	7
13.	Латориця – Мукачево	30денний	436	788	687	$U_Н<U_{емп.}<U_В$,, гіпотеза не спростовується
		7 днів теплого	393	831	633	
		7 днів холодного	445	779	690	
14.	Латориця – Чоп	30денний	276	623	420	$U_Н<U_{емп.}<U_В$,, гіпотеза не спростовується
		1 день	276	623	377	
		7 днів теплого	276	623	392	
		7 днів холодного	276	623	480	
15.	Віча - Неліпино	30денний	280	560	521	$U_Н<U_{емп.}<U_В$,, гіпотеза не спростовується
		1 день	317	582	401	
		7 днів теплого	255	585	514	
		7 днів холодного	276	623	461	
16.	Стара – Знецево	30денний	366	657	485	$U_Н<U_{емп.}<U_В$,, гіпотеза не спростовується
		За 7 днів теплого	300	723	749	гіпотеза спростовується
		За 7 днів холодного	391	697	660	$U_Н<U_{емп.}<U_В$,, гіпотеза не спростовується
17.	Уж – Зарічеве	30денний	445	779	494	$U_Н<U_{емп.}<U_В$,, гіпотеза не спростовується
		За 7 днів теплого	255	585	514	
		За 7 днів холодного	276	623	461	
18.	Уж – Жорнава	30денний	358	665	598	$U_Н<U_{емп.}<U_В$,, гіпотеза не спростовується
		За 7 днів теплого	393	831	633	
		За 7 днів холодного	445	779	690	
19.	Уж – Ужгород	30денний	427	797	401	$U_Н<U_{емп.}<U_В$,, гіпотеза не спростовується
		За 7 днів теплого	251	477	439	гіпотеза спростовується
		За 7 днів	251	477	421	

20.	Турія - Сімер	30денний	270	545	476	$U_{Н}<U_{емп.}<U_{В,}$, гіпотеза не спростовується
		За 7 днів теплого	436	788	681	
		За 7 днів холодного	382	842	819	

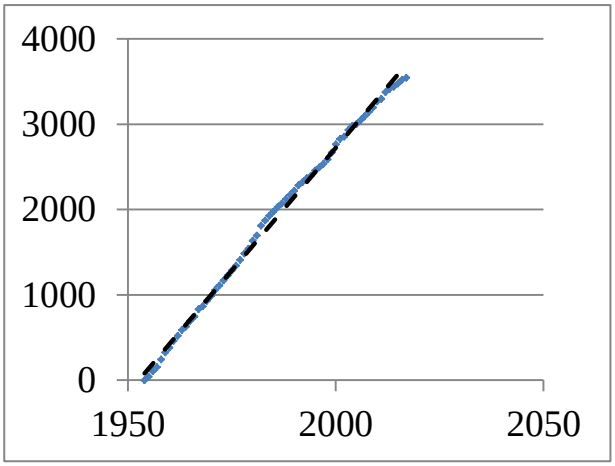
Додаток Б

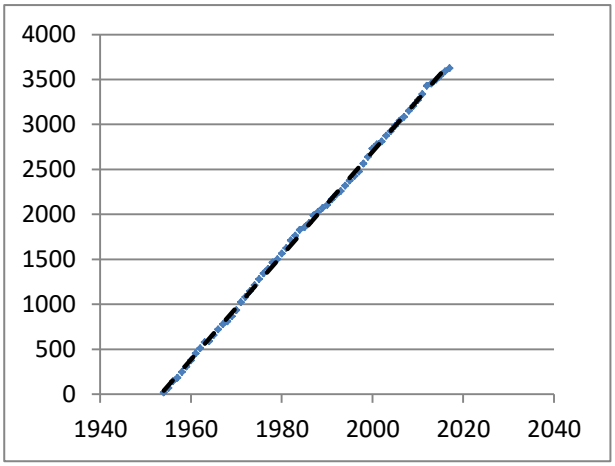
Сумарні інтегральні криві річок басейну Тиси в межах України для літньо-осіньої та зимової межені



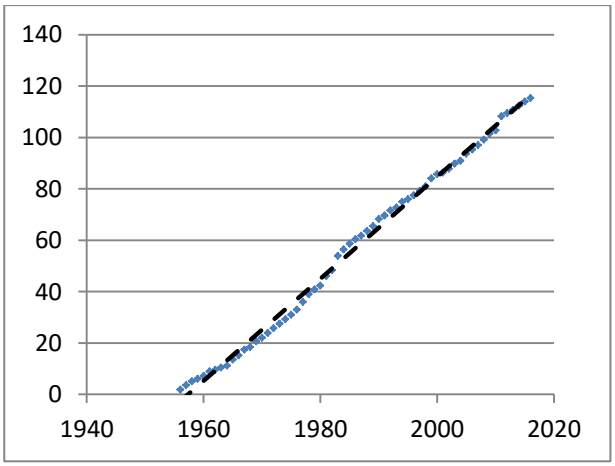


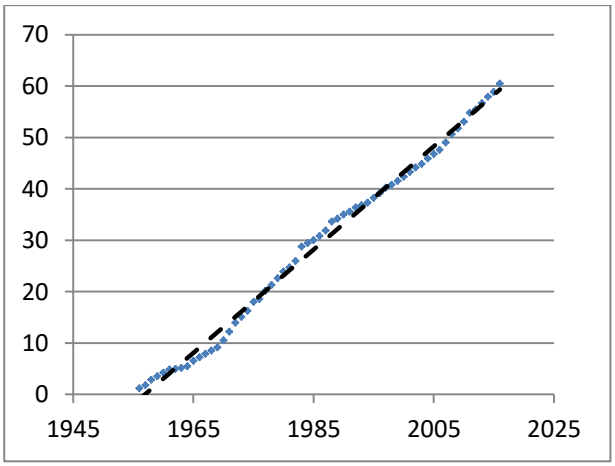
р.Тиса – Рахів



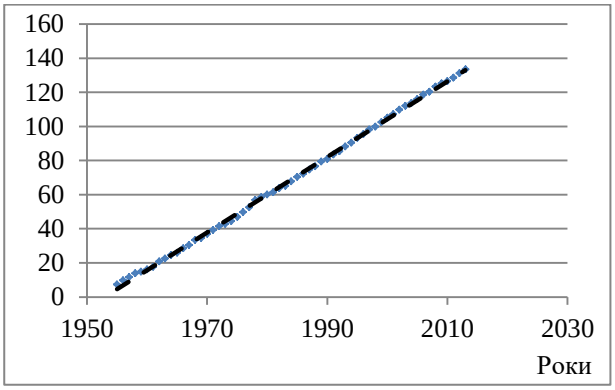


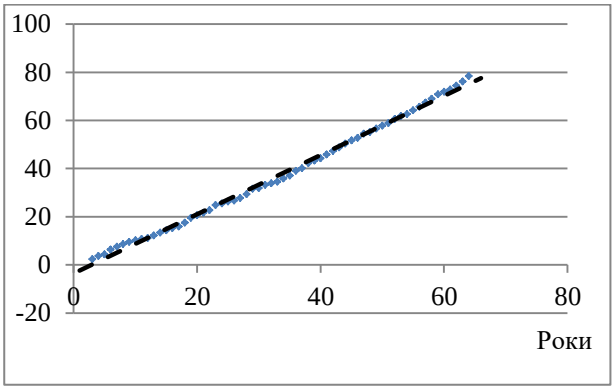
р.Тиса – Вилок



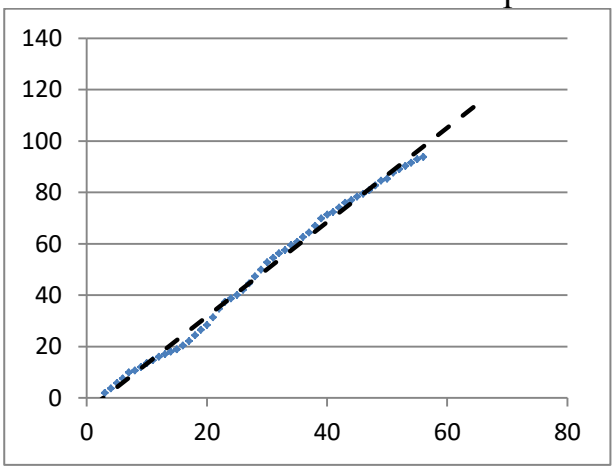


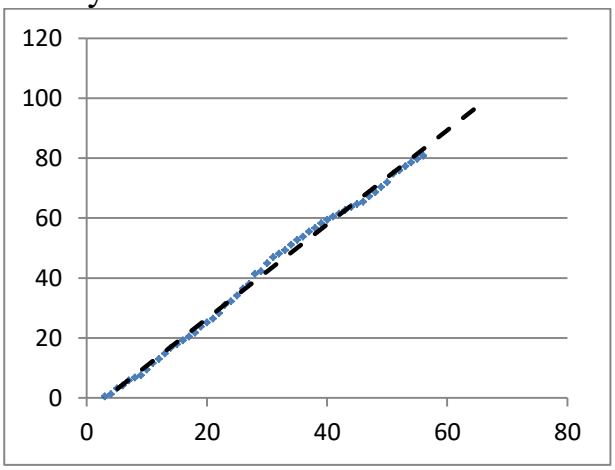
р.Чорна Тиса - Ясіня



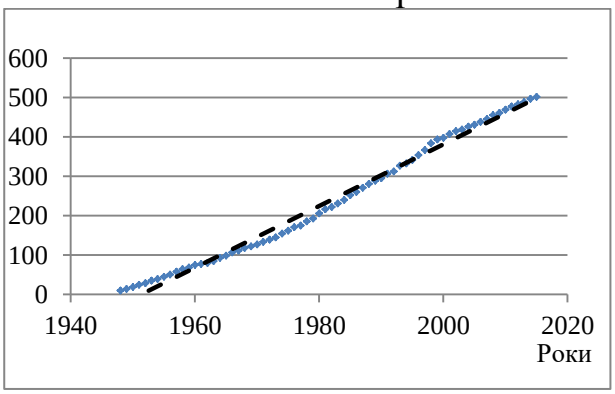


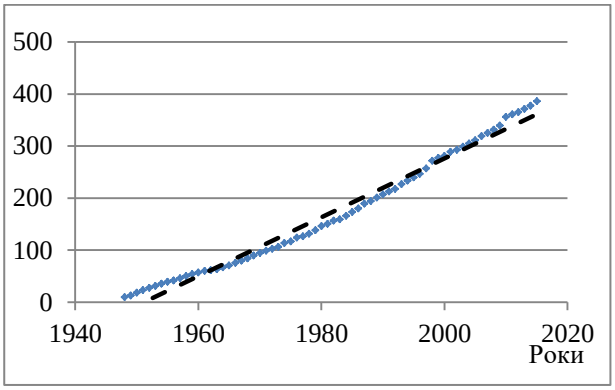
р.Біла Тиса - Луги



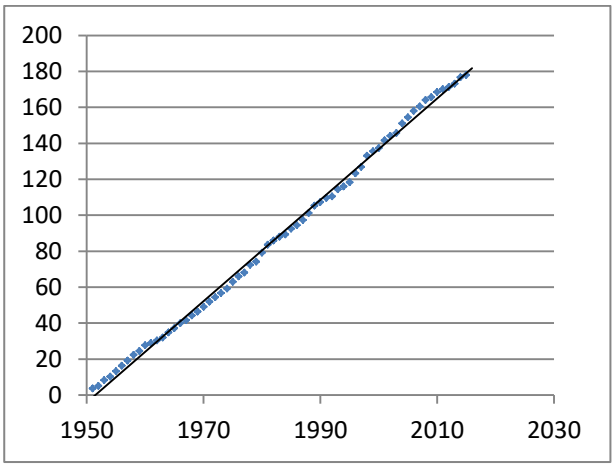


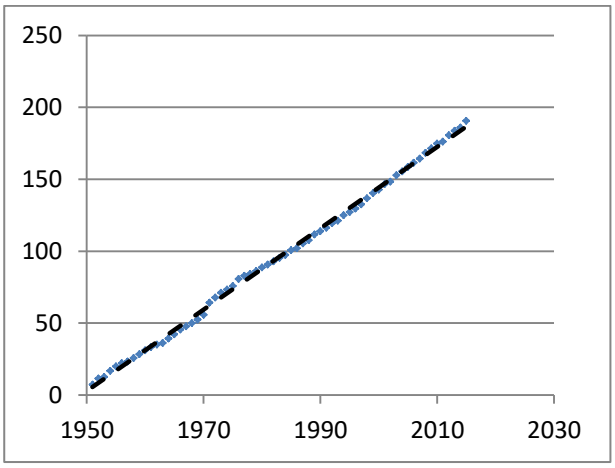
р.Косівська – Косівська Поляна



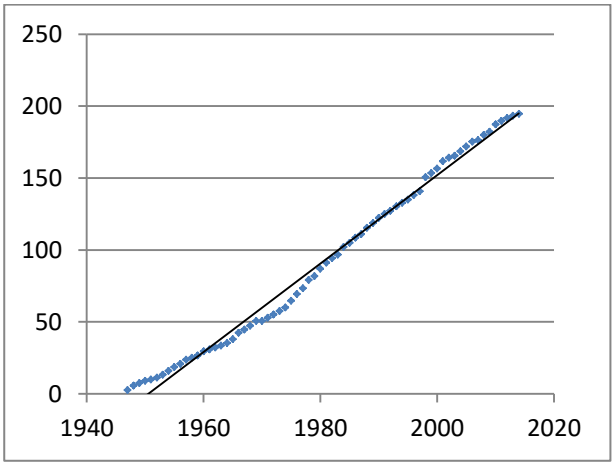


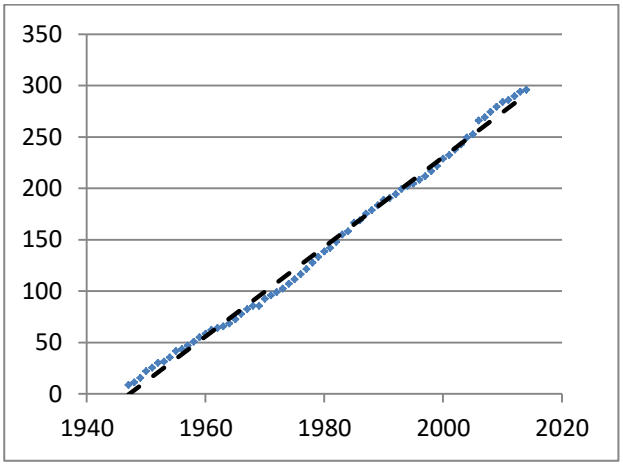
р.Тересва – Усть Чорна



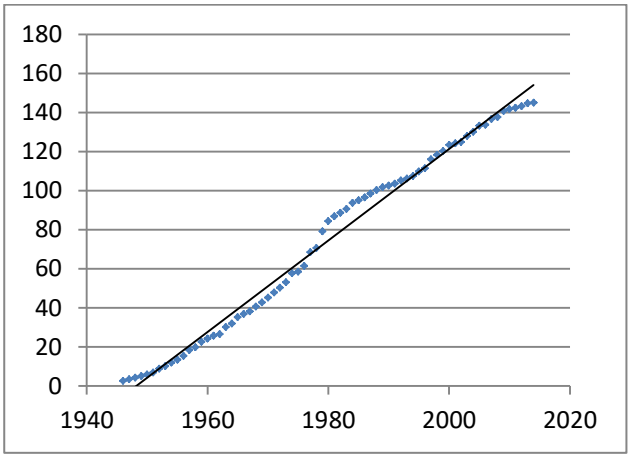


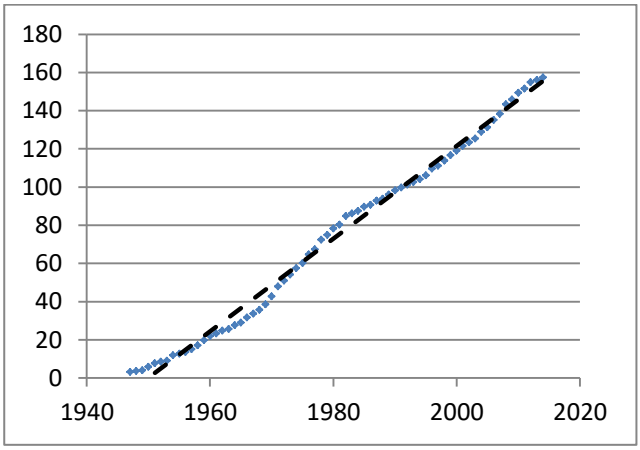
р.Ріка – Міжгір’я



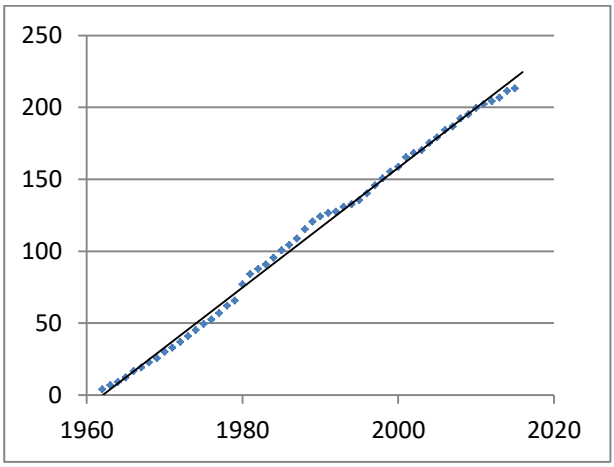


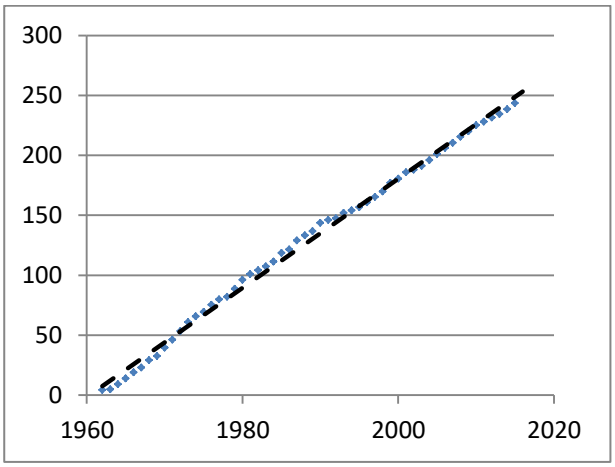
р.Боржава – Довге



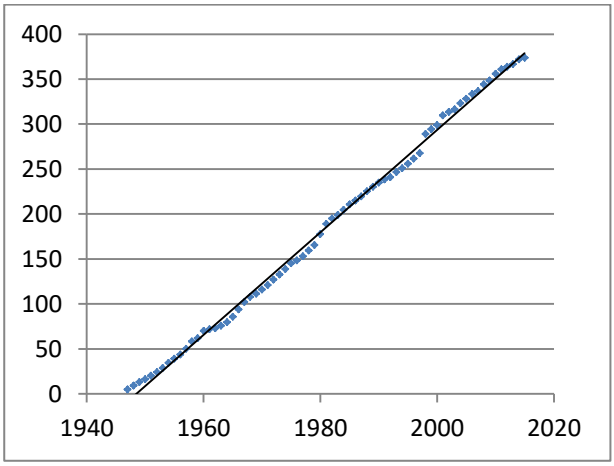


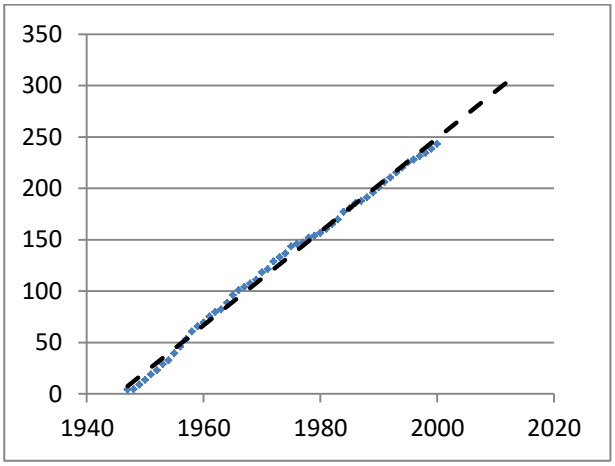
р.Латориця – Підполоззя



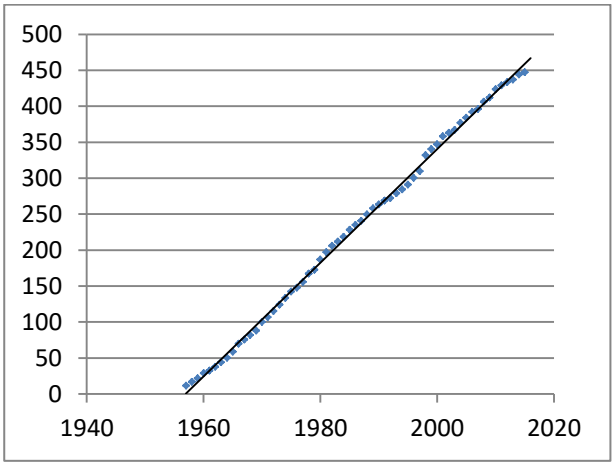


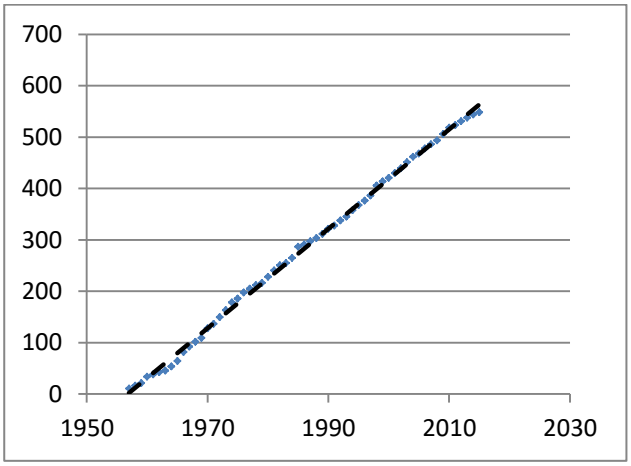
р.Латориця – Свалява



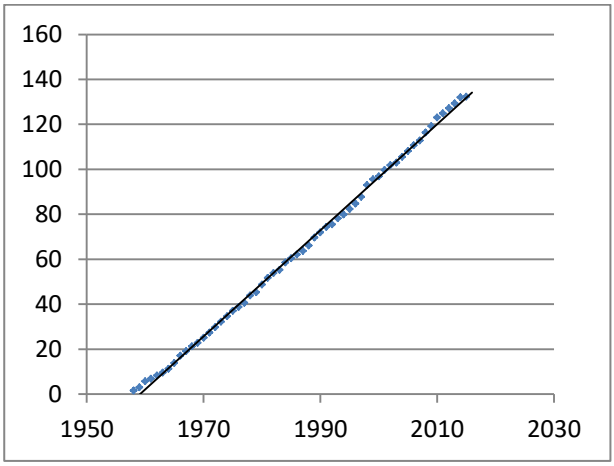


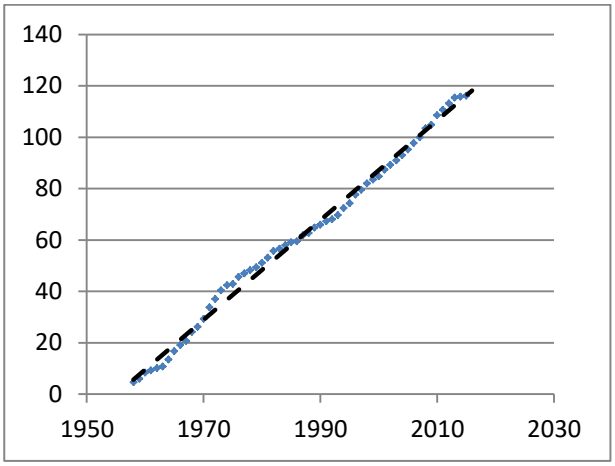
р.Латориця – Мукачеве



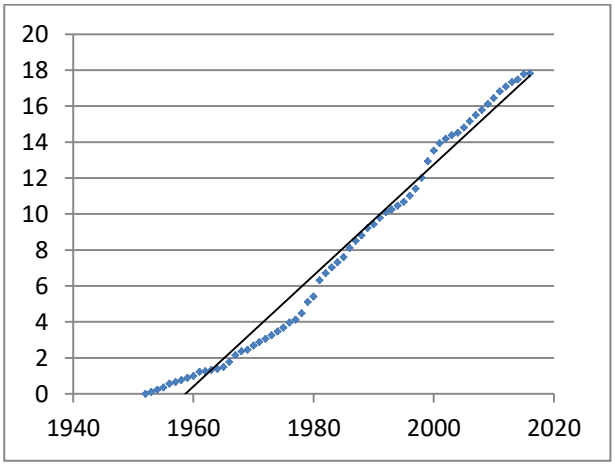


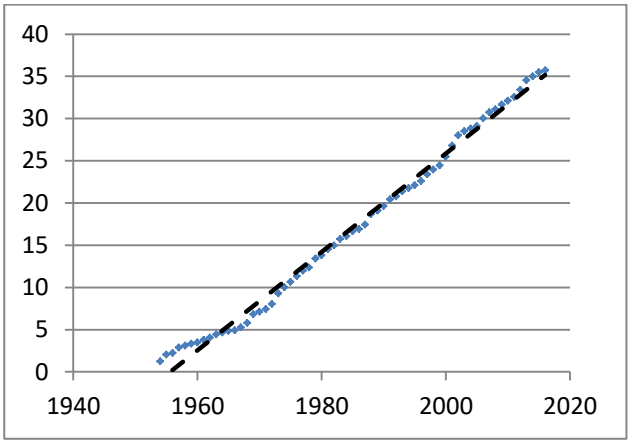
р.Латориця – Чоп



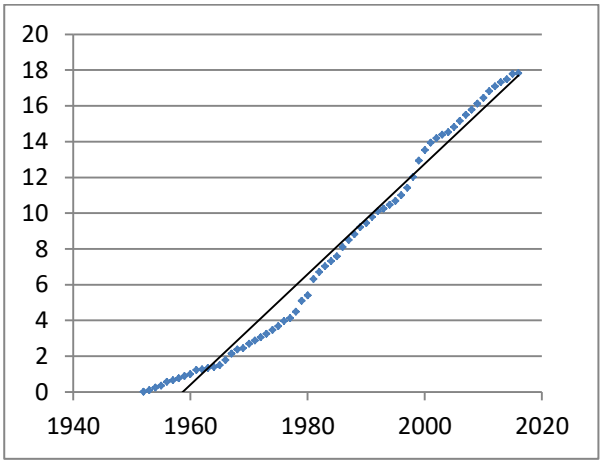


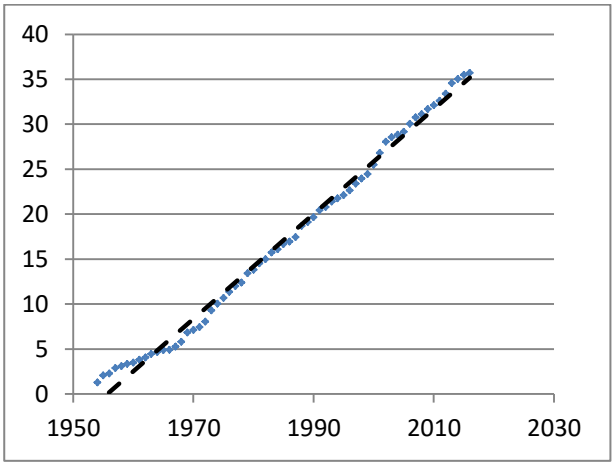
р.Віча - Неліпино



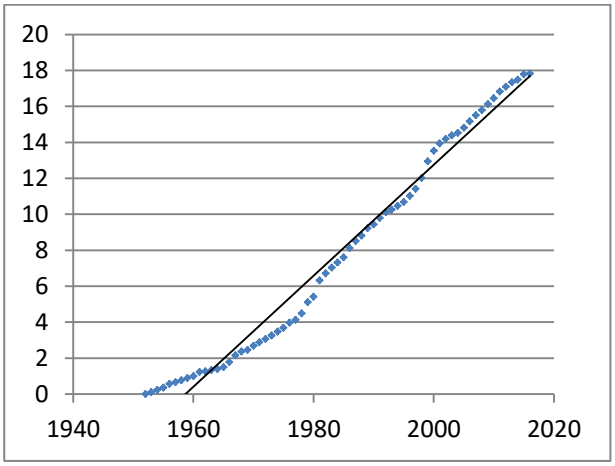


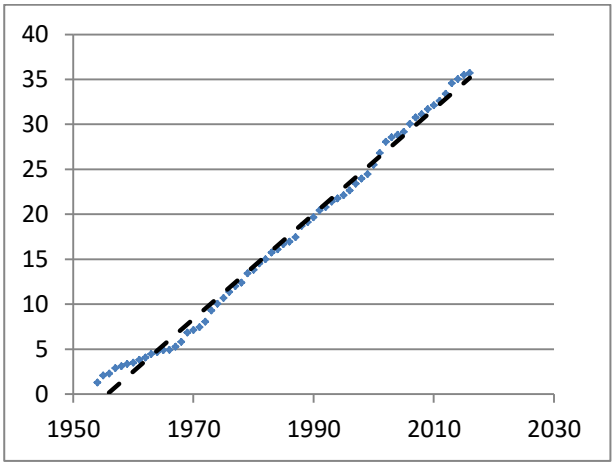
р.Стара – Зняцево



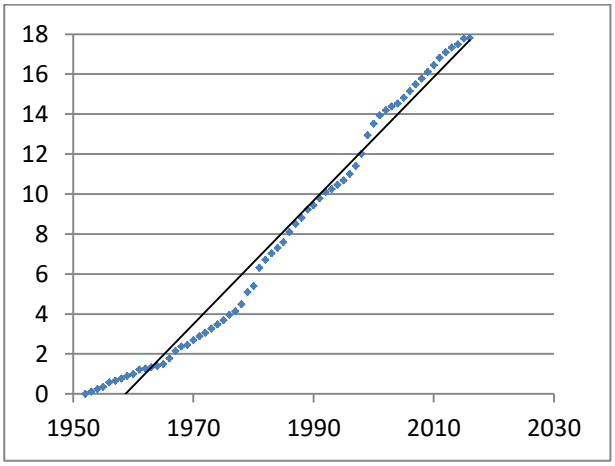


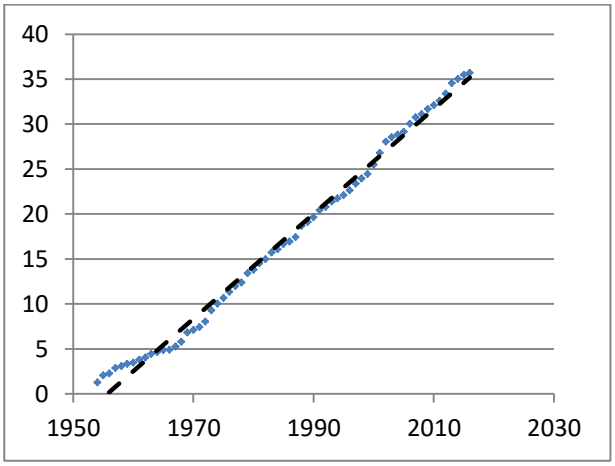
р.Уж – Жорнава





р.Уж - Ужгород





р.Турія - Сімер

Додаток В

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

9. Ободовський О.Г., Почаєвець О.О., Заварзін М.А. Оцінка зв'язків мінімального та середнього стоку води річок Українських Карпат. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 1 (40). С. 60-69. (Особистий внесок: розрахунок та аналіз співвідношень мінімального та середнього стоку).

10. Ободовський О.Г., Данько К.Ю, Почаєвець О.О., Ободовський Ю.О Методика встановлення гідроенергетичного потенціалу річок (на прикладі річок українських Карпат*). Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія.* 2017. Т.1 (64). С. 5-12. (Особистий внесок: використання геоінформаційних систем для створення картосхем, розрахунок співвідношення середнього та мінімального стоку річок).

11. Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О. Загальний гідроенергетичний потенціал річок Українських Карпат. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія.* 2017. Т.1 (66) С. 15-28. (Особистий внесок: Розрахунок показників середнього та мінімального стоку для встановлення загального гідронерегетичного потнеціалу річок басейну Тиси та розробка підходів і створення картосхем просторової зміни гідроенергетичного потенціалу).

12. Ободовський О.Г., Сурай К.С., Почаєвець О.О. Оцінка мінімального стоку води річок суббасейну Ужа (басейн річки Тиса). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2018. Т. 2 (49). С. 6-15. (Особистий внесок: Опис та оцінка отриманих результатів, візуалізація просторового розподілу модуля стоку).

13. Почаєвець О.О., Ободовський О.Г. Оцінка впливу основних гідрографічних характеристик водозборів річок басейну Тиси (в межах України) на формування мінімального стоку води. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2018. Т 4 (51). С. 76-

86. (Особистий внесок: збір вихідних даних, розрахунок та аналіз отриманих результатів).

14. Почаєвець О.О. Дослідження мінімального стоку: ретроспектива, огляд, перспектива. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. Т. 4 (55). С. 53-64.

15. Почаєвець О.О. Ободовський О.Г. Використання ГІС для оцінки просторового розподілу мінімального стоку води річок басейну тиси в межах України. *Фізична географія та геоморфологія*. 2019. Т.3 (95). С.18-25 (Збір інформації та її аналітична оцінка, побудова нових карт просторового розподілу мінімального стоку річок).

16. Гребінь В.В., Ободовський О.Г., Жовнір В.В., Мудра К.В., Почаєвець О.О. Оцінювання однорідності рядів стокових характеристик річок районів річкових басейнів та суббасейнів України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. Т. 1 (52). С. 36-50. (Особистий внесок: оцінка однорідності рядів стокових характеристик річок для басейну р.Тиси).

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

9. Obodovskiy O., Danko K., Pochaievets O. Assessment of hydropower potential of the Tisza river basin. *Journal of Education, Health and Sport*. 2017;7(5):497-504. eISSN 2391-8306. DOI http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.800727 (Особистий внесок: розробка алгоритму картування гідроенергетичного потенціалу з використанням ГІС технологій, розрахунок екологічно-обгрунтованого гідроенергетичноо потенціалу з урахуванням співвідношення між середнім та мінімальним стоком води річок басейну Тиси).

Патент України на корисну модель

10. Онищук В.В., Ободовський О.Г., Почаєвець О.О. Спосіб регулювання мінімального стоку гірських річок. Патент на корисну модель # 130190 від 26.11.2018, Бюл.№ 22. (Особистий внесок: збір та узагальнення інформації стосовно мінімального стоку гірських річок).

Опубліковані праці апробаційного характеру

11. Почаєвець О.О. Забезпеченість мінімальних витрат води річок басейну Тиси в межах України. *Молоді науковці – географічній науці* : мат. XI Всеукр. наук.-практ. конф. 2015. С.25-28.

12. Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О. Оценка современных колебаний водности рек Украинских Карпат в условиях изменений климата. *Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата* : мат. междунар.науч.конф. 2016. С.25-28. (Особистий внесок автора: розрахунок гідрологічних характеристи річок басейну Тиси).

13. Почаєвець О.О. Встановлення величини екологічно-допустимого використання водних ресурсів на річках в басейні Тиси. *Молоді науковці – географічній науці* : мат. XII Всеукр. наук.-практ. конф. 2016. С.32-36.

14. Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О. та ін. Гідроекологічна оцінка та прогноз енергетичного потенціалу річок Українських Карпат. *Соціум і науки про Землю:* мат. Між.наук.-практ. 2017. С.45-47. (Особистий внесок автора: використання ГІС для встановлення гідроенергетичного потенціалу).

15. Почаєвець О.О., Сурай К.С. Карти розподілу мінімального стоку води для суббасейну р.Уж (басейн Тиси). *Молоді науковці – географічній науці* : мат. Всеукр. наук.-практ. конф. 2017. С 5-9. (Особистий внесок автора: побудова картосхем просторового розподілу мінімального стоку води річок басейну Ужа).

16. Ободовський О.Г. Данько К.Ю., Почаєвець О.О. Методичні положення встановлення гідроенергетичного потенціалу річок. *Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд*. 2017. с.156-158. (Особистий внесок автора: розрахунок необхідного співвідношення мінімального та середнього стоку річок басейну Тиси для встановлення екологічно-допустимого гідроенергетичного потенціалу, використання ГІС для встановлення гідроенергетичного потенціалу).

17. Ободовський О.Г. Данько К.Ю., Почаєвець О.О. та ін. Гидрологические исследования и прогноз гидроэнергетического потенциала рек Украинских Карпат в условиях изменения климата. *Водные ресурсы и климат:* мат. докл. межд. водного

форума. 2017. С.245-249. (Особистий внесок автора: використання ГІС для встановлення гідроенергетичного потенціалу).

18. Ободовський О.Г. Данько. К.Ю., Онищук В., Почаєвець О.О. Гідроекологічна оцінка та прогноз гідроенергетичного потенціалу річок басейну Дніпра (в межах України). *Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології», присвячена 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України* : мат. всеукр. наук. конф. 2018. С. 206. (Особистий внесок автора: використання ГІС для картування досліджуваних характеристик)

19. Ободовський О.Г., Почаєвець О.О., Кривець О.О. Визначення придатних до використання ділянок річок з урахуванням територій природно-заповідного фонду в межах регіону Українських Карпат. *Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони* : мат. міжн. наук. семінару. 2018. С.266-271. (Особистий внесок автора: виділення меж ПЗФ в басейні р.Тиса, використання ГІС для визначення ділянок, придатних до використання)

20. Почаєвець О.О. Мінімальний стік річок басейну Тиси як складова забезпечення раціонального водокористування. *Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень* : мат. всеукр. наук.-практ. конф. 2018. С.133-136.

21. Obodovskyi, O., Pochaievets, O., Lukianets, O., Onyschuk, V., Kryvets, O. Use remote sensing for estimation hydropower potential of the rivers of the Ukrainian Carpathians. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects.* 2019, № 15867. (Особистий внесок автора: використання геоінформаційних систем, розробка структури бази даних, збір гідрологічної інформації для річок басейну Тиси).

22. Lukianets O., Obodovskyi O. Grebin V. Pochaievets O. Time series analysis and forecast estimates of the mean annual water runoff of rivers of the Prut and Siret basins (within Ukraine). *Conference of the danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*. 2019. V.28 C. 42. (Особистий внесок автора: розрахунок середнього багаторічного стоку річок басейну Тиси).

23. Snizhko S., Shevchenko O., Didovets I., Obodovskyi O., Pochaievets O. Climate monitoring data application in the technological regional assessment scheme and simulation of water flow. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition*

of the Environment. 2019 V.XIII. (Особистий внесок автора: Збір та обробка гідрологічних даних для річок басейну Тиси).

24. Почаєвець О.О., Сурай К.С. Карти мінімального стоку води для басейну Тиси в межах України. *Шевченківська весна* : мат. міжн. наук.-практ. конф. 2019. С.43-47. (Особистий внесок автора: побудова картосхем просторового розподілу мінімального стоку води річок басейну Тиси).

Статті, що додатково відображають наукові результати дисертації

25. Ободовський О.Г. Онищук В.В., Почаєвець О.О. Перспективи використання гідроенергетичного потенціалу на річках басейну Дніпра (на прикладі р.Рось). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. *Геологія.* 2019. Т.1(84). С.56-62. (Особистий внесок – використання геоінформаційних систем для створення картосхем розміщення нових високоекологічних електростанцій).

Брала участь в українських та міжнародних конференціях і з'їздах, а саме:

1. XI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Молоді науковці – географічній науці. 19-20 листопада 2015р., м.Київ, Україна (доповідь).
2. Международная научная конференция «Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата» 5-8 мая 2015г., г.Минск, Республика Беларусь (заочна участь).
3. XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Молоді науковці – географічній науці. 16-17 листопада, 2016р., м.Київ, Україна (доповідь).
4. XVII Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Шевченківська весна – 2019. Географія». 11 квітня 2019р., м.Київ, Україна (доповідь).
5. Міжнародна науково-практична конференція «Соціум і науки про Землю». 2017р., м.Запоріжжя, Україна (заочна участь).

6. Перший всеукраїнський гідрометеорологічний зїзд з міжнародною участю. 22-23 березня 2017р., м.Одеса, України (заочна участь).
7. V международный водный форум «Водные ресурсы и климат». 5-6 октября 2017г., г. Минск, Руспублика Беларусь (заочна участь).
8. Міжнародний науковий семінар «Природні ресурси регіону : проблеми використання, ревіталізації та охорони». 5-7 жовтня, 2018р., м.Львів, України (доповідь).
9. Всеукраїнська наукова конференція «Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології», присвячена 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України» (доповідь). 2018р., м.Київ, Україна
10. V Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Об’єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень». 2018р., м.Київ, Україна (доповідь).
11. XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Шевченківська весна». 15-16 листопада, 2018., м.Київ, Україна (доповідь).
12. XXVIII Conference of the Danubian Countries. On hydrological forecastinh and Hydrological bases of water management. 6-8 November 2019. Kyiv. Ukraine. (доповідь).
13. Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspect. 11-14 May, 2019. Kyiv, Ukraine (доповідь).
14. Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment November 2019. Kyiv, Ukraine (доповідь).