

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ПАВЕЛЬЧУК ЄВГЕН МИХАЙЛОВИЧ
30 червня 2016 року

УДК 556.5:551.58

**ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОЛОГІЧНОГО І ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ
РІЧОК ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ**

11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата географічних наук

Київ–2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор географічних наук, професор
Сніжко Сергій Іванович,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка,
завідувач кафедри метеорології та кліматології

Офіційні опоненти: доктор географічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України
Мольчак Ярослав Олександрович,
Луцький національний технічний університет,
професор кафедри-екології

кандидат географічних наук, доцент
Забокрицька Мирослава Романівна,
Східноєвропейський національний університет
імені Лесі Українки, доцент кафедри географії

Захист відбудеться « 3 » листопада 2016 р. о 14⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.001.22 у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка за адресою: м. Київ, МСП-680, проспект Глушкова, 2а, географічний факультет, ауд. 312.

З дисертацією можна ознайомитись у Науковій бібліотеці імені М. Максимовича Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 01033, м. Київ, вул. Володимирська, 58, к.12.

Автореферат розіслано «30» вересня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.001.22

А. В. Круківська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Водні ресурси в XXI столітті стали відносити до категорії стратегічних природних ресурсів; вони вважаються лімітуючим фактором розвитку не тільки окремих галузей промисловості, але й цілих регіонів.

Територія Житомирського Полісся характеризується низькою водозабезпеченістю. Питома забезпеченість населення області місцевими водними ресурсами річкового стоку складає всього 2,46 тис. м³ у рік на одну особу, а в посушливі роки знижується втричі і становить 0,82 тис. м³. Експлуатаційні запаси підземних вод дуже обмежені і становлять всього 0,059 тис. м³ у рік на одну особу (Є.В.Обухов, 2011). Водопостачання різних галузей промисловості та комунального господарства досліджуваного регіону значною мірою зорієнтоване на використання поверхневих вод, а саме річкового стоку. Тому науковий аналіз процесів формування кількісних і якісних характеристик водного стоку річок, його багаторічної динаміки є одним із обов'язкових елементів підготовки науково-обґрунтованих стратегій регіонального розвитку.

Особливого значення потребує правильне розуміння часової мінливості водного стоку, його нормативних розрахункових характеристик, стабільності водних ресурсів. Особливої актуальності набуває у зв'язку із загостренням впливу глобального потепління на гідрологічний цикл. В Україні дослідження з цього питання проводили Є. Д. Гопченко, Н. С. Лобода, А. І. Шерешевський, Л. О. Горбачова, В. В. Гребінь, В. І. Вишневський, С. І. Сніжко, І. В. Купріков. Але це питання, наразі, залишається вивченим недостатньо, особливо у регіональному аспекті, і потребує подальшого поглибленого дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась в рамках науково-дослідної теми географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка «Екологічна і природно-техногенна безпека України в регіональному вимірі», НДР №14БП050-02, 2014-2015 рр.

Мета і завдання дослідження. *Мета дослідження* полягає у встановленні сучасних закономірностей гідрологічного та гідрохімічного режимів річок Житомирського Полісся в умовах кліматичних змін.

Основні завдання дослідження:

- встановити багаторічні особливості водного стоку з виділенням його фазово-циклічної структури;
- розрахувати статистичні параметри рядів водного стоку та уточнити багаторічні норми стоку з урахуванням сучасних даних спостережень;
- дослідити тенденції багаторічних змін водного стоку та підтвердити їх за допомогою критерію Манна-Кенделла;
- дослідити сучасні особливості гідрохімічного режиму річок, його сезонні та багаторічні особливості;

- оцінити роль водного стоку у формуванні хімічного складу води річок та здійснити апроксимацію залежностей вмісту розчинених у воді речовин від характеристик водного стоку за допомогою статистичних моделей;
- побудувати напівемпіричні графічні моделі гідрохімічного режиму річок;
- виконати прогноз зміни водного стоку річок на XXI століття на основі водно-балансового моделювання та результатів моделювання кліматичних умов України;
- оцінити можливі зміни хімічного складу води річок з урахуванням результатів довгострокового гідрологічного прогнозу.

Об'єкт дослідження – гідрологічний та гідрохімічний режим річок.

Предмет дослідження – часова мінливість водного стоку та хімічного складу води річок Житомирського Полісся з урахуванням кліматичних змін.

Методи дослідження. Дослідження виконані із застосуванням класичних методів математичної статистики (метод ковзного осереднення для оцінки циклічності гідрометеорологічних рядів, критерій Колмогорова-Смірнова для статистичної оцінки однорідності рядів; розрахунок часових лінійних трендів за методом найменших квадратів та їх оцінка за допомогою тесту Манна-Кендалла). Розрахунки та графічні побудови виконані за допомогою пакету прикладних програм статистичної обробки даних «STATISTICA 6.0» та програми «Microsoft Excel». Картографічне представлення просторового розподілу досліджуваних характеристик виконано методом просторової інтерполяції за допомогою програми «MAPINFO». Для прогнозу можливих змін водного стоку та хімічного складу води річок використано результати кліматичного прогнозу (Краковська С. В. та ін., 2013) за ансамблем регіональних кліматичних моделей та водно-балансову модель Турка.

Вихідні матеріали. Для виконання досліджень використано матеріали багаторічних спостережень Гідрометеорологічної служби України за параметрами водного стоку річок, їх хімічного складу, опадів, температури повітря за багаторічний період та матеріали Державного управління екології та природних ресурсів в Житомирській області.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- досліджено фазово-циклічну структуру багаторічних коливань водного стоку річок Житомирського Полісся за період з 1925 р. до 2012 р.;
- розроблено рекомендації щодо врахування фазово-циклічної структури рядів при виборі репрезентативного періоду спостережень для дослідження багаторічних тенденцій водного стоку;
- виконано прогноз зміни водного стоку та оцінено можливі зміни хімічного складу води річок Житомирського Полісся на XXI століття на основі водно-

балансового гідрологічного моделювання та результатів моделювання кліматичних умов України.

Удосконалено:

- метод оцінки значимості трендів зміни водного стоку завдяки обґрунтованому вибору часового періоду та застосуванню тесту Манна-Кенделла;
- статистичний метод оцінки залежностей вмісту розчинених у воді речовин від характеристик водного стоку шляхом побудови напівемпіричних графічних моделей гідрохімічного режиму річок;
- оцінку гідрохімічного режиму річок в сучасних умовах.

Дістали подальший розвиток:

- уточнення багаторічних норми стоку досліджуваних річок з урахуванням фазово-циклічної структури рядів водного стоку та використанням сучасних даних спостережень;
- дослідження особливостей характеру внутрішньорічного розподілу водного стоку в умовах зміни клімату;
- дослідження сучасних закономірностей гідрохімічного режиму річок у різні фази гідрологічного року;
- застосування поєднання гідрологічної водно-балансової моделі та результатів моделювання клімату за ансамблем чисельних регіональних кліматичних моделей для довгострокового прогнозування водного стоку річок.

Практичне значення одержаних результатів. Одержані в дисертації результати впроваджені у Державному управлінні екології та природних ресурсів в Житомирській області і використовуються для планування та розробки заходів адаптації водного господарства до можливих змін клімату.

Особистий внесок здобувача. Постановку наукових завдань і розробку окремих частин дисертаційного дослідження проведено спільно з науковим керівником. Особисто здобувачем вивчено та проаналізовано літературні й архівні джерела; створено інформаційну базу гідрологічних та гідрохімічних даних для річок регіону, виконано аналіз цих даних з використанням рекомендованих науковим керівником сучасних математичних і статистичних методик, виконано аналіз та інтерпретацію отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи доповідались на: Конференції молодих вчених у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка "Молоді науковці – географічній науці" (м. Київ, 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Шевченківська весна" (м. Київ, 2014 р.); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії" (м. Переяслав-Хмельницький, 2015 р.), Міжнародній науковій конференції "Проблеми гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях

изменяющегося климата" (м. Мінськ, Республіка Білорусь, 5-8 травня 2015 р.), XII З'їзді Українського географічного товариства (м. Вінниця, 17-21 травня 2016 р.).

Публікації. Основні наукові положення і результати дисертації опубліковано в 12 наукових працях, у тому числі: 6 статей в фахових періодичних виданнях України; одна стаття у міжнародному фаховому виданні, 5 публікацій матеріалів і тез конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (113 найменувань) та додатків. Повний обсяг роботи становить 226 сторінок. Основний зміст дисертації викладено на 174 сторінках. Робота вміщує 107 рисунків, 31 таблицю та 12 додатків на 38 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, розкрито стан наукової проблеми, визначено мету, завдання, об'єкт, предмет та методи досліджень. Визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача. Висвітлено зв'язок роботи з науковими темами, апробацію результатів дисертації на конференціях.

У першому розділі розглянуто природні умови та господарську діяльність на території Житомирського Полісся як головні чинники формування гідрологічного і гідрохімічного режиму річок. Подано детальну характеристику гідрографічної мережі з описом фізико-географічних, гідрологічних і морфометричних особливостей окремих річкових басейнів. Надано детальну інформацію про основні види господарської діяльності, про структуру водогосподарського комплексу регіону, водоспоживання та водовідведення.

У другому розділі висвітлено стан гідролого-гідрохімічної вивченості річок регіону, охарактеризовано вихідні дані та методику досліджень.

Розвиток наукових уявлень про гідрологію та гідрохімію регіону відбувався еволюційним шляхом від вирішення невеличких і розрізнених практичних задач водопостачання та водовідведення до реалізації регіональних дослідницьких проектів із системною постановкою задач. Перші гідрологічні та гідрогіологічні дослідження проводились на території Житомирського Полісся ще в XIX ст. видатними російськими та польськими вченими, зокрема П. А. Тутковським, С. З. Сагайдаковським, І. Ф. Синцовим, В. Л. Лічковим. До цих досліджень були долучені і вчені Київського університету Святого Володимира, які вперше у 1881 р. провели ґрунтовні гідрохімічні дослідження р. Тетерів з метою визначення місця для розташування водозабору для м. Житомира. У XX ст. дослідження цих водних об'єктів активізувалися лише після другої світової війни, зокрема у працях А. Д. Коненка (1950-ті роки) та К. А. Лисенка (1960-ті роки).

У 1960-1970 рр. Житомир перетворився у великий промисловий центр, зростали і інші міста області, розвивалась промисловість, зростали обсяги

використання води і скидів стічних вод у річки. В цей час у Київському університеті під керівництвом В. І. Пелешенка та Д. В. Закревського розпочинаються систематичні гідрохімічні дослідження водних об'єктів України. У 1980-х роках гідрохіміки Київського університету (В. І. Пелешенко, Д. В. Закревський, В. К. Хільчевський, Л. М. Горєв, В. М. Савицький, С. І. Сніжко, В. І. Осадчий, В. П. Василенко, І. О. Шевчук) вивчали хімічні характеристики стоку річок Житомирської області, досліджували їх гідрохімічний режим і здійснювали гідрохімічне картографування. В 1990-х роках минулого століття гідрохіміками Київського університету (С. І. Сніжком, Д. В. Закревським, В. М. Самойленком) у співпраці з фахівцями Державного управління екології та природних ресурсів у Житомирській області (С. П. Сіреньким, О. О. Орловим) розроблено науково-методичні основи гідрохімічних досліджень водно-болотних екосистем, виконано комплекс гідрохімічних і радіогеохімічних досліджень річок та боліт.

Останні два десятиліття на цій території не проводилось жодних комплексних гідролого-гідрохімічних досліджень, окрім епізодичних досліджень хімічного складу річкових вод фахівцями Житомирського національного агроекологічного університету (Т. М. Коткова, В. І. Коткова, Г. О. Селезньова, Т. М. Мислива, І. С. Кот, А. О. Піціль).

Сучасний незадовільний стан забезпеченості регіону водними ресурсами та постійне погіршення їх якості вимагає подальшого продовження таких досліджень, особливо з урахуванням кліматичних змін в зоні Українського Полісся.

Для виконання досліджень нами використано дані гідрологічних спостережень за період із 1925 р. до 2012 р. на 14 водомірних постах і дані гідрохімічного моніторингу за період із 1989 до 2012 р. на 13 пунктах Державної гідрометеорологічної служби України, розміщених на основних річках досліджуваного регіону (рис. 1).

У третьому розділі представлено результати дослідження гідрологічних умов формування хімічного складу річкових вод. У зв'язку із посиленням впливу глобального потепління на гідрологічний цикл особливого значення набуває правильне розуміння часової мінливості водного стоку, його нормативних розрахункових характеристик, стабільності водних ресурсів. З іншого боку, водний стік залишається одним із головних чинників формування багаторічного гідрохімічного режиму та якості води річок. Тому інформація про часову зміну кількісних характеристик водного стоку річок є вкрай важливою і для прогнозування якості води, яка теж дедалі частіше стає обмежувальним чинником її використання.

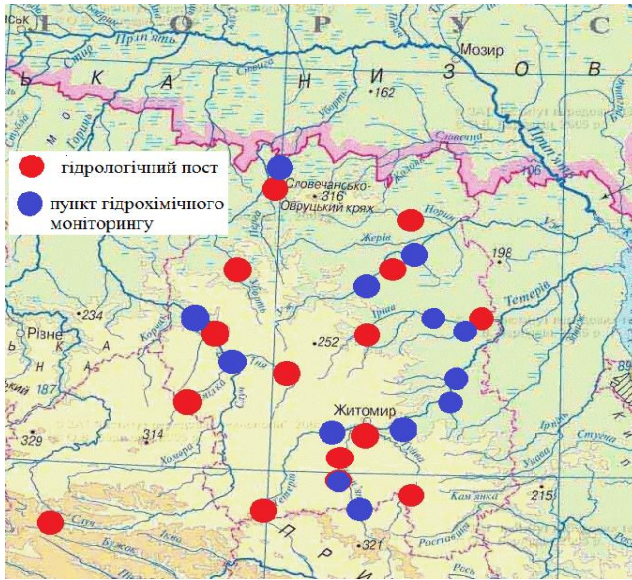


Рис. 1. Мережа пунктів гідрологічного та гідрохімічного моніторингу на річках Житомирського Полісся

Проведені дослідження дали змогу уточнити розрахункові гідрологічні характеристики річок як ймовірно-статистичним методом, так і з урахуванням циклічності водного стоку. Зміна стоку досліджуваних річок протягом періоду надійних гідрометричних вимірювань (1950-2012 рр.) описується трьома повними циклами водності (рис. 2, табл. 1), два з яких тривалістю 22 роки і один короткоперіодичний тривалістю 11 років.

Норми стоку 22-річних періодів є більш стійкими і близькі до значення багаторічної норми стоку, розрахованої ймовірісними методами, і до офіційних розрахункових параметрів стоку, які опубліковано у Державному водному кадастрі (ДВК).

Порівняння норми стоку, отриманої з урахуванням циклічності, тобто за період з 1950 по 2004 р. (три повні цикли водності) з офіційними даними ДВК показало в більшості випадків співпадіння оцінок. Це означає, що водний стік річок в останні роки не змінився настільки суттєво, щоб це вплинуло на зміну багаторічних розрахункових гідрологічних характеристик. Це дозволяє використовувати отримані значення нормативних характеристик у подальших дослідженнях.

Таблиця 1

Цикли і фази водного стоку річок Житомирської області

Порядковий номер циклу	Тривалість циклу		Маловодна фаза		Багатоводна фаза	
	Період	Роки	Період	Роки	Період	Роки
1	1950-1971	22	1950-1964	15	1965-1971	7
2	1972-1982	11	1972-1976	5	1977-1982	6
3	1983-2004	22	1983-1995	13	1996-2004	11

У зв'язку зі змінами клімату та його впливом на гідрологічний цикл багатьма вченими ставиться під сумнів правомірність концепції стаціонарності багаторічних коливань гідрометеорологічних характеристик. Тому для перевірки гіпотези про наявність статистично значимих тенденцій (відсутність

стаціонарності) до зміни водності річок нами було виконано розрахунок лінійних трендів часових рядів стоку (рис. 3) та перевірка їх значимості з використанням тесту Манна-Кендалла.

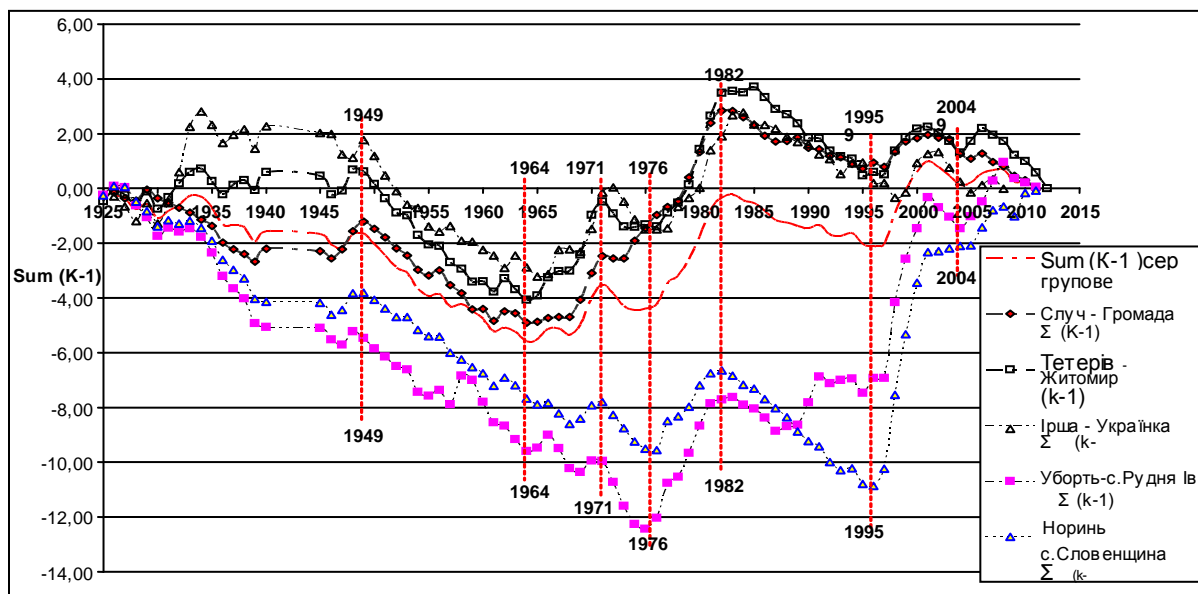


Рис. 2. Різницево-інтегральні криві водного стоку річок

Як видно з рис. 3, майже всі тренди є асимптотичними до осі абсцис, за виключенням трендів водного стоку малих річок – Уборті та Норині, де візуально помітно слабке зростання водного стоку. Однак коефіцієнти лінійного тренду у всіх випадках близькі до нуля, а перевірка статистичної значимості наявності тенденції до збільшення (зменшення) водного стоку за тестом Манна-Кендалла не підтвердила її. Причина цього криється в самому характері багаторічного водного стоку та в методиці розрахунку тренду. Водний стік представлений циклами багатоводних та маловодних років, що змінюються (відхиляються від норми стоку), а положення лінії тренду якраз розраховується на рівновіддаленій від цих відхилень і підтверджує стаціонарність багаторічних гідрологічних рядів. Тобто, статистично значимі тренди не характерні для багаторічної динаміки водності досліджуваних річок, проте вони характерні для окремих короткоперіодичних циклів водності (рис. 4).

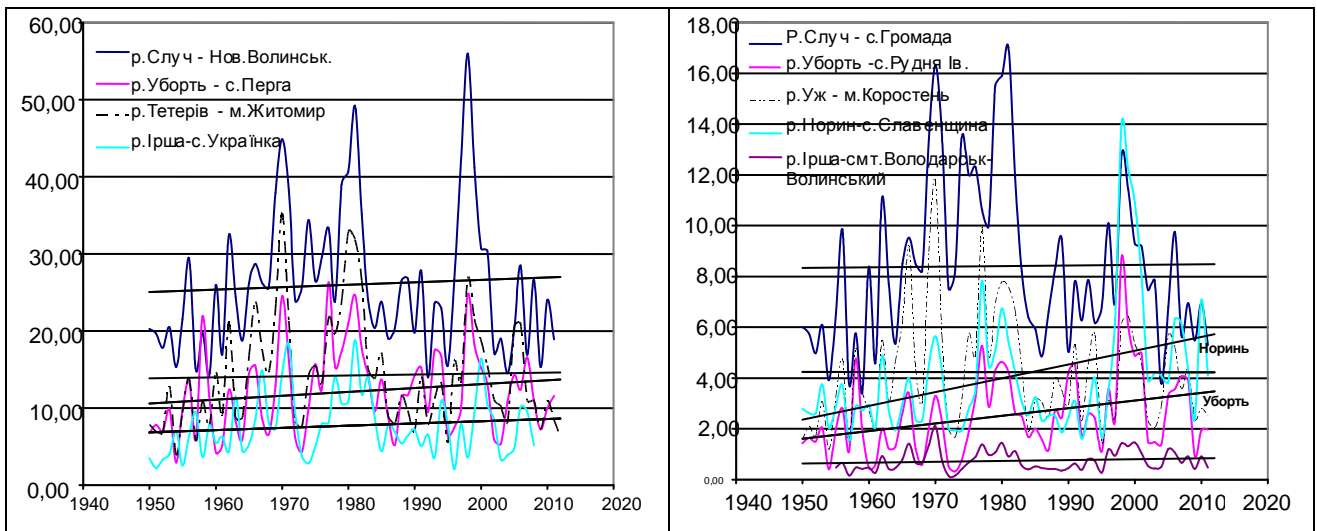


Рис. 3. Лінійні тренди водного стоку за період 1950-2012 рр.

На основі цих досліджень розроблено рекомендації щодо правильного вибору часового періоду для виявлення статистично значимих у багаторічних рядах спостережень за водним стоком річок.

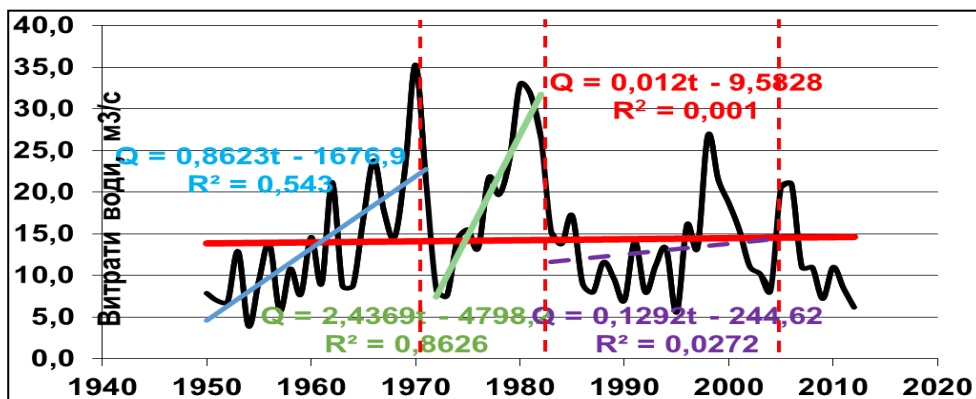


Рис.4. Часові тренди водності р. Тетерів біля м. Житомир за багаторічний період та за окремі цикли водності

Сучасні дослідження (Купріков, 2009; Гребінь, 2010) вказують на помітний вплив кліматичних змін на внутрішньорічний розподіл стоку річок. Виконані нами дослідження на річках Житомирського Полісся показали, що в сучасний період характер внутрішньорічної зміни водності названих річок загалом відповідає раніше виявленим регіональним закономірностям (Железняк, Подольская, 1982), проте відмічаються значні розбіжності у розподілі стоку в багатоводні і та маловодні роки. У багатоводні роки, наприклад у 1981 р., стік характеризується потужною хвилею весняної повені та ще двома хвилями літніх і зимових паводків, зумовлених таненням снігу та дощовими опадами на сніговий покрив. Розподіл стоку у маловодні роки невиразний – виділяється лише весняна

повінь. В останні роки (маловодна фаза нового циклу водності) на фоні закономірного поступового зменшення водного стоку річок відбувається критичне зниження рівнів та витрат води, під час літньої межени (рис. 5), особливо у посушливі роки (2003, 2010, 2011, 2015 рр.), що викликає серйозне занепокоєння у спеціалістів водного господарства та населення області (рис. 6).

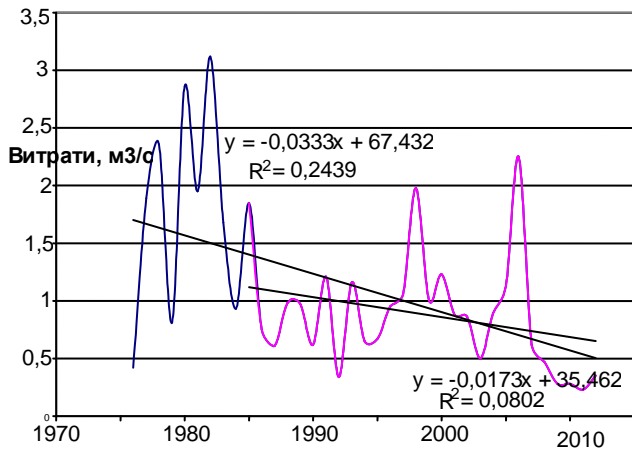


Рис. 5. Зміна мінімальних витрат води р. Гнилопять біля с. Головенка



Рис. 6. Річка Тетерів в районі с. Тригір'я під час літньої межени

Результати досліджень особливостей розподілу водного стоку можуть бути використані водогосподарськими організаціями регіону для уточнення лімітуючих періодів і сезонів водогосподарського року.

У цьому ж розділі викладено обґрунтування вибору розрахункового періоду з урахуванням водності для дослідження сучасного гідрохімічного режиму річок Житомирського Полісся, який встановився в пострадянський період розвитку економіки незалежної України.

У четвертому розділі представлено результати дослідження хімічного складу води: головних іонів (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ та їх суми (Σ)), біогенних речовин (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , P заг., Si), важких металів (Fe заг., Cu, Mn, Zn, Cr 6^+), забруднювальних речовин (феноли, нафтопродукти, СПАР), розчинених газів (O_2 , CO_2) і показників вмісту органічних речовин (ПО, БО) та сучасного гідрохімічного режиму річок.

Води річок, що досліджуються, згідно з класифікацією О. О. Алекіна, характеризуються середньою мінералізацією (200-500 мг/дм³). У місцях скиду стічних вод періодично може спостерігатися підвищена (500 – 1000 мг/дм³) або і висока мінералізація води (понад 1000 мг/дм³).

У сольовому складі води домінують іони Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- . За переважанням серед аніонів іону HCO_3^- , а серед катіонів іону Ca^{2+} води річок характеризуються як гідрокарбонатно-кальцієві. В створах, розміщених нижче

міст, у воді помітно зростає вміст іонів так званого антропогенного походження – SO_4^{2-} , Cl^- , Mg_2^+ , Na^+ , а мінералізація зростає зазвичай на 50–200 мг/дм³. Значна частка мінералізації формується за рахунок іонів SO_4^{2-} і Cl^- , які надходять зі стічними водами. Представлені нижче графіки Бокса–Вайскера для характеристики вмісту сульфат-іонів у воді річок свідчать, що при незначній розбіжності їх середніх концентрацій (20-50 мг/дм³), максимальні концентрації в створах нижче скидів стічних вод можуть в 3–5 разів перевищувати цей рівень (рис. 7).

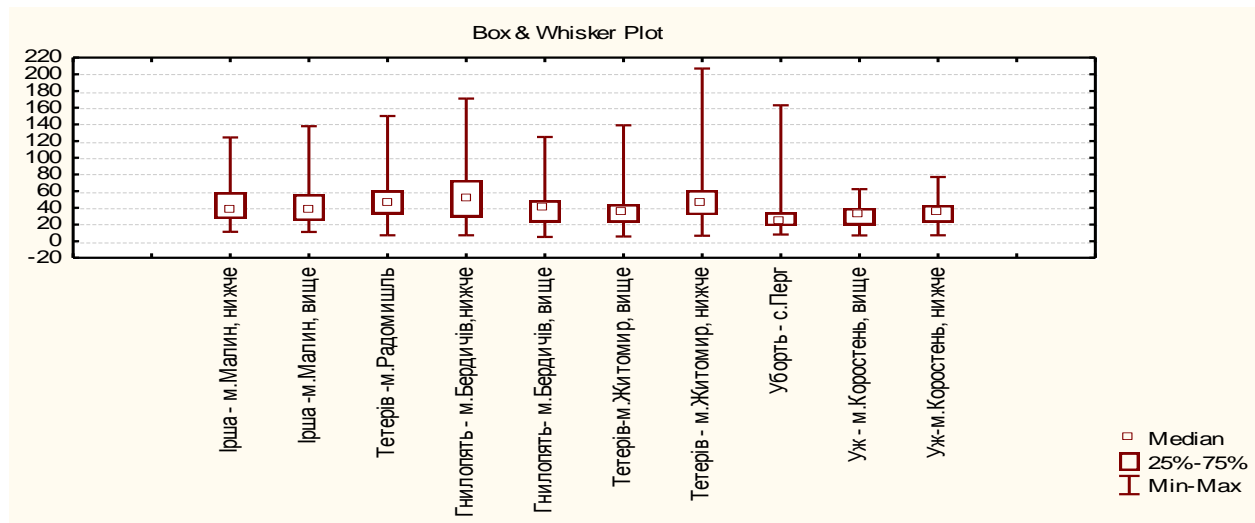


Рис. 7 Середній вміст (медіана) та межі коливань концентрацій сульфат-іонів у воді річок

З біогенних речовин найбільшу загрозу для якості води становить амонійний азот (NH_4^+), вміст якого навіть за середніми значеннями у більшості створів перевищує ГДК (0,5 мг/дм³). Нижче м. Житомира та м. Бердичева концентрація NH_4^+ у воді річок в 4 рази перевищує ГДК за середніми значеннями, а за максимальними концентраціями перевищення ГДК може досягати у окремих випадках, що пов'язані з аварійними ситуаціями на очисних спорудах до 40-50 разів.

Вміст фосфору змінюється в межах від 0,0 до 3,0 мг/дм³. Найбільші концентрації спостерігаються в створах нижче міст, що становить значну загрозу для екологічного стану водних об'єктів. Адже вже при концентраціях фосфору 0,5 мг/дм³ у водоймах може розпочатися процес антропогенного евтрофування і подальше погіршення якості води.

Вміст важких металів характеризується незначними концентраціями, за виключенням марганцю і заліза, вміст яких значно перевищує ГДК. Це пояснюється значним впливом боліт на формування водного стоку річок, адже болотні води насичені гуміновими речовинами з високим вмістом заліза та марганцю.

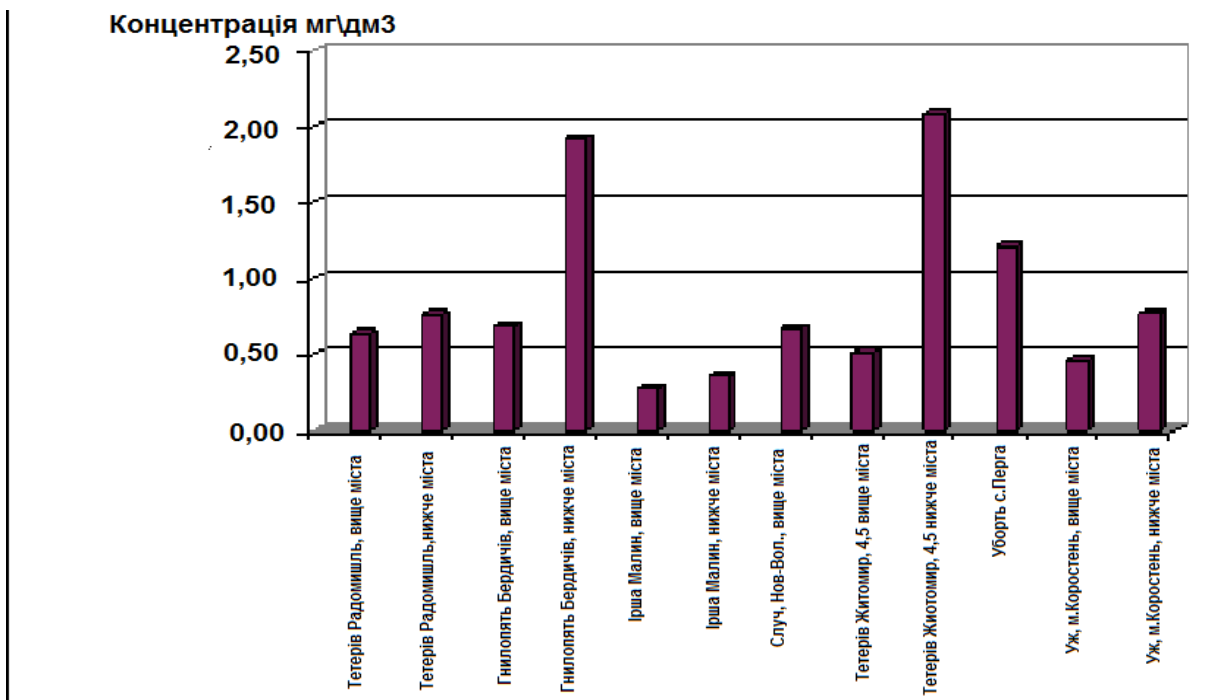


Рис. 8 Середні значення концентрацій амонійного азоту (NH_4^+) у воді досліджуваних річок

Дослідження гідрохімічного режиму річок показало, що багаторічний режим розчинених у воді мінеральних речовин та окремих головних іонів залежить від багаторічних особливостей зміни водності річок. У періоди підвищеної водності концентрації розчинених іонів зменшуються, а у періоди низької водності – збільшуються. Надходження додаткової кількості розчинних мінеральних речовин зі стічними водами помітно збільшує їх вміст у воді річок (від 100 до 250 мг/дм³), проте не змінює їх багаторічний режим.

Режим біогенних речовин формується під впливом цілого комплексу чинників: гідрологічний режим, режим надходження біогенних речовин зі стічними водами, гідробіологічні процеси у воді річок. Тому часовий розподіл концентрацій сполук азоту та фосфору має хаотичний характер, однак з певною точністю може бути описаний криволінійною поліноміальною моделлю часового процесу, яка свідчить про значний вплив на багаторічну мінливість цих речовин водного стоку річок.

Режим важких металів є досить складним. Значні коливання їх концентрацій пояснюються реакцією водного середовища на нерівномірні у часі надходження забруднювальних речовин у річки, на наявність так званих «залпових скидів» в окремі моменти часу, що призводить до різкого зростання концентрацій важких металів. Водночас, у воді деяких річок спостерігається зменшення їх вмісту,

починаючи з 2007 р., що, очевидно, пов'язано з покращенням технології вилучення їх зі стічних вод.

Багаторічний режим СПАР (синтетичні поверхнево-активні речовини) та нафтопродуктів характеризується різким зменшенням і стабілізацією їх вмісту у воді річок починаючи з 2002 р. Концентрації фенолів змінювалися протягом періоду спостережень у невеликих межах і без чітких закономірностей, хоча максимальні значення, зазвичай, реєструвалися в меженні періоди під час надходження значних обсягів стічних вод, або вод поверхнево-схилового стоку під час злив.

У динаміці показника БСК₅ виявлено його помітне зменшення протягом досліджуваного періоду. Найбільш чітко ця тенденція виражена для створів, розміщених в зонах впливу скидних вод, тобто нижче міст. Динаміка O₂ характеризується стабільністю з проявом рівномірних сезонних коливань, тренди до зростання чи спадання значень концентрацій відсутні.

Для оцінки впливу гідрологічного режиму на формування хімічного складу води та гідрохімічного режиму річок проведено дослідження статистичних зв'язків між концентраціями речовин (C) та вимірними витратами води (Q). Експериментальні дослідження щодо підбору апроксимуючої функції показали, що для моделювання залежностей типу $C = f(Q)$, найкраще підходять складні поліноміальні моделі, які в однаковій мірі описують і розбавлення забруднювальних речовин під час весняної повені та дощових паводків, і їх накопичення у меженні періоди гідрологічного року.

Отримано статистичні моделі у вигляді поліноміальних залежностей, які можна використовувати для розрахунків можливих змін хімічного складу води, в тому числі і у зв'язку з довготривалими змінами водного стоку, які можуть відбуватися через зміни клімату.

Враховуючи, що використання цих моделей у гідрохімічній практиці має дещо обмежений характер, адже недостатньо точна апроксимація емпіричних залежностей теоретичною кривою призводить до появи значних похибок при обчисленні за даними моделями, особливо в умовах нестабільного гідрологічного режиму, під час зміни типів живлення річок, тощо. Підбір ідеальної теоретичної моделі ускладнюється ще й тим, що багаторічні ряди, які хоч і мають достатній для статистичних досліджень обсяг, є генетично неоднорідними, оскільки характеризують різні фази гідрологічного режиму (повінь, паводки, межень) та різні за водністю роки, під час яких можуть відбуватися різнонаправлені гідрохімічні процеси. Тому, з метою зменшення можливих похибок, що виникають при статистичному моделюванні зв'язків типу $C = f(Q)$ з використанням багаторічних генетично неоднорідних гідрологічних і гідрохімічних рядів, нами (Сніжко, Павельчук, 2014) запропоновано застосувати альтернативний спосіб візуального вираження параметрів гідрохімічного режиму в широкому діапазоні реальних величин водного стоку шляхом конструювання

напівемпіричних графічних моделей, в яких загальний вид функціональних залежностей встановлюється на підставі теоретичних уявлень про зміну впливу водного стоку на вміст розчинених у воді хімічних речовин, а емпіричні дані використовуються для визначення параметрів гідрохімічного режиму у певному діапазоні водності.

З метою уніфікації широкого спектру абсолютних значень витрат групи досліджуваних річок для побудови напівемпіричних графічних моделей було використано їх значення при характерних для різних сезонів та фаз гідрологічного року забезпеченостях (1, 5, 10, 25, 50, 75, 95, 99 %). Це дозволило розмістити усі графічні моделі в одному полі координат і використовувати їх як номограми для розрахунку параметрів гідрохімічного режиму.

Знаючи забезпеченість вимірної витрати води, можна легко визначити величину того, чи іншого показника, користуючись відповідною напівемпіричною кривою. Узагальнену напівемпіричну модель залежності вмісту розчинених речовин від величини водного стоку для річок Житомирського Полісся у вигляді графіка Бокса-Вайскера показано на рис. 9.

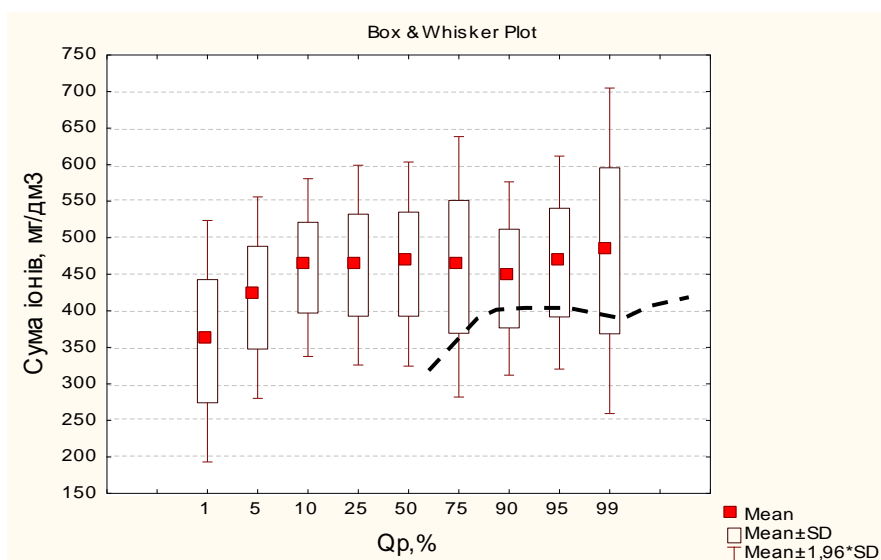


Рис. 9. Узагальнена напівемпірична модель для групи річок Житомирського Полісся (вісь ординат характеризує діапазон коливань суми іонів у воді групи річок)

Дана модель запропонована не для розрахунків, а для наочного представлення характеру гідрохімічного режиму річок Житомирського Полісся з різним рівнем антропогенного навантаження протягом гідрологічного року. Основними рисами його є значне зменшення розчинених речовин у воді річок при збільшенні витрат в діапазоні Q10%–Q1%, та значне збільшення їх в діапазоні Q90%–Q99%. В інтервалі витрат Q10%–Q90% гідрохімічний режим за узагальненим показником середнього значення Σ_i характеризується незначною мінливістю.

Використання цих графічних моделей може бути рекомендовано як експрес-метод у гідрохімічних розрахунках.

У п'ятому розділі розглянуто результати прогнозу зміни водного стоку та хімічного складу води річок на основі воднобалансового моделювання та результатів моделювання кліматичних умов України на XXI століття.

Довгостроковий прогноз зміни водного стоку здійснювався з використанням водно-балансової моделі Турка, яка була рекомендована польським гідрологом З. Качмарекком (2001) для оцінки змін водних ресурсів планети при підготовці III Доповіді Міжурядової групи експертів з питань змін клімату. В Україні ця методика була апробована І. Купріковим (2014).

В якості вхідних параметрів водно-балансової моделі нами використано розрахунки прогнозу температури повітря і кількості опадів на XXI ст. фахівців УкрГМІ з використанням ансамблю регіональних моделей клімату та результатів Європейського проекту FP-6 ENSEMBLES (Краковська, Паламарчук та ін., 2013).

Розрахунок здійснювався за спеціальною програмою, створеною у середовищі "EXCEL" після спеціального калібрування моделі, тобто «підгонки» прогнозних даних під реальний ретроспективний ряд спостережень за водним стоком. Порівняння середніх прогнозних величин шару водного стоку по окремих річкових басейнах і середнього прогнозного шару водного стоку території Житомирського Полісся з середніми багаторічними нормами водного стоку для різних часових періодів XXI століття показано на рис. 10.

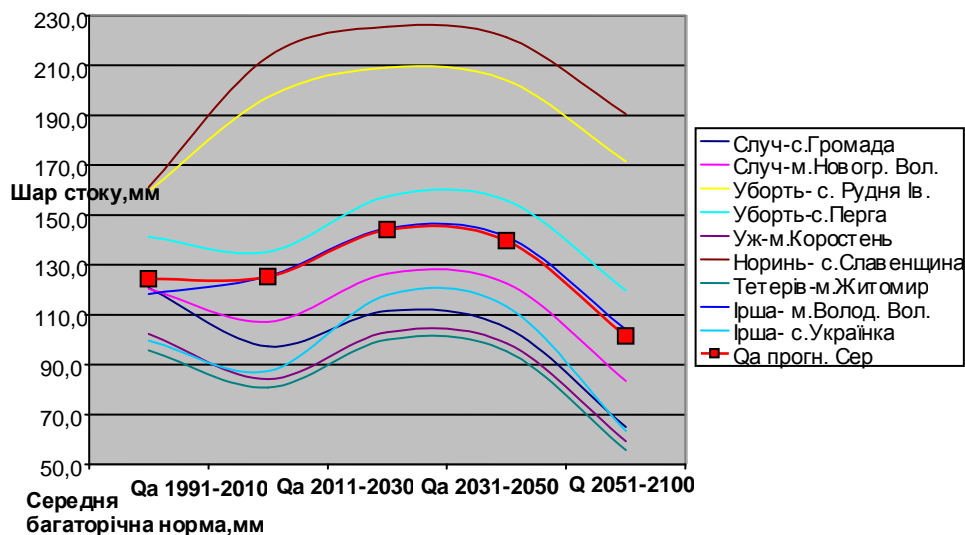


Рис. 10. Порівняння середніх прогнозних величин шару водного стоку по окремих річкових басейнах та середнього прогнозованого шару водного стоку території Житомирського Полісся з середніми багаторічними нормами водного стоку

Дані табл. 2 свідчать, що протягом двох розрахункових періодів (включно 2050 р.) суттєвого зменшення водного стоку досліджуваних річок не передбачається. Однак можливе аномально високе збільшення стоку р. Норинь у

2011–2030 рр., яке пояснюється прогнозованим суттєвим збільшенням опадів, морфометричними особливостями басейну, характером підстильної поверхні. В період 2051–2100 рр. найбільш загрозлива ситуація стосовно зменшення водного стоку може скластися для річок Тетерів, Ірша, Случ, Уж, де зменшення стоку, порівняно з багаторічними нормами стоку становить від 30 до 46%. Середнє зменшення шару стоку для території Житомирського Полісся може досягти 22 %.

Враховуючи залежність компонентів сольового складу води від зміни водності була виконана спроба оціночного прогнозу хімічного складу води під впливом зміни клімату. Згідно з одержаними результатами, навіть при можливому помітному зниженні водного стоку на окремих річках, зміна вмісту розчинених мінеральних речовин буде несуттєвою у порівнянні із сучасним періодом.

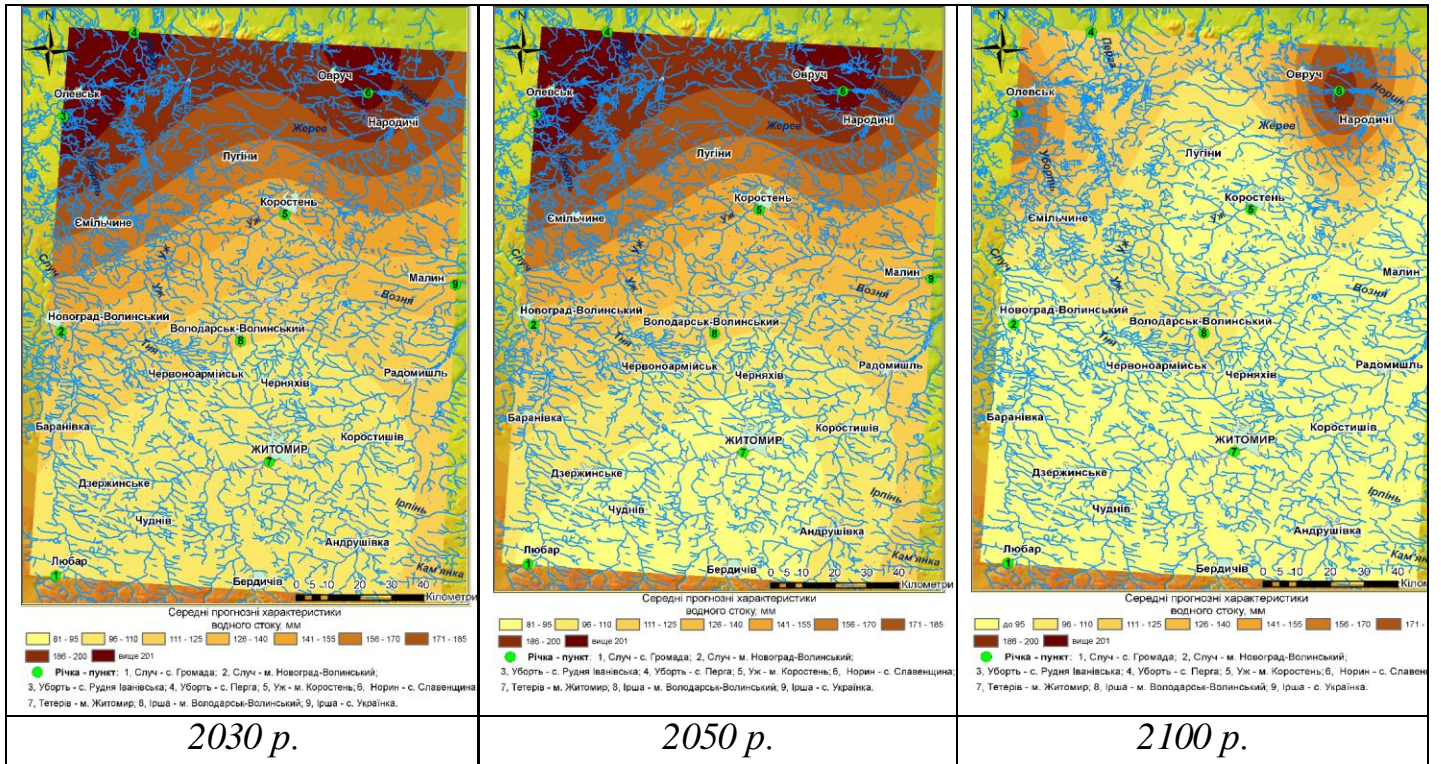
Таблиця 2

Оцінка зміни водного стоку річок Житомирського Полісся у XXI столітті
відносно багаторічних норм водного стоку, %

Річка - пункт	Розрахункові періоди		
	2011-2030	2031-2050	2081-2100
Случ – с. Громада	-7,7	-13,3	-46,2
Случ – м. Новоград Волинський	5,1	1,7	-30,7
Уборть – с. Рудня Іванівська	31,2	27,9	7,5
Уборть – с. Перга	11,5	10,3	-15,3
Уж – м. Коростень	0,8	-3,5	-42,0
Норинь – с. Славенщина	40,0	37,3	18,2
Тетерів – м. Житомир	4,4	-0,3	-41,9
Ірша – м. Володарськ Волинський	22,4	19,4	-12,0
Ірша – с. Українка	18,5	13,7	-36,4
Середнє відхилення	14,0	10,4	-22,1

Просторову динаміку зміни шару водного стоку у XXI ст. наведено на рис. 11.

Рис. 11. Просторова динаміка шару водного стоку для різних прогнозних рівнів.



ВИСНОВКИ

1. Встановлено фазово-циклічну структуру водного стоку річок протягом періоду надійних гідрометричних вимірювань (1950-2012 рр.), яка включає шість фаз та три повних цикли водності тривалістю 22, 11 і 22 роки.

2. Уточнено багаторічні норми стоку річок з урахуванням фазово-циклічної структури рядів гідрологічних спостережень.

3. Аналіз багаторічної динаміки водного стоку шляхом виділення часових трендів та їх оцінки за допомогою критерію Манна-Кенделла підтвердив, що статистично значимих змін водного стоку річок Житомирського Полісся протягом багаторічного періоду не відбулося.

4. Встановлено, що фазово-циклічну структуру часових рядів водного стоку, порівняно з іншими статистичними моделями, найкраще апроксимує поліноміальна модель 6-го ступеня, яка з достатньою точністю описує циклічні коливання водності річок.

5. Дослідження внутрішньорічного розподілу водного стоку дозволили встановити в останні роки (маловодна фаза нового циклу водності) тенденцію до зниження рівнів та витрат води під час літньої межени, особливо у посушливі роки (2003, 2010, 2011, 2015 рр.), що викликає серйозне занепокоєння у спеціалістів водного господарства та населення.

6. Гідрохімічний режим тісно пов'язаний з гідрологічним режимом річок, який зумовлює сезонну та багаторічну динаміку розчинених у воді речовин. Надходження додаткової кількості розчинних мінеральних речовин зі стічними водами помітно збільшує їх вміст у воді річок (від 100 до 250 мг/дм³), проте не змінює їх багаторічний режим.

7. Запропоновано графо-аналітичний метод представлення параметрів гідрохімічного режиму в широкому діапазоні реальних величин водного стоку шляхом конструювання напівемпіричних графічних моделей. Цей метод може бути використано як експрес-метод для дослідження вмісту головних іонів та мінералізації води річок у різні фази гідрологічного року.

8. Розрахунки прогнозних характеристик водного стоку для території Житомирського Полісся на XXI століття на основі водно-балансової моделі Турка та результатів моделювання клімату на основі ансамблю регіональних кліматичних моделей дозволили встановити, що до 2050 р. суттєвого зменшення водного стоку досліджуваних річок не передбачається.

9. Встановлено, що у разі справджуваності результатів кліматичного моделювання для території Житомирського Полісся для періоду 2080–2100 рр. (збільшення температури повітря на $3,04 \pm 0,6^\circ\text{C}$, збільшення опадів на 83 ± 30 мм)

відбудеться ймовірно зменшення стоку на 30-46 %, порівняно з багаторічними нормами для річок Тетерів, Ірша, Случ, Уж. Середнє зменшення шару стоку для території Житомирського Полісся може досягти 22 %.

10. Згідно з отриманими оціночними розрахунками, при збереженні сучасного рівня антропогенного навантаження навіть при можливому помітному зниженні водного стоку на окремих річках, зміна вмісту розчинених мінеральних речовин буде несуттєвою.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України:

1. Павельчук Є. М. Гідролого-гідрохімічна вивченість території Житомирської області / Є. М. Павельчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т.1(28). – С. 82-88.

2. Сніжко С. І. Уточнення норм та характерних періодів зміни середнього річного стоку річок Житомирської області / Сніжко С. І., Павельчук Є. М., Дідовець Ю. С. // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – №14. – С. 185-193 (Особистий внесок – збір та обробка статистичних даних за багаторічний період).

3. Сніжко С. І. Дослідження часових тенденцій зміни водного стоку з оцінкою їх значимості за тестом Манна-Кендалла / Сніжко С. І., Павельчук Є. М., Дідовець Ю. С. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т. 2(33). – С. 8-16 (Особистий внесок – обробка статистичних даних, аналіз і узагальнення часових тенденцій зміни водного стоку).

4. Сніжко С. І. Конструювання напівемпіричних графічних моделей гідрохімічного режиму річок / С. І. Сніжко, Є. М. Павельчук // Наук. вісник Чернівецького нац. ун-ту. – 2014. – Вип. 696. – С. 40-46. (Особистий внесок –, побудова графічних моделей гідрохімічного режиму річок).

5. Сніжко С. І. Основні закономірності внутрішньорічного розподілу водного стоку річок Житомирського Полісся / С. І. Сніжко, Є. М. Павельчук // Фізична географія та геоморфологія. – 2014. – Вип. 1(73). – С. 89-94. (Особистий внесок – аналіз закономірностей внутрішньорічного розподілу стоку річок).

6. Дідовець Ю. С. Визначення калібраційного та валідаційного періодів для гідрологічної моделі SWIM (на прикладі р. Тетерів) / Дідовець Ю. С., Павельчук Є. М., Сніжко С. І. // Фізична географія та геоморфологія. – 2014. – Вип. 4(76). – С. 58-67 (Особистий внесок – збір статистичних даних, постановка задачі досліджень).

Стаття у зарубіжному фаховому виданні:

1. Использование водно-балансовой модели Турка и численной региональной модели REMO для оценки водных ресурсов местного стока в Украине в XXI веке / Снежко С. И., Куприков И. В., Шевченко О. Г., Павельчук Е. М., Дидовец Ю. С. // Вестник Брянского государственного университета. – 2014. – №4(2014). – С.191-201 (Особистий внесок – встановлення тенденцій розвитку водного стоку в Україні в XXI столітті).

Тези доповідей і матеріали конференцій:

1. Павельчук Є. М. Характеристика сучасної структури та динаміки водовідведення у поверхневій водній об'єкти Житомирської області / Є. М. Павельчук // Молоді науковці – географічній науці : Збірник наукових праць ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – К. : ВГЛ Обрії, 2013. – Вип. XI. – С. 150-153.

2. Павельчук Є. М. До методики оцінки впливу водного стоку на вміст розчинених речовин / Є. М. Павельчук // Шевченківська весна – 2014. Частина 3 : Географія : Збірник наукових праць XII міжнародної наукової міждисциплінарної конференції студентів та молодих вчених. – К. : ВГЛ Обрії, 2014. – Вип. XII. – С. 112-116.

3. Павельчук Є. М. Водокористування та водовідведення у поверхневій воді Житомирської області у 2013 році / Є. М. Павельчук // Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії : Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. – Переяслав-Хмельницький, 2015. – С. 20-23.

4. Снежко С. И. Современные особенности гидрологического режима правобережных притоков Припяти и Днестра в пределах Житомирского Полесья / Снежко С. И., Павельчук Е. М., Дидовец Ю. С. // Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата : Материалы Междунар. науч. конф. (Минск, Республика Беларусь, 5-8 мая 2015 г.). – Мн. : БГУ, 2015. – С. 103-105 (Особистий внесок – аналіз гідрологічних особливостей режиму правих приток Прип'яті).

5. Павельчук Є. Довгострокове моделювання водного стоку річок Житомирського Полісся в умовах зміни клімату/ Павельчук Є., Сніжко С., Дідовець Ю // Українська географія: сучасні виклики : Зб. наук. праць у 3-х т. – К. : Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С. 123-125 (Особистий внесок – моделювання водного стоку).

АНОТАЦІЯ

Павельчук Є. М. Особливості гідрологічного і гідрохімічного режиму річок Житомирського Полісся в умовах зміни клімату. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук за спеціальністю 11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Міністерства освіти і науки України, Київ, 2016.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню особливостей сучасного гідрологічного та гідрохімічного режимів річок Житомирського Полісся в умовах зміни клімату. З урахуванням сучасних даних гідрологічних спостережень досліджено фазово-циклічну структуру багаторічних коливань водного стоку річок Житомирського Полісся за період 1925–2012 рр., розраховано статистичні параметри варіаційних рядів водного стоку та уточнено багаторічні норми стоку. Для перевірки гіпотези про порушення стаціонарності водного стоку в умовах кліматичних змін було досліджено його багаторічні тенденції методом побудови часових лінійних трендів та їх оцінки за критерієм Манна-Кендалла.

Досліджено сезонні та багаторічні особливості гідрохімічного режиму річок, здійснено оцінку впливу антропогенних джерел забруднення на формування та динаміку вмісту забруднювальних речовин у воді річок. Здійснено статистичне моделювання залежності вмісту розчинених у воді речовин від величини водного стоку, запропоновано графо-аналітичний метод представлення параметрів гідрохімічного режиму в широкому діапазоні реальних величин водного стоку шляхом конструювання напівемпіричних графічних моделей. Виконано прогноз зміни водного стоку річок на XXI століття на основі водно-балансового моделювання та результатів моделювання кліматичних умов України. Оцінено можливі зміни хімічного складу води річок з урахуванням результатів довгострокового гідрологічного прогнозу.

Ключові слова: гідрологічний режим, норма стоку, гідрохімічний режим, зміна клімату, воднобалансове моделювання.

АННОТАЦИЯ

Павельчук Е. М. Особенности гидрологического и гидрохимического режима рек Житомирского Полесья в условиях изменения климата. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.07 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко Министерства образования и науки Украины, Киев, 2016.

Диссертация посвящена исследованию особенностей современного гидрологического и гидрохимического режимов рек Житомирского Полесья в условиях изменения климата. С учетом современных данных гидрологических наблюдений исследована фазово-циклическая структура многолетних колебаний водного стока рек Житомирского Полесья за период 1925–2012 гг., рассчитаны статистические параметры вариационных рядов водного стока и уточнены его многолетние нормы с учетом фазово-циклической структуры гидрологических рядов. Для проверки гипотезы о нарушении стационарности водного стока в условиях климатических изменений были исследованы его многолетние тенденции методом построения временных линейных трендов и их оценки по критерию Манна-Кендалла. Оценен характер внутригодового распределения водного стока в условиях изменения климата, выявлено устойчивую тенденцию в последнее десятилетие к уменьшению стока в период летней межени.

Исследованы сезонные и многолетние особенности гидрохимического режима рек, проведена оценка влияния антропогенных источников загрязнения на формирование и динамику содержания загрязняющих веществ в воде рек. Осуществлено статистическое моделирование зависимости содержания растворенных в воде веществ от величины водного стока, предложено графо-аналитический метод представления параметров гидрохимического режима в широком диапазоне реальных величин водного стока путем конструирования полуэмпирических графических моделей. Выполнен прогноз изменения водного стока рек на XXI век на основе воднобалансового моделирования и результатов моделирования климатических условий Украины. Оценены возможные изменения химического состава воды рек с учетом результатов долгосрочного гидрологического прогноза.

Расчеты прогнозных характеристик водного стока для территории Житомирского Полесья на XXI век на основе водно-балансовой модели Турка и результатов моделирования климата на основе ансамбля региональных климатических моделей позволили установить, что к 2050 г. существенного уменьшения водного стока исследуемых рек не предвидится.

Установлено, что в случае оправдываемости результатов климатического моделирования для территории Житомирского Полесья для периода 2080-2100 гг. (увеличение температуры воздуха на $3,04 \pm 0,6^\circ\text{C}$, увеличение осадков на 83 ± 30 мм) произойдет вероятное уменьшение стока на 30-46% по сравнению с многолетними нормами для рек Тетерев, Ирша, Случь, Уж. Среднее уменьшение слоя стока для территории Житомирского Полесья может достичь 22%.

Согласно полученных оценочных расчетов, при сохранении современного уровня антропогенной нагрузки даже при возможном заметном снижении водного стока на отдельных реках, изменения содержания растворенных минеральных веществ будет несущественной.

Ключевые слова: гидрологический режим, норма стока, гидрохимический режим, изменение климата, воднобалансовое моделирование.

22

SUMMARY

Pavelchuk E. M. The features of hydrological and hydrochemical regime of the rivers of Zhytomyr Woodlands in the conditions of climate changing. – Manuscript.

A thesis is submitted for the Candidate Degree in Geography in the speciality 11.00.07 - Hydrology , Water Resources, Hydrochemistry – Taras Shevchenko National University of Kyiv of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2016.

The thesis is devoted to the research of features of modern hydrological and hydrochemical regimes of the rivers of Zhytomyr Woodlands in the conditions of climate changing. Including the current data of hydrological observation, a phase-cyclic structure of perennial fluctuations of water flow of the rivers of Zhytomyr Woodlands during the period from 1925 till 2012 is investigated, statistical parameters of variation series of the water flow are calculated and long-term flow standards are specified. For the verification of the hypothesis about breaking the stationarity of the water flow in the conditions of climate changing, its long-term tendencies were investigated by the method of building the time linear trends and evaluation according to the criterions of Mann-Kendall.

The seasonal and perennial features of hydrochemical regime of the rivers are investigated, evaluation of influence of anthropogenic sources on the formation and dynamics of the contents of pollutants in the river water is made. Statistical modeling of dependence of the contents of dissolved substances in the water and the quantity of water flow is accomplished, graph-analytic method of presentation of hydrochemical regime options in the wide range of real sizes of water flow are proposed in the way of constructing semi-empirical graphical models. The forecast of changing of the water flow of the rivers for the XXI century is done on the basis of water - balance modeling and the results of the modeling of the climate conditions of Ukraine. The possibility of changes of the chemical composition of the river water including the results of long-term hydrological forecast are evaluated.

Keywords: hydrological regime, flow standards, hydrochemical regime, climate changing, water-balance modeling.