

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ГІДРОЛОГІЇ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЇ

Тема : «ПРОЕКЦІЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА РЕЖИМУ РІЧКОВОГО СТОКУ
Р.ГОРИНЬ В РАЙОНІ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ АЕС ДО СЕРЕДИНИ ХХІ СТ.
ВІДНОСНО СУЧАСНОГО КЛІМАТИЧНОГО ПЕРІОДУ»

Галузь знань 10 – Природничі науки
Спеціальність 103 – Науки про Землю
Освітньо-наукова програма:
Гідрологія та інтегроване управління водними ресурсами

студентка 2-го курсу магістратури
кафедри гідрології та гідроекології
Сиваш Світлана Русланівна

Професор, доктор геогр.н.
Гребінь Василь Васильович

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена дослідженню проєкцій змін клімату та режиму річкового стоку в районі Хмельницької атомної електростанції до середини XXI століття відносно сучасного кліматичного періоду (1991–2020 рр.) У роботі розглянуто сучасні підходи до дослідження кліматичних змін, проаналізовано їх основні тенденції в Україні та світі, а також особливості застосування кліматичних проєкцій для регіональних досліджень. Охарактеризовано кліматичні умови району дослідження в сучасний період (1991–2020 рр.), включаючи аналіз температурного режиму та атмосферних опадів. Значну увагу приділено гідрологічним особливостям басейну річки Горинь, зокрема його гідрографічним та фізико-географічним характеристикам. Досліджено режим річкового стоку, визначено його основні фази та закономірності сезонного розподілу водності. У третьому розділі здійснено оцінку прогностичних змін кліматичних характеристик до середини XXI століття на основі сучасних кліматичних сценаріїв. Визначено можливі тенденції змін температури повітря та кількості опадів у регіоні дослідження. На основі отриманих результатів проаналізовано очікувані зміни гідрологічного режиму річки Горинь, зокрема зміну величини та сезонності стоку. У результаті дослідження встановлено, що кліматичні зміни можуть призвести до суттєвої трансформації водного режиму, що проявляється у зміні сезонного розподілу стоку, зменшенні водності у маловодні періоди та зростанні ризику екстремальних гідрологічних явищ. Це, у свою чергу, може вплинути на умови функціонування Хмельницької АЕС. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для оцінки водних ресурсів, планування адаптаційних заходів до змін клімату та підвищення надійності роботи енергетичних об'єктів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Кліматичні зміни, їх тенденції в Україні та світі.....	8
1.2 Проекції зміни клімату та їх застосування для регіону дослідження.....	14
РОЗДІЛ 2 КЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГІОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ГІДРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ Р.ГОРИНЬ.....	22
2.1 Кліматична характеристика сучасного періоду (1991-2020рр).....	22
2.2 Загальна гідрографічна та фізико-географічна характеристика басейну...29	
2.3 Режим стоку та його основні фази.....	34
РОЗДІЛ 3 ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІН КЛІМАТУ ТА РЕЖИМУ РІЧКОВОГО СТОКУ В РАЙОНІ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ АЕС НА СЕРЕДИНУ ХХІ СТОЛІТТЯ.....	45
3.1 Прогнозні зміни й основні кліматичні характеристики.....	45
3.2 Тенденції зміни гідрологічного режиму стоку р.Горинь.....	54
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

Упродовж останніх десятиліть кліматична система Землі зазнає суттєвих змін, що проявляються у підвищенні середньорічної температури повітря, зміні режиму атмосферних опадів, збільшенні частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ. Такі трансформації мають комплексний вплив на природні системи, зокрема на гідрологічний цикл, який визначає формування, розподіл та динаміку водних ресурсів. В умовах України ці зміни набувають особливого значення через високу залежність економіки та енергетичного сектору від стабільності водозабезпечення. Одним із ключових аспектів впливу кліматичних змін є трансформація режиму річкового стоку, що включає зміну його сезонності, міжрічної мінливості, а також співвідношення між різними складовими водного балансу. Зміни у кількості опадів, температурному режимі, випаровуванні та сніговому покриві безпосередньо впливають на процеси формування стоку, що може призводити як до дефіциту водних ресурсів, так і до збільшення ризиків паводків і підтоплень. Особливої уваги потребують території розміщення об'єктів критичної інфраструктури, зокрема атомних електростанцій. Функціонування атомних електростанцій значною мірою залежить від наявності достатніх обсягів води належної якості, оскільки вода використовується у системах охолодження енергоблоків. У цьому контексті дослідження змін клімату та гідрологічного режиму в районі Хмельницької АЕС є вкрай важливим для оцінки довгострокових ризиків та розроблення адаптаційних заходів.

Актуальність теми магістерської роботи зумовлена необхідністю отримання науково обґрунтованих оцінок майбутніх змін кліматичних умов і водних ресурсів у регіоні розташування Хмельницької АЕС. Враховуючи стратегічне значення атомної енергетики для енергетичної безпеки України, забезпечення надійності функціонування таких об'єктів в умовах змін клімату є одним із пріоритетних

завдань сучасної науки. Крім того, результати дослідження можуть бути використані при плануванні водогосподарських заходів, управлінні водними ресурсами та вдосконаленні систем екологічного моніторингу.

Об'єктом дослідження є кліматична система та гідрологічний режим території в районі розташування Хмельницької атомної електростанції.

Предметом дослідження є просторово-часові закономірності змін кліматичних параметрів (температури повітря, опадів, випаровування) та характеристик річкового стоку, а також їхні проекції до середини XXI століття відносно сучасного кліматичного періоду.

Метою роботи є комплексна оцінка очікуваних змін кліматичних умов та режиму річкового стоку в районі Хмельницької АЕС на основі сучасних кліматичних сценаріїв і методів моделювання, а також визначення потенційних наслідків цих змін для водних ресурсів та функціонування енергетичного об'єкта.

Завдання дослідження:

- здійснити аналіз сучасних наукових підходів до вивчення кліматичних змін та їх впливу на гідрологічні процеси;
- дослідити сучасний стан кліматичної системи досліджуваного регіону, включаючи аналіз багаторічних змін температури повітря, атмосферних опадів та інших метеорологічних показників;
- проаналізувати сучасний гідрологічний режим річок у районі Хмельницької АЕС, зокрема сезонний розподіл стоку, його мінливість та екстремальні значення;

- обґрунтувати вибір кліматичних моделей і сценаріїв (зокрема сценаріїв викидів парникових газів), що використовуються для побудови проєкцій;
- виконати оцінку майбутніх змін основних кліматичних параметрів до середини XXI століття;
- здійснити моделювання змін річкового стоку з урахуванням отриманих кліматичних проєкцій;
- оцінити можливі ризики, пов'язані зі змінами водності, для функціонування Хмельницької АЕС;
- сформулювати рекомендації щодо адаптації до очікуваних змін клімату та гідрологічного режиму.

Стан дослідження проблеми свідчить про значний інтерес наукової спільноти до питань глобальних і регіональних кліматичних змін, що знайшло відображення у численних дослідженнях та звітах міжнародних організацій. Водночас більшість робіт має узагальнений характер і не враховує специфіку окремих територій та об'єктів. Регіональні дослідження для території України, зокрема в зоні розташування атомних електростанцій, залишаються обмеженими, особливо щодо поєднання кліматичних проєкцій із гідрологічним моделюванням. Це зумовлює необхідність проведення комплексних досліджень, спрямованих на деталізовану оцінку змін водного режиму.

Методи дослідження включають широкий спектр сучасних наукових підходів, зокрема:

- методи статистичного аналізу та обробки багаторічних рядів метеорологічних і гідрологічних спостережень;

- методи трендового аналізу для виявлення довгострокових змін;
- застосування кліматичних моделей глобального та регіонального масштабу;
- гідрологічне моделювання для оцінки змін стоку;
- порівняльний та системний аналіз отриманих результатів.

Інформаційною базою дослідження є дані спостережень метеорологічних і гідрологічних станцій, матеріали глобальних і регіональних кліматичних моделей, результати попередніх наукових досліджень, звіти міжнародних організацій, а також нормативно-правові документи у сфері клімату та водних ресурсів.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному поєднанні кліматичних проєкцій із оцінкою змін гідрологічного режиму для конкретного об'єкта енергетичної інфраструктури, що дозволяє отримати більш точні та прикладні результати для потреб управління водними ресурсами.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для підвищення ефективності управління водними ресурсами, забезпечення надійної роботи Хмельницької АЕС, а також розроблення заходів адаптації до змін клімату на регіональному рівні.

Структура роботи визначається логікою дослідження та поставленими завданнями. Робота складається зі вступу, кількох розділів, у яких послідовно викладено теоретичні основи дослідження, характеристику вихідних даних і методів, результати аналізу та моделювання, їх обговорення, висновки та список використаних джерел

РОЗДІЛ 1

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Кліматичні зміни, їх тенденції в Україні та світі

Проблематика кліматичних змін у ХХІ столітті набула статусу одного з ключових викликів глобального розвитку, оскільки трансформація кліматичної системи безпосередньо впливає на функціонування природних екосистем, водні ресурси, продовольчу безпеку, енергетику та соціально-економічну стабільність. [28, с. 22] Сучасні зміни клімату розглядаються не лише як природний прояв багаторічної мінливості атмосфери, а як результат складної взаємодії природних факторів та антропогенного впливу, що посилює інтенсивність природних процесів і змінює їх часово-просторову структуру. [14, с. 48]

Клімат Землі формується під впливом енергетичного обміну між Сонцем, атмосферою, поверхнею суші та Світовим океаном. Стан кліматичної системи визначається радіаційним балансом, атмосферною циркуляцією, вологообміном, теплообміном та особливостями підстильної поверхні. Порушення рівноваги між надходженням та віддачею теплової енергії призводить до зміни температурного режиму, атмосферної циркуляції та водного циклу. [20, с. 14]

Одним із фундаментальних механізмів сучасного потепління є посилення парникового ефекту. У природних умовах атмосфера утримує частину теплового випромінювання Землі, забезпечуючи температурний режим, придатний для існування життя. Проте зростання концентрації парникових газів — насамперед вуглекислого газу, метану, закису азоту та водяної пари — підсилює цей ефект, що призводить до накопичення тепла в нижніх шарах атмосфери. [24, с. 51]

Особливо значущим є антропогенний внесок у зміну складу атмосфери. Спалювання викопного палива, промислове виробництво, транспорт, сільське господарство, зміни землекористування та вирубування лісів сприяють збільшенню концентрації парникових газів. [21, с. 33] У результаті змінюється глобальний радіаційний баланс, що є головною причиною сучасного глобального потепління.

Підвищення глобальної температури супроводжується суттєвими змінами гідрологічного циклу. Оскільки температура визначає інтенсивність випаровування, збільшення теплового режиму атмосфери призводить до активізації вологообміну. Це змінює характер формування атмосферних опадів, просторовий розподіл вологи та інтенсивність гідрологічних процесів. [10, с. 28]

У глобальному масштабі спостерігається зростання контрастності кліматичних умов. Одні регіони стають більш вологими, тоді як в інших посилюються процеси аридизації. Поряд зі зміною середніх кліматичних характеристик відбувається збільшення частоти екстремальних погодних явищ: теплових хвиль, інтенсивних злив, посух, ураганів, повеней та лісових пожеж. [17, с. 7] Як видно з рис. 1.1. сучасні кліматичні зміни мають комплексний характер і проявляються у підвищенні температури, зміні режиму опадів, збільшенні частоти екстремальних явищ та трансформації гідрологічного циклу. [3, с. 57]

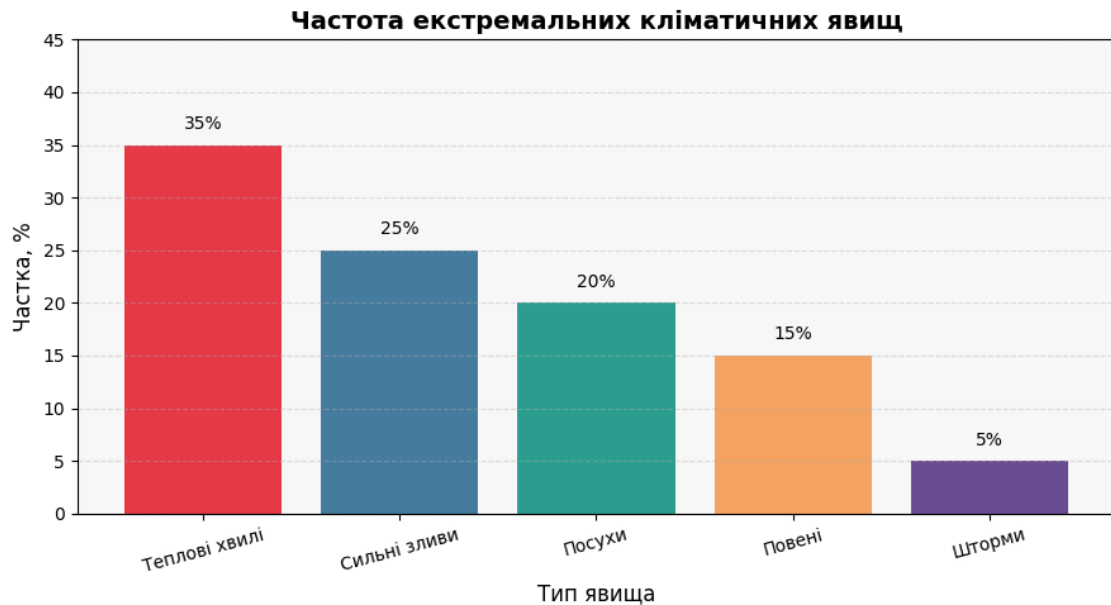


Рис. 1.1. Частота екстремальних кліматичних явищ в умовах сучасних кліматичних змін

Зміни клімату мають суттєвий вплив на кріосферу. Спостерігається інтенсивне скорочення площі морського льоду в Арктиці, танення гірських льодовиків, деградація багаторічної мерзлоти. Танення льодовиків сприяє підвищенню рівня Світового океану, що створює додаткові ризики для прибережних територій. [14, с. 48] Для континентальних територій особливо важливим є вплив кліматичних змін на водні ресурси. Зміна співвідношення між опадами, випаровуванням, інфільтрацією та поверхневим стоком безпосередньо впливає на формування річкового стоку. [25, с. 18]

Для України кліматичні зміни мають чітко виражений характер. Територія держави належить до регіонів, де глобальні кліматичні тенденції поєднуються з особливостями континентального клімату. Упродовж останніх десятиліть спостерігається стійке підвищення середньорічної температури повітря. [29, с. 45]

Найбільш інтенсивне потепління характерне для зимового періоду.

Це проявляється у:

- зменшенні кількості морозних днів;
- скороченні тривалості холодного сезону;
- нестійкості снігового покриву;
- збільшенні частоти зимових відлиг.

Такі зміни безпосередньо впливають на формування весняного водопілля, яке традиційно забезпечувало значну частину річного стоку річок України. [34, с. 51]

Зміни режиму атмосферних опадів в Україні є більш складними. Загальна річна кількість опадів змінюється незначно, однак спостерігається істотна трансформація їх сезонного розподілу. [8] У літній період збільшується частка короткочасних інтенсивних опадів, які часто мають зливовий характер. Це сприяє формуванню паводків, але не забезпечує стабільного поповнення запасів ґрунтової вологи. [17, с. 7] У степових районах України посилюються процеси аридизації, що проявляється у збільшенні повторюваності посух. Для поліських і лісостепових територій характерним є підвищення мінливості зволоження. [27]

Особливе значення кліматичні зміни мають для річкових басейнів, оскільки саме вони інтегрують результати змін усіх компонентів водного циклу. [31, с. 1]

Гідрологічний режим річок України демонструє тенденцію до:

- зменшення весняного стоку;
- збільшення ролі дощових паводків;
- зниження меженного стоку;
- зростання внутрішньорічної мінливості водності.

Для басейну річки Горинь ці процеси мають особливу актуальність, оскільки водні ресурси використовуються в районі Хмельницької АЕС. [32, с. 41] Дослідження гідроекологічного стану басейну підтверджують високу чутливість цієї території до змін температури та режиму атмосферних опадів. [13, с. 44]

Підвищення температури води також впливає на якість водних ресурсів. Активізуються біохімічні процеси, змінюється кисневий режим водойм, зростає ризик евтрофікації. [31, с. 12] Сучасні кліматичні зміни є комплексним процесом,

що охоплює атмосферу, гідросферу, літосферу та біосферу. Для України вони проявляються у підвищенні температури, зміні режиму опадів, трансформації водного балансу та перебудові гідрологічного режиму річок. Кліматична система Землі є складною динамічною структурою, яка формується під впливом взаємодії атмосфери, гідросфери, літосфери та біосфери. У сучасних умовах спостерігається активна трансформація цієї системи, що проявляється у зміні її основних характеристик. Особливо помітними є зміни температурного режиму та режиму атмосферних опадів. Вони мають як глобальний, так і регіональний характер. Зростання середньорічної температури є одним із ключових показників сучасних кліматичних змін. Воно пов'язане зі збільшенням концентрації парникових газів у атмосфері. Це призводить до посилення парникового ефекту. У результаті відбувається накопичення тепла в нижніх шарах атмосфери. Такий процес має довготривалий характер. Зміни температури супроводжуються трансформацією атмосферної циркуляції. Це проявляється у зміні траєкторій переміщення повітряних мас. Внаслідок цього змінюється розподіл тепла і вологи. Це впливає на формування кліматичних умов окремих регіонів. Для України ці процеси мають особливе значення. Однією з важливих особливостей є підвищення кліматичної мінливості. Це означає збільшення частоти різких змін погодних умов. Зокрема, спостерігаються коливання температури протягом коротких періодів. Такі зміни впливають на природні системи. Вони ускладнюють адаптацію екосистем.

В умовах подальшого розвитку кліматичних змін особливої актуальності набувають прогностичні оцінки їх впливу на гідрологічний режим річок. Сучасні підходи до моделювання клімату базуються на використанні ансамблів глобальних і регіональних кліматичних моделей, зокрема проєкту CMIP6, які дозволяють оцінити можливі сценарії змін температури повітря та атмосферних опадів до середини XXI століття. [9, с. 3] Згідно з оцінками Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC), упродовж найближчих десятиліть очікується стійке підвищення температури повітря, яке для регіонів Східної Європи може становити

1,5–2,5 °C відносно сучасного кліматичного періоду. [15, с. 117] Для території України ці зміни супроводжуватимуться трансформацією атмосферної циркуляції та сезонного розподілу опадів, що підтверджується результатами регіонального кліматичного моделювання. [18, с.41] Підвищення температури повітря безпосередньо впливає на інтенсивність гідрологічного циклу, зокрема на процеси випаровування та транспірації. Відповідно до класичних положень фізичної гідрології, збільшення випаровування призводить до зменшення ефективного стоку та зміни структури водного балансу басейну. [4, с. 76] Це особливо актуально для басейнів малих і середніх річок, до яких належить і річка Горинь. У межах досліджуваного регіону прогнозується суттєва перебудова внутрішньорічного розподілу річкового стоку. Очікується зменшення обсягів весняного водопілля внаслідок скорочення снігового покриву та більш раннього його танення. Водночас зростатиме частка дощового живлення річок, що сприятиме збільшенню частоти короточасних паводків у теплий період року. [17, с.7] Зміни режиму опадів матимуть нерівномірний характер. За даними Європейського агентства з довкілля, для більшості регіонів Європи характерним є зростання інтенсивності опадів при одночасному збільшенні тривалості бездощових періодів. [8, с. 54] Це призводить до підвищення гідрологічної мінливості та ускладнює прогнозування водних ресурсів. Особливої уваги потребують зміни меженного стоку. Згідно з теоретичними положеннями формування підземного живлення річок, зменшення інфільтрації та запасів ґрунтової вологи призводить до зниження базисного стоку. [11, с. 29] У поєднанні з підвищеним випаровуванням це може спричинити дефіцит водних ресурсів у літньо-осінній період. [10, с.88] Для району розташування Хмельницької АЕС ці процеси мають особливе значення, оскільки водні ресурси використовуються для технологічних потреб енергетичного об'єкта. Відповідно до концепції взаємозв'язку «вода–енергія», зміни гідрологічного режиму можуть впливати на ефективність функціонування енергетичних систем, зокрема процесів охолодження. [13, с.47] Крім кількісних змін, очікуються також якісні

трансформації водних ресурсів. Підвищення температури води сприяє активізації біохімічних процесів, зменшенню вмісту розчиненого кисню та розвитку евтрофікації. [25, с. 63] Це може негативно впливати на екологічний стан водних об'єктів і ускладнювати їх використання. Важливим інструментом оцінки майбутніх змін є методи статистичного даунскейлінгу та корекції систематичних похибок кліматичних моделей, які дозволяють адаптувати глобальні прогнози до регіонального рівня. [19, с. 6]. Їх застосування є необхідним для отримання більш точних оцінок змін річкового стоку в конкретних басейнах.

Отже, узагальнення сучасних наукових досліджень свідчить про те, що до середини XXI століття в районі Хмельницької АЕС очікується комплексна трансформація кліматичних і гідрологічних умов. Вона проявлятиметься у підвищенні температури повітря, зміні режиму атмосферних опадів, зменшенні весняного стоку, зростанні ролі дощових паводків і зниженні меженного стоку. Це зумовлює необхідність врахування кліматичних прогнозів у процесах управління водними ресурсами та забезпечення сталого функціонування енергетичних об'єктів.

1.2. Проекції зміни клімату та їх застосування для регіону дослідження

Прогнозування змін клімату є одним із ключових напрямів сучасної кліматології та гідрометеорології, оскільки дозволяє оцінити можливі трансформації природного середовища та їх вплив на водні ресурси, екосистеми й господарську діяльність. На відміну від аналізу сучасних кліматичних умов, який базується на спостереженнях, дослідження майбутніх змін потребує використання математичних моделей, здатних відтворювати фізичні процеси кліматичної системи.

Кліматичні проєкції формуються на основі чисельних моделей, які описують динаміку атмосфери, океану, кріосфери та біосфери. [12, с. 28] Ці моделі базуються на фундаментальних законах фізики, зокрема рівняннях руху, теплопереносу та збереження маси і енергії. Вони дозволяють моделювати складні процеси, такі як циркуляція атмосфери, формування опадів, теплообмін між поверхнею Землі та атмосферою, а також взаємодію між різними компонентами кліматичної системи. [14, с. 48]

У сучасній науці найбільш поширеними є глобальні кліматичні моделі (Global Climate Models, GCM), які охоплюють всю кліматичну систему Землі. Вони розбивають поверхню планети на тривимірну сітку, у кожній комірці якої розраховуються основні метеорологічні параметри. Просторова роздільна здатність таких моделей зазвичай становить від десятків до сотень кілометрів, що дозволяє відтворювати загальні закономірності кліматичних процесів, але є недостатнім для детального аналізу на регіональному рівні. [8, с. 22]

З метою підвищення точності прогнозів застосовуються регіональні кліматичні моделі (Regional Climate Models, RCM), які працюють у межах обмеженої території та мають значно вищу просторову деталізацію. [24, с.47] Вони дозволяють враховувати локальні особливості рельєфу, підстильної поверхні та циркуляційних процесів, що є особливо важливим для дослідження басейнів річок. Як видно з рис. 1.2. формування кліматичних проєкцій здійснюється на основі поєднання глобальних моделей, методів даунскейлінгу та регіональних моделей, що забезпечує деталізацію кліматичних параметрів на локальному рівні.

Схема формування кліматичних проекцій

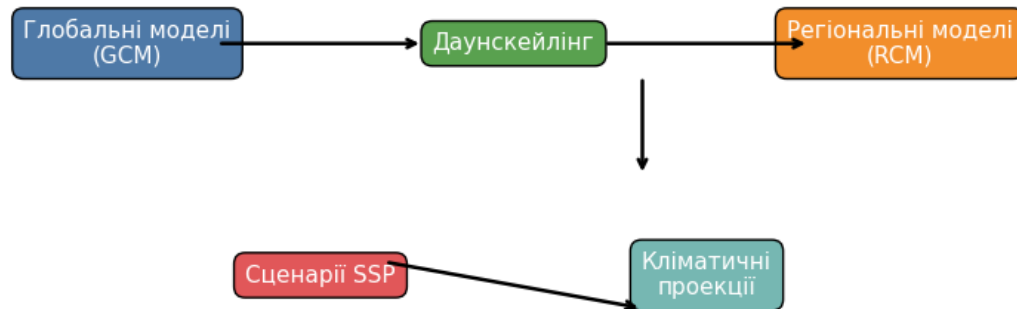


Рис. 1.2. Схема формування кліматичних проекцій та їх застосування у гідрологічних дослідженнях

Оскільки використання регіональних моделей потребує значних обчислювальних ресурсів, широко застосовуються методи даунскейлінгу, які дозволяють адаптувати результати глобальних моделей до локального масштабу. Існують два основні підходи до даунскейлінгу: динамічний та статистичний. [19, с. 17]

Динамічний даунскейлінг базується на використанні регіональних моделей, які деталізують результати глобальних моделей. Цей підхід забезпечує високу точність, однак є ресурсоємним. [12, с. 33]

Статистичний даунскейлінг передбачає встановлення емпіричних залежностей між великомасштабними кліматичними параметрами та локальними характеристиками. Він є більш простим у реалізації, однак його точність залежить від якості вихідних даних і стабільності статистичних залежностей у майбутньому.

Одним із сучасних методів корекції результатів кліматичного моделювання є метод квантильного дельта-відображення (Quantile Delta Mapping, QDM), який

дозволяє враховувати зміни не лише середніх значень, але й розподілу кліматичних величин. Це є особливо важливим для аналізу екстремальних явищ, які відіграють ключову роль у формуванні гідрологічного режиму. [18, с. 27]

Важливим елементом кліматичних проєкцій є використання сценаріїв розвитку кліматичної системи. У сучасних дослідженнях застосовуються сценарії SSP (Shared Socioeconomic Pathways), які враховують різні варіанти соціально-економічного розвитку людства. Вони відображають можливі траєкторії змін населення, економіки, енергетики та рівня викидів парникових газів. [23, с. 49]

Сценарії SSP поєднуються з радіаційними сценаріями, які визначають рівень додаткового радіаційного впливу на кліматичну систему. Наприклад, сценарій SSP5-8.5 передбачає високий рівень викидів парникових газів і значне підвищення температури, тоді як сценарії з нижчим рівнем викидів характеризуються менш інтенсивними змінами. [22, с. 9]

Для підвищення достовірності результатів використовуються ансамблі моделей, які поєднують результати кількох незалежних кліматичних моделей. Це дозволяє врахувати невизначеність, пов'язану з особливостями окремих моделей, і отримати більш надійні оцінки.

Кліматичні проєкції дозволяють оцінити зміни основних кліматичних параметрів, зокрема температури повітря, кількості атмосферних опадів, випаровування та частоти екстремальних явищ. Важливим є також аналіз сезонного розподілу цих змін, оскільки саме він визначає характер впливу кліматичних змін на природні процеси. [27]

Для території України кліматичні проєкції свідчать про стійку тенденцію до підвищення температури повітря. Очікується, що до середини XXI століття середньорічна температура може зрости на 1,5–3 °C залежно від сценарію. Найбільш інтенсивне потепління прогнозується у зимовий період, що призводить до скорочення тривалості холодного сезону. [30, с. 44]

Зміни режиму атмосферних опадів мають більш складний характер. Загальна річна кількість опадів може змінюватися незначно, однак очікується суттєвий перерозподіл їх протягом року. У зимовий період можливе збільшення кількості опадів, тоді як у літній період спостерігається тенденція до їх зменшення. [8, с. 31]

Підвищення температури повітря призводить до зростання інтенсивності випаровування, що, у свою чергу, впливає на водний баланс території. У результаті зменшується частка атмосферних опадів, яка бере участь у формуванні річкового стоку, що є одним із ключових механізмів впливу кліматичних змін на водні ресурси. [4, с. 34]

Для басейнів річок, зокрема річки Горинь, кліматичні проєкції є основою для оцінки змін гідрологічного режиму. Вони дозволяють визначити можливі зміни річкового стоку, його сезонної структури та екстремальних характеристик. [31, с. 104]

Застосування кліматичних проєкцій у гідрології передбачає використання моделей водного балансу, які дозволяють оцінити зміну співвідношення між основними його компонентами. Це дає змогу прогнозувати зміну водності річок, частоту паводків і тривалість меженного періоду. [10, с. 54]

Для басейну річки Горинь ці питання є особливо актуальними, оскільки водні ресурси використовуються для функціонування Хмельницької атомної електростанції. Зміни клімату можуть впливати на доступність води, її якість та температурний режим, що має важливе значення для енергетичної безпеки.

Як зазначається у дослідженнях, кліматичні фактори визначають структуру водно-теплового балансу басейну та впливають на формування річкового стоку. Зміни температури та опадів призводять до трансформації гідрологічного режиму, що проявляється у зміні сезонності стоку та його мінливості. [32, с. 41]

Подальший розвиток досліджень кліматичних проєкцій пов'язаний із необхідністю комплексного врахування невизначеностей, що виникають на різних етапах моделювання кліматичної системи. Основними джерелами таких

невизначеностей є вибір кліматичних моделей, сценаріїв соціально-економічного розвитку та методів просторової деталізації результатів. [9, с. 6] Врахування цих факторів зумовлює застосування ансамблевого підходу, який дозволяє оцінити не лише середні значення змін кліматичних параметрів, але й їх варіативність. [22, с. 14]

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється аналізу екстремальних кліматичних явищ, які мають найбільший вплив на природні та господарські системи. Очікується, що в умовах глобального потепління зростатиме частота та інтенсивність теплових хвиль, інтенсивних опадів і тривалих посух. [17, с. 7] Такі зміни безпосередньо впливають на формування гідрологічного режиму річок, сприяючи збільшенню ризику паводків і водночас поглибленню періодів маловоддя. [28, с. 33]

Одним із ключових напрямів застосування кліматичних проєкцій є їх інтеграція у водогосподарське планування. Сучасні підходи передбачають перехід від використання лише історичних гідрометеорологічних даних до врахування майбутніх змін клімату при оцінці водних ресурсів. [10, с. 91] Це дозволяє підвищити стійкість водогосподарських систем до кліматичних ризиків та забезпечити більш ефективне управління водними ресурсами. [25, с. 58]

Важливим аспектом є також просторовий аналіз кліматичних змін у межах річкових басейнів. Навіть у відносно невеликих басейнах можуть спостерігатися суттєві відмінності у зміні температури, кількості опадів та інтенсивності випаровування. [7, с. 23] Це зумовлює нерівномірність формування річкового стоку та потребує застосування детальних регіональних оцінок при моделюванні гідрологічних процесів.

Значний вплив кліматичні зміни мають на підземні води, які є важливою складовою водного балансу річкових басейнів. Зменшення інфільтрації та зміни режиму живлення ґрунтових вод призводять до зниження базисного стоку річок.

[11, с. 29] Це особливо проявляється у літньо-осінній період, коли роль підземного живлення є визначальною для підтримання водності річок.

Для району розташування Хмельницької АЕС важливим є врахування змін не лише кількісних, але й якісних характеристик водних ресурсів. Підвищення температури води сприяє активізації біохімічних процесів, що може призводити до погіршення її якості та зміни екологічного стану водойм. [31, с. 82] У поєднанні зі зменшенням стоку це створює додаткові обмеження для використання водних ресурсів у технологічних процесах.

Крім того, зміни клімату впливають на взаємозв'язок між водними ресурсами та енергетикою. Згідно з концепцією «вода–енергія», зниження водності річок і підвищення температури води можуть обмежувати ефективність роботи енергетичних об'єктів. [13, с. 52] Це особливо актуально для теплових і атомних електростанцій, які використовують воду для охолодження.

Важливим напрямом сучасних досліджень є оцінка змін водного балансу територій. Збільшення випаровування при одночасній зміні режиму опадів призводить до зменшення частки води, що бере участь у формуванні річкового стоку. [4, с. 34] Це є одним із ключових механізмів зниження водності річок у умовах потепління клімату.

Застосування кліматичних проекцій у гідрологічному моделюванні дозволяє оцінити можливі зміни сезонної структури стоку. Очікується зменшення ролі весняного водопілля та зростання значення дощових паводків, що змінює традиційний гідрологічний режим річок. [31, с. 84] Це призводить до збільшення внутрішньорічної мінливості водності.

У сучасних умовах особливого значення набувають адаптаційні заходи, спрямовані на зменшення негативного впливу кліматичних змін. До них належать удосконалення систем управління водними ресурсами, впровадження водозберігаючих технологій та модернізація гідротехнічної інфраструктури. [27]

Важливим є також розвиток систем моніторингу та прогнозування, які дозволяють оперативно реагувати на зміни гідрометеорологічних умов.

Таким чином, використання кліматичних проекцій у поєднанні з гідрологічними моделями дозволяє не лише оцінити можливі зміни водного режиму, але й сформувавши наукову основу для прийняття управлінських рішень. Це є необхідною передумовою забезпечення водної та енергетичної безпеки регіону в умовах подальших кліматичних змін.

РОЗДІЛ 2

КЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГІОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ГІДРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ Р.ГОРИНЬ

2.1. Кліматична характеристика сучасного періоду (1991–2020 рр.)

Кліматичні умови басейну річки Горинь формуються під впливом загальноциркуляційних процесів атмосфери, радіаційного балансу та фізико-географічних особливостей території, зокрема рельєфу, підстильної поверхні та характеру землекористування. [27] Досліджуваний регіон розташований у межах помірного кліматичного поясу, що визначає помірно континентальний тип клімату з достатнім зволоженням, відносно м'якою зимою та теплим літом. Водночас у сучасному кліматичному періоді (1991–2020 рр.) чітко простежуються тенденції, пов'язані з глобальним потеплінням, які істотно впливають на всі компоненти кліматичної системи. [8, с. 21]

Температурний режим є визначальним фактором формування кліматичних умов території та водного балансу басейну. У межах басейну річки Горинь середньорічна температура повітря змінюється в межах 7–9 °С, що відповідає умовам лісостепової та поліської зон України. [29, с. 48] Однак аналіз сучасного періоду свідчить про наявність стійкої тенденції до її підвищення. Особливо інтенсивне зростання температури спостерігається у зимові місяці, що проявляється у збільшенні кількості днів з додатною температурою та частішому виникненні відлиг. Це призводить до порушення процесів формування снігового покриву, який стає нестійким і нерівномірним за потужністю. Як видно з рис. 2.1. річний хід температури повітря характеризується чіткою сезонною динамікою: мінімальні значення спостерігаються у зимові місяці, тоді як максимальні — у літній період із піком у липні. [34, с. 53]

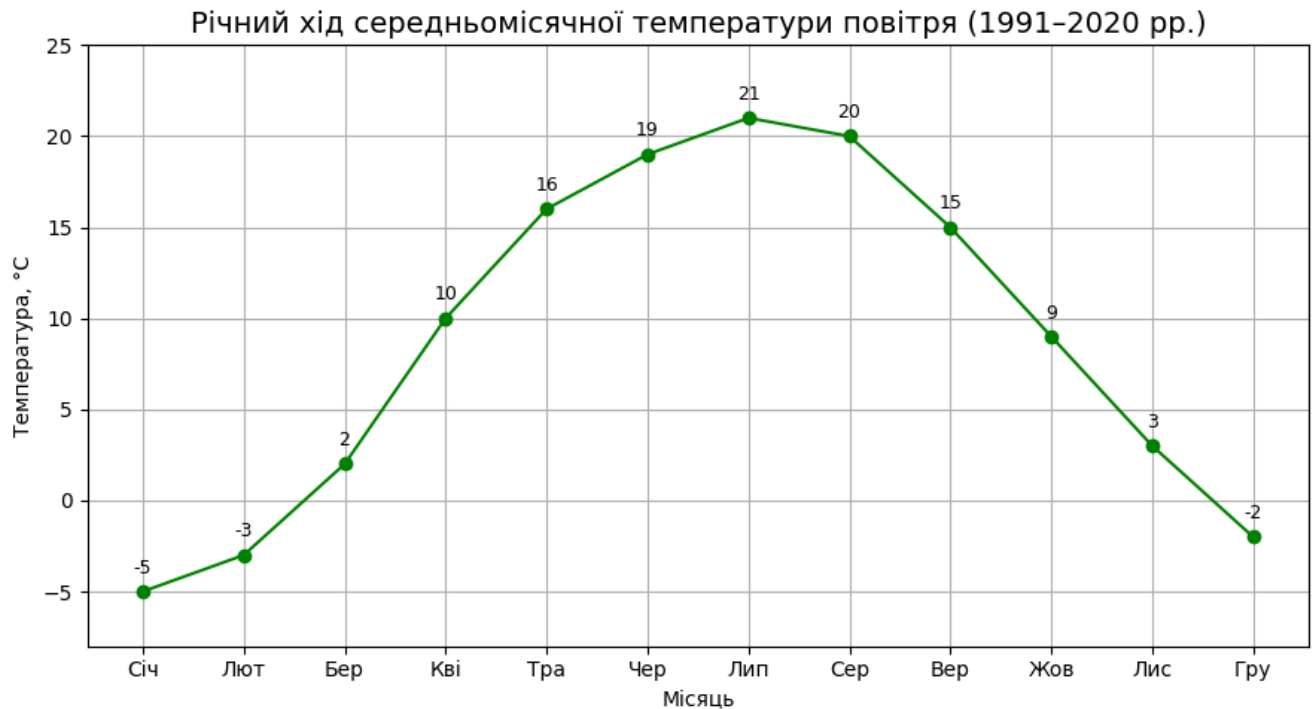


Рис. 2.1. Річний хід середньомісячної температури повітря в басейні р. Горинь (1991–2020 рр.)

Згідно з дослідженнями гідроекологічного стану басейну Горині, температурний режим безпосередньо впливає на формування водно-теплого балансу території, визначаючи інтенсивність випаровування та умови накопичення вологи. Підвищення температури сприяє зростанню випаровування, що призводить до зменшення ефективної частки атмосферних опадів, яка бере участь у формуванні річкового стоку. [4, с. 34]

У зимовий період середні температури повітря коливаються в межах від -3 до -6 °C, проте у сучасних умовах дедалі частіше спостерігаються аномально теплі зими. Це призводить до зменшення запасів води у сніговому покриві та зміни характеру його танення. Якщо раніше весняне водопілля формувалося переважно за рахунок поступового танення снігу, то нині значна частина талої води формується протягом зими під час відлиг, що знижує об'єм весняного стоку. [31, с. 102]

У теплий період року температурний режим характеризується підвищеними значеннями, особливо у липні, коли середні температури можуть досягати 18–20 °С. Останні десятиліття відзначаються збільшенням кількості днів із високими температурами, що супроводжується розвитком посушливих явищ. Підвищення температури влітку призводить до зростання випаровування як з поверхні ґрунту, так і з водної поверхні, що безпосередньо впливає на зменшення водності річок у меженний період.[10, с. 35]

Атмосферні опади є другим за значенням кліматичним фактором, що визначає формування водних ресурсів басейну. Річна сума опадів у межах басейну Горині становить у середньому 550–650 мм, що відповідає умовам достатнього зволоження. [10, с. 45] Водночас важливим є не лише загальний обсяг опадів, але й їх розподіл протягом року. У сучасний період спостерігається зміна характеру опадів, що проявляється у збільшенні їх інтенсивності та зменшенні тривалості.

За даними досліджень, у басейні річки Горинь спостерігається нерівномірний розподіл опадів, при якому значна їх частина припадає на літній період . Однак ці опади часто мають зливовий характер, що призводить до швидкого стікання води по поверхні і зменшує її інфільтрацію у ґрунт. Це, у свою чергу, знижує поповнення підземних вод і негативно впливає на базисний стік річок. [8, с. 31]

У холодний період року все частіше спостерігається випадіння опадів у вигляді дощу, що пов'язано з підвищенням температури. Це призводить до зміни умов формування стоку, оскільки дощові опади сприяють швидкому поверхневому стіканню води, тоді як снігові забезпечують її поступове надходження до річок. [17, с. 7]

Важливу роль у формуванні клімату відіграє атмосферна циркуляція. Територія басейну Горині знаходиться під впливом західного переносу повітряних мас, що забезпечує надходження вологого повітря з Атлантики. Водночас у літній період можливе проникнення континентальних повітряних мас зі сходу та

південного сходу, що сприяє формуванню сухої та спекотної погоди. Така змінність циркуляційних процесів зумовлює високу варіабельність кліматичних умов. [27]

Суттєвим фактором є також відносна вологість повітря, яка визначає інтенсивність випаровування. У басейні Горині вона є відносно високою у холодний період року, проте влітку, особливо за умов високих температур, спостерігається її зниження. Це сприяє формуванню дефіциту вологи та посиленню посушливих процесів. [10, с. 37]

Не менш важливим є вплив підстильної поверхні на кліматичні умови. Значна частина басейну зайнята лісами та болотами, які відіграють важливу роль у регулюванні водного режиму. Лісові масиви сприяють затриманню опадів, зменшенню швидкості вітру та випаровування, що позитивно впливає на водний баланс території. Водночас антропогенне перетворення ландшафтів, зокрема осушення боліт і розорювання земель, призводить до зміни мікрокліматичних умов і може посилювати негативний вплив кліматичних змін. [4, с. 27]

У межах басейну річки Горинь важливим є взаємозв'язок кліматичних умов і гідрологічних процесів. Як зазначається у монографії, динаміка атмосферних опадів і температури повітря безпосередньо визначає параметри водного балансу, що впливає на формування річкового стоку. Зміни кліматичних показників призводять до трансформації як річного, так і сезонного розподілу стоку. [27]

У сучасних умовах спостерігається тенденція до зменшення весняного водопілля, що пов'язано зі скороченням снігового покриву та зміною режиму його танення. Натомість зростає роль дощових паводків, які характеризуються більшою мінливістю та непередбачуваністю. У літньо-осінній період відзначається зниження мінімального стоку, що створює ризики вододефіциту. [34, с. 22]

Таким чином, кліматичні умови басейну річки Горинь у сучасний період характеризуються поєднанням помірної континентальності та достатнього зволоження, однак під впливом глобальних кліматичних змін відбувається їх поступова трансформація. Основними тенденціями є підвищення температури

повітря, зміна режиму атмосферних опадів та зростання варіабельності кліматичних показників, що безпосередньо впливає на формування водного балансу і гідрологічного режиму річки.

Важливою характеристикою клімату басейну річки Горинь є також радіаційний режим, який визначає енергетичну основу всіх кліматичних процесів. Сумарна сонячна радіація змінюється протягом року і досягає максимальних значень у літній період, що сприяє інтенсивному прогріванню підстильної поверхні. У зимовий період, навпаки, спостерігається зменшення радіаційного балансу, що обумовлює охолодження повітряних мас. У сучасних умовах зміна радіаційного балансу пов'язана з підвищенням температури та зміною хмарності, що впливає на процеси випаровування і, відповідно, на водний баланс території. [14, с. 48]

Значний вплив на кліматичні умови регіону має вітровий режим, який визначається загальною циркуляцією атмосфери. У межах басейну річки Горинь переважають західні та північно-західні вітри, які приносять вологі повітряні маси з Атлантичного океану. Водночас у літній період можливе формування антициклоніальних умов, що супроводжується слабкими вітрами та високими температурами. [27] Це сприяє розвитку посушливих явищ і зменшенню водності річок.

Окрему увагу слід приділити показникам випаровування, які є важливою складовою водного балансу. У межах басейну річки Горинь потенційне випаровування значною мірою визначається температурним режимом і може суттєво зростати у теплий період року. Підвищення температури повітря призводить до збільшення дефіциту вологості, що сприяє інтенсивному випаровуванню з поверхні ґрунту, рослинності та водних об'єктів. Це, у свою чергу, зменшує об'єм води, який бере участь у формуванні річкового стоку.

Як зазначається у дослідженнях басейну Горині, зміни температурного режиму та випаровування мають суттєвий вплив на водно-тепловий баланс території, що визначає умови формування стоку. Збільшення випаровування у

поєднанні зі змінами режиму опадів призводить до зниження ефективного зволоження території, що особливо проявляється у літній період. [32, с. 33]

Важливою складовою кліматичної характеристики сучасного періоду є також аналіз кліматичної мінливості, яка визначає ступінь нестабільності метеорологічних умов у межах досліджуваної території. У сучасних умовах спостерігається тенденція до зростання міжрічної та внутрішньосезонної мінливості температури повітря та атмосферних опадів. [8, с. 24] Це проявляється у чергуванні періодів надмірного зволоження та посушливих умов, що ускладнює формування стабільного водного режиму річок.

Однією з характерних ознак сучасного клімату є збільшення кількості аномальних погодних явищ. До них належать тривалі періоди спеки, інтенсивні зливові опади, грози та шквали, які мають локальний, але високий за інтенсивністю характер. [17, с. 7] Такі явища суттєво впливають на формування поверхневого стоку, сприяючи розвитку паводкових процесів.

Суттєві зміни відбуваються і в режимі снігового покриву, який є важливим елементом гідрологічного циклу. У сучасний період спостерігається скорочення тривалості його залягання, зменшення висоти та водного запасу. [34, с. 55] Це призводить до зниження ролі снігового живлення у формуванні річкового стоку та зміщення максимуму водності на більш ранні строки.

Крім того, важливим показником є тривалість бездощових періодів, яка має тенденцію до збільшення у теплий сезон. Це призводить до висушування ґрунтів, зниження рівня ґрунтових вод і погіршення умов живлення річок. [10, с. 68]. У результаті формується дефіцит вологи, який особливо відчутний у літньо-осінній період.

Важливим фактором є також зміна гідротермічного коефіцієнта, який характеризує співвідношення між опадами та температурою. У сучасних умовах для території басейну Горині спостерігається тенденція до його зниження у літній

період, що свідчить про посилення посушливості клімату. [29, с. 52] Це негативно впливає на агрокліматичні умови та водний баланс території.

Значний вплив на кліматичні умови має і трансформація землекористування. Зміни у структурі ландшафтів, зокрема зменшення площ лісів та осушення заболочених територій, призводять до зміни тепло- та вологообміну між поверхнею та атмосферою. [15, с. 31] Це може підсилювати локальні кліматичні ефекти та змінювати умови формування мікроклімату.

У сучасний період також відзначається підвищення повторюваності атмосферних посух, які формуються внаслідок тривалого дефіциту опадів у поєднанні з високими температурами повітря. [23, с. 34] Це явище має комплексний характер і суттєво впливає на водні ресурси, зменшуючи об'єм доступної води.

Особливе значення має взаємозв'язок кліматичних умов із гідрологічними характеристиками річок. Зміни температури та режиму опадів безпосередньо впливають на сезонний розподіл стоку, змінюючи співвідношення між різними фазами водності. [31, с. 84] Це проявляється у зменшенні весняного максимуму та збільшенні ролі короткочасних паводків.

Таким чином, сучасний клімат басейну річки Горинь характеризується не лише зміною середніх значень метеорологічних показників, але й зростанням їх мінливості та екстремальності. Це зумовлює необхідність комплексного врахування кліматичних факторів при оцінці водних ресурсів і прогнозуванні гідрологічного режиму території

2.2. Загальна гідрографічна та фізико-географічна характеристика басейну річки

Річка Горинь є однією з ключових складових правобережної частини басейну річки Прип'ять і належить до водної системи Дніпра. Вона формує значну частину водних ресурсів регіону та відіграє важливу роль у забезпеченні природних і господарських потреб території. Формування її гідрологічного режиму зумовлене складною взаємодією кліматичних, геоморфологічних, геологічних та антропогенних чинників. [4, с. 34] Витік річки Горинь розташований поблизу села Волиця Тернопільської області на висоті близько 345 м над рівнем моря. Загальна довжина річки становить приблизно 659 км, площа водозбірного басейну — 27,65 тис. км², а загальне падіння русла сягає близько 220 м, що відповідає середньому похилу водної поверхні близько 0,3 м/км. [3, с. 83] Річка протікає з південного заходу на північний схід у межах Тернопільської, Хмельницької та Рівненської областей і впадає у річку Прип'ять на території Білорусі. Як видно з рис. 2.2. басейн річки Горинь має витягнуту форму та складну гідрографічну структуру з розгалуженою мережею приток, що визначає особливості формування річкового стоку. [17, с. 19]

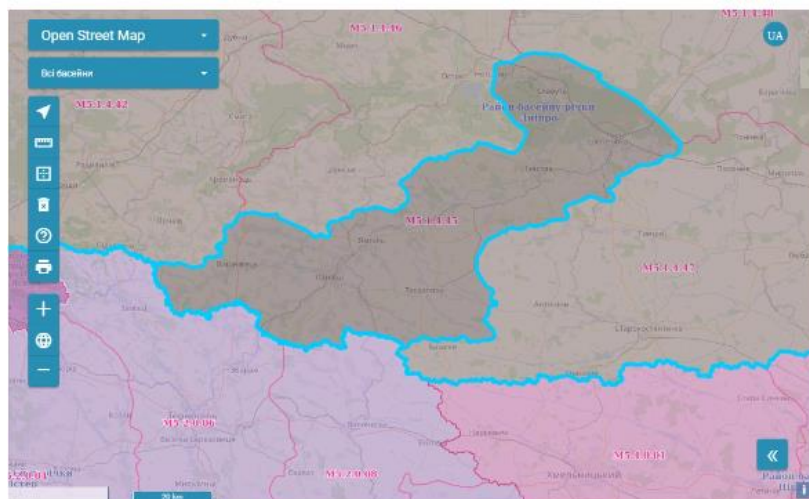


Рис. 2.2. Картосхема верхньої частини басейну р. Горинь від витоків до створу Хмельницької АЕС

Конфігурація басейну річки Горинь характеризується витягнутою, асиметричною формою, близькою до грушоподібної. Його довжина становить близько 300 км, середня ширина — близько 90 км, при цьому у центральній частині басейн значно розширюється. Просторове положення басейну визначає його гідрологічні зв'язки із суміжними водозбірними територіями: на заході він межує з басейном річки Стир, на сході — з басейнами річок Ствига, Уборть, Уж і Тетерів, а на півдні — із басейнами Південного Бугу та Дністра . [4, с. 60]

Гідрографічна мережа басейну є добре розвиненою та характеризується значною щільністю і розгалуженістю. Провідну роль у формуванні стоку відіграють притоки різних порядків, серед яких найбільшою є річка Случ, що має довжину понад 450 км і площу водозбору близько 13,8 тис. км². Вона впадає у Горинь у нижній частині течії з правого берега, суттєво збільшуючи водність основного русла. Важливими елементами гідрографічної структури також є річки Вілія, Стубла та Устя, які забезпечують формування стоку у верхній та середній частинах басейну. [7, с. 41]

Морфологічні особливості русла річки Горинь суттєво змінюються за течією. У верхній частині русло є помірно звивистим, тоді як у середній та нижній частинах його звивистість значно зростає, що зумовлює розвиток меандрів і формування широких заплав. Ширина русла у верхів'ї становить 3–10 м, тоді як у нижній течії вона збільшується до 25–60 м і більше. На окремих ділянках ширина може досягати 150–190 м . [4, с. 68]

Глибина річки варіює залежно від морфологічних умов русла: на перекатах вона становить 0,3–1,0 м, тоді як на плесах може досягати 2–5 м і більше. Швидкість течії також є змінною: у руслових звуженнях і на перекатах вона сягає 0,5–1,3 м/с, тоді як на плесах знижується до 0,1–0,3 м/с. Дно русла переважно піщане, місцями замулене, а у верхній течії зустрічаються кам'яністі ділянки. [3, с. 95]

Берегова зона характеризується значною морфологічною різноманітністю. Висота берегів коливається у межах 1–6 м, при цьому вони можуть бути як крутими

та обривистими, так і пологими. У верхній течії береги часто сформовані торф'янистими відкладами та вкриті рослинністю, тоді як у нижній частині переважають піщані та супіщані породи, які легко піддаються ерозії та обвалам . [14, с. 48]

Долина річки Горинь має складну морфологічну структуру та змінюється за течією. У верхній частині вона відносно вузька, з крутим профілем схилів і шириною від 0,4 до 7 км. У середній та нижній частинах долина поступово розширюється, схили стають пологішими, а заплава — більш розвиненою. Заплава річки переважно двостороння, заболочена і виконує важливу водорегулюючу функцію. Її ширина змінюється від кількох сотень метрів у верхній течії до кількох кілометрів у нижній частині. [4, с. 72]

Особливе значення у контексті дослідження має річка Гнилий Ріг, яка є правою притокою річки Вілія і використовується для забезпечення функціонування Хмельницької атомної електростанції. Її довжина становить близько 28 км, а площа водозбору — понад 200 км². Басейн цієї річки характеризується значною лісистістю та заболоченістю, що визначає особливості формування її стоку . [4, с. 45]

Суттєвий вплив на гідрологічний режим басейну мають штучні водойми, які широко представлені у межах досліджуваної території. У зоні впливу Хмельницької АЕС функціонує значна кількість ставків і водосховищ, загальний об'єм яких перевищує 120 млн м³. [11, с. 29] Особливу роль відіграє водойма-охолоджувач, яка забезпечує технологічні потреби станції та впливає на локальний водний баланс .

Важливим елементом водного балансу є втрати води на випаровування, які особливо інтенсивні у теплий період року. У межах басейну річки Горинь значна частина водних ресурсів втрачається саме через випаровування з поверхні водойм. [16, с. 31] У зоні впливу Хмельницької АЕС ці втрати можуть досягати десятків мільйонів кубічних метрів на рік, причому їх максимальні значення припадають на літній період. Додаткове випаровування з водойми-охолоджувача зумовлене підвищеною температурою води, що є наслідком функціонування енергоблоків.

Кліматичні умови басейну річки Горинь характеризуються помірно теплим і вологим типом. Середньорічна температура повітря становить близько 7 °С, при цьому найнижчі значення спостерігаються у січні, а найвищі — у липні. [4, с. 63] Тривалість вегетаційного періоду перевищує 200 днів, що створює сприятливі умови для розвитку рослинності та формування біогеохімічних процесів. [4, с. 22]

Відносна вологість повітря є досить високою і становить у середньому близько 80%, що свідчить про достатній рівень зволоження території. У регіоні переважають вітри західного та північно-західного напрямків, які забезпечують надходження вологих повітряних мас і впливають на розподіл атмосферних опадів. [6, с. 52]

З фізико-географічної точки зору басейн річки Горинь доцільно поділяти на дві основні частини: поліську (рівнинну) та волинсько-подільську (височинну). Поліська частина характеризується рівнинним рельєфом із незначними абсолютними висотами, значною заболоченістю та переважанням піщаних відкладів. У цій зоні активно проявляються процеси заболочення, підтоплення, а також еолові процеси. [6, с. 74]

Гідрологічна мережа поліської частини включає річки, меліоративні канали, болота, озера та штучні водойми. Густота річкової мережі становить 0,25–0,39 км/км², що свідчить про достатню розвиненість дренажної системи. У другій половині XX століття вона значно збільшилася внаслідок активного проведення меліоративних заходів.

Ґрунтовий покрив басейну представлений дерново-підзолистими, лучними, болотними та торфовими ґрунтами, які характеризуються різною водоутримуючою здатністю. Рослинний покрив представлений переважно сосновими та дубово-сосновими лісами, а також луками і болотними угіддями, які відіграють важливу роль у регулюванні водного режиму. [15, с. 27]

Антропогенний вплив у межах басейну є значним і проявляється у вигляді меліорації, трансформації русел річок, змін структури землекористування та

скорочення площ лісів. Осушення заболочених територій призвело до зміни природного водного балансу та зниження рівня ґрунтових вод. Крім того, значна частина території використовується у сільському господарстві, що впливає на процеси формування стоку. [11, с. 29]

Таким чином, басейн річки Горинь є складною природно-антропогенною системою, у межах якої взаємодіють різноманітні фактори, що визначають формування гідрологічного режиму. Його особливості обумовлюють високу чутливість до кліматичних змін, що є важливим аспектом подальших досліджень.

Однією з важливих характеристик басейну є коефіцієнт стоку, який відображає ефективність перетворення атмосферних опадів у річковий стік. Для басейну річки Горинь, за умов середньорічної кількості опадів 600 мм та шару стоку близько 180 мм, цей коефіцієнт можна оцінити за формулою (2.1).

(2.1)

$$C = \frac{R}{P} = \frac{180}{600} = 0,3$$

Це значення відповідає умовам помірного зволоження та свідчить про значні втрати води на випаровування та інфільтрацію. [3, с. 57]

Важливим показником є також шар стоку, який характеризує об'єм води, що стікає з одиниці площі басейну. Його можна визначити через модуль стоку за формулою (2.2).

(2.2)

$$H = \frac{q \cdot 31,5}{1000}$$

де $q=4$ л/с·км².

У результаті отримуємо:

$H \approx 126 \text{ мм/рік}$

Окремо слід враховувати вплив ландшафтної структури на формування стоку. Значна лісистість басейну (до 30–40 %) сприяє зменшенню поверхневого стоку та підвищенню інфільтрації. [3, с. 62] Це забезпечує більш рівномірний режим водності, але водночас знижує пікові витрати.

Суттєвим є також коефіцієнт заболоченості, який для поліської частини басейну є підвищеним. Болота виконують функцію природних акумуляторів води, затримуючи її у період надмірного зволоження та поступово віддаючи у меженний період. [25, с. 27]

2.3. Режим стоку та його основні фази

Режим річкового стоку є інтегральною характеристикою гідрологічного функціонування басейну, яка відображає закономірності формування, розподілу та змін водності річки протягом року. [7, с. 52] Він формується під впливом комплексу природних факторів, серед яких провідну роль відіграють кліматичні умови, особливості рельєфу, геологічної будови, ґрунтового та рослинного покриву, а також антропогенна діяльність. [3, с. 57] Для річки Горинь характерний змішаний тип живлення з переважанням снігового, що визначає чітко виражену сезонність стоку.

У межах басейну річки Горинь гідрологічний режим характеризується наявністю кількох основних фаз, які послідовно змінюють одна одну протягом року. До них належать весняне водопілля, літньо-осінні паводки та меженний період. Кожна з цих фаз має свої особливості формування та суттєво відрізняється за водністю, тривалістю та гідродинамічними характеристиками. Як видно з рис. 2.3. найбільша частка річного стоку припадає на весняне водопілля, тоді як частка паводків і меженного періоду є значно меншою. [3, с. 83]

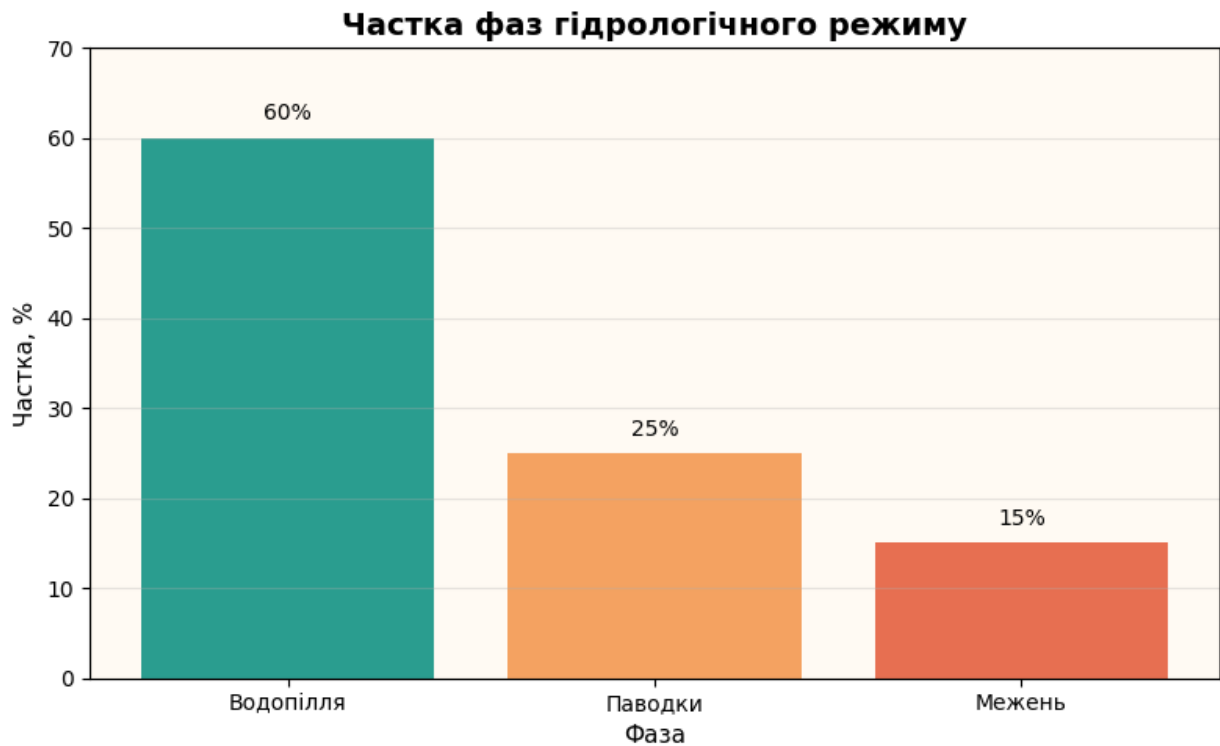


Рис. 2.3. Частка основних фаз гідрологічного режиму

Весняне водопілля є основною фазою формування стоку і забезпечує значну частину річного об'єму води. Воно формується внаслідок танення снігового покриву, який накопичується протягом зимового періоду. У традиційних кліматичних умовах водопілля характеризується поступовим підвищенням рівня води, досягненням максимальних витрат та подальшим спадом. [4, с. 72] Тривалість цієї фази може становити від кількох тижнів до двох місяців залежно від погодних умов. Як видно з рис. 2.4. найбільші витрати води припадають на весняний період, що пов'язано з таненням снігового покриву, після чого спостерігається поступове зниження водності. [3, с. 95]

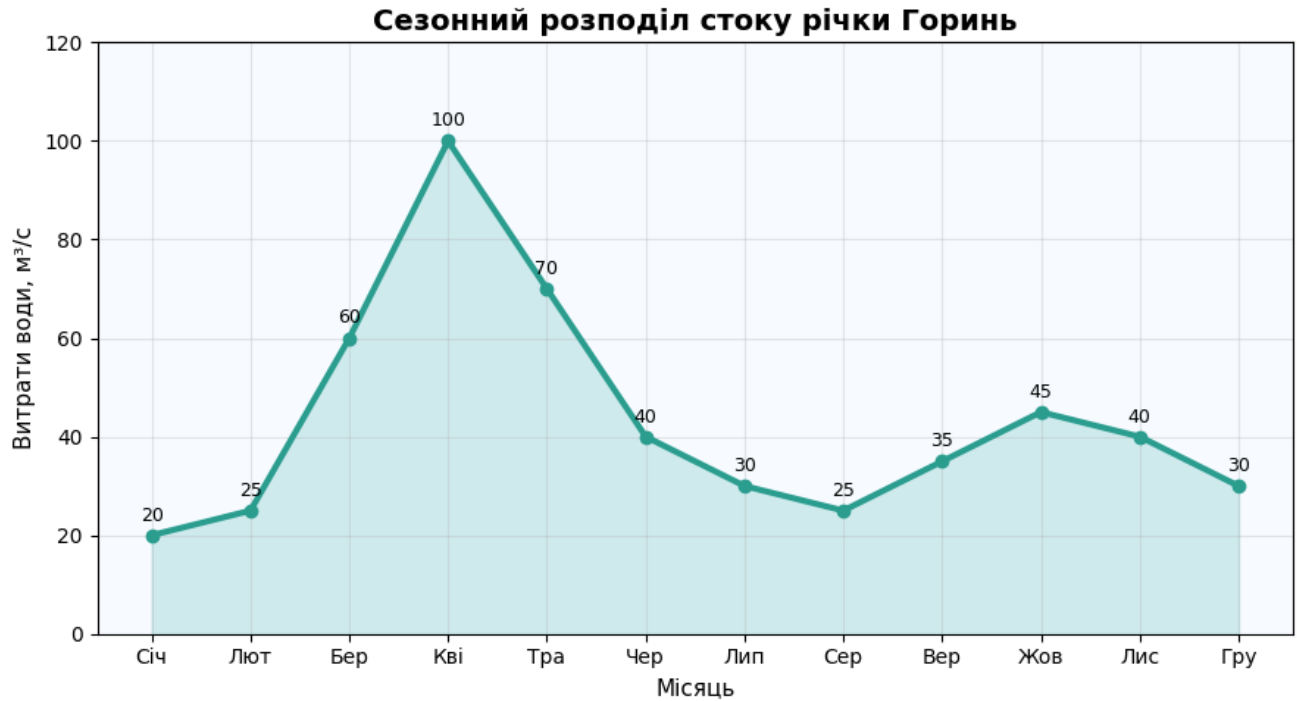


Рис. 2.4. Сезонний розподіл стоку річки Горинь

Однак у сучасних умовах спостерігається трансформація процесів формування весняного водопілля. Підвищення температури повітря та часті відлиги призводять до того, що частина снігового покриву тоне ще в зимовий період, що зменшує об'єм води, який надходить у річку навесні. У результаті спостерігається зниження пікових витрат води та скорочення тривалості водопілля. Як зазначається у дослідженнях басейну Горині, зміни температурного режиму безпосередньо впливають на процеси формування стоку та його сезонний розподіл. [4, с. 72]

Після завершення весняного водопілля настає період літньо-осінньої межені, який характеризується мінімальними витратами води. У цей період основним джерелом живлення річки є підземні води, що забезпечують базисний стік. Водність річки у цей час значною мірою залежить від запасів вологи, накопичених у ґрунті та водоносних горизонтах. [11, с. 25]

У сучасних кліматичних умовах меженний період зазнає істотних змін. Підвищення температури та зростання випаровування призводять до зменшення запасів вологи, що негативно впливає на підземне живлення річок. У результаті спостерігається зниження мінімального стоку, що створює ризики вододефіциту, особливо у посушливі роки. Це має важливе значення для водогосподарського використання річки, зокрема для забезпечення потреб Хмельницької АЕС. [11, с. 25]

У літній та осінній періоди значну роль у формуванні стоку відіграють дощові паводки, які виникають унаслідок випадіння інтенсивних атмосферних опадів. На відміну від весняного водопілля, паводки характеризуються короткочасністю та різкими коливаннями рівня води. Їх формування залежить від інтенсивності опадів, стану ґрунту та ступеня його насичення вологою. [1, с. 18]

У басейні річки Горинь дощові паводки можуть виникати кілька разів протягом року, особливо у літній період. Вони можуть призводити до значних коливань рівня води та локальних підтоплень. Зміни клімату, які проявляються у збільшенні інтенсивності опадів, сприяють зростанню частоти та сили паводків. Це створює додаткові ризики для населених пунктів та об'єктів інфраструктури. [17, с. 51] Важливим аспектом є також внутрішньорічний розподіл стоку, який визначає співвідношення між різними фазами гідрологічного режиму. У традиційних умовах найбільша частка стоку припадає на весняний період, тоді як у літньо-осінній період вона значно зменшується. Проте в умовах кліматичних змін спостерігається перерозподіл стоку, що проявляється у зменшенні частки весняного водопілля та зростанні ролі дощових паводків. [27]

Згідно з дослідженнями, проведеними для басейну річки Горинь, динаміка елементів водно-теплогового балансу має визначальний вплив на формування стоку. Зміни температури та опадів призводять до порушення усталених закономірностей формування гідрологічного режиму, що проявляється у зростанні його мінливості.

Антропогенний вплив також відіграє важливу роль у формуванні режиму стоку. Осушення заболочених територій, регулювання річок, будівництво водосховищ і каналів призводять до зміни природних умов формування стоку. Зокрема, меліоративні заходи сприяють зменшенню здатності території акумулювати вологу, що може призводити до зниження водності річок у меженний період.

У районі Хмельницької АЕС гідрологічний режим річки Горинь зазнає додаткового впливу внаслідок водогосподарської діяльності. [7, с. 63] Використання води для технологічних потреб та її повернення у водні об'єкти змінює природний режим стоку та може впливати на його сезонну динаміку. Як зазначається у дослідженнях, антропогенне навантаження може суттєво змінювати як кількісні, так і якісні характеристики водних ресурсів.

Таким чином, режим стоку річки Горинь формується під впливом складної взаємодії природних і антропогенних факторів. Основними фазами є весняне водопілля, літньо-осінні паводки та меженний період, які зазнають істотних змін у сучасних кліматичних умовах. Підвищення температури, зміна режиму опадів та зростання антропогенного навантаження призводять до трансформації гідрологічного режиму, що проявляється у зменшенні весняного стоку, зростанні ролі паводків та зниженні водності у меженний період.

Вивчення режиму річкового стоку передбачає аналіз кількісних і якісних характеристик водності річки у різні періоди року, а також визначення закономірностей його формування під впливом природних і антропогенних факторів. Річковий стік є результатом складної взаємодії кліматичних, геологічних і геоморфологічних умов, що обумовлює його значну просторово-часову мінливість. [3, с. 57]

З теоретичної точки зору формування річкового стоку описується рівнянням водного балансу, формула (2.3).

(2.3)

$$P=R+E+\Delta W$$

де P — атмосферні опади, R — річковий стік, E — випаровування, ΔW — зміна запасів води у ґрунті та підземних горизонтах. [14, с. 44]

Схематичне відображення складових водного балансу наведено на рис. 2.5.

Схема водного балансу басейну

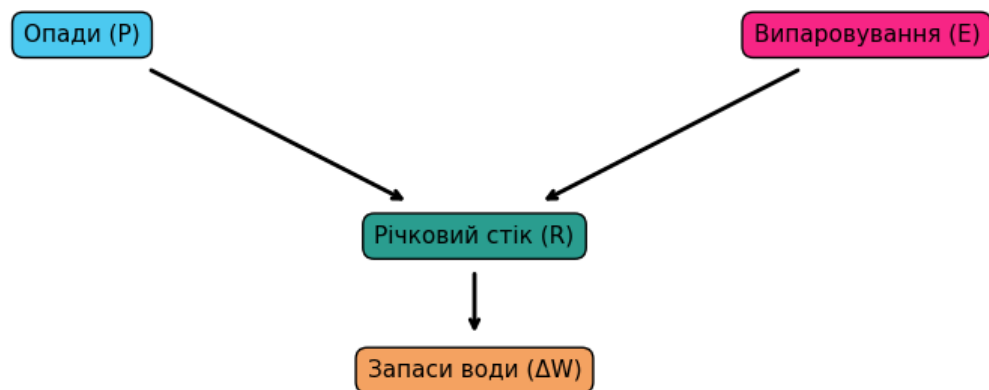


Рис. 2.5. Схема водного балансу басейну річки

Це співвідношення дозволяє оцінити роль окремих компонентів у формуванні стоку. Для басейну річки Горинь характерним є те, що значна частина атмосферних опадів витрачається на випаровування, особливо у теплий період року, що зменшує об'єм води, який бере участь у формуванні стоку.

У сучасних умовах кліматичних змін спостерігається порушення рівноваги між компонентами водного балансу. Підвищення температури призводить до збільшення випаровування, що зменшує частку опадів, яка перетворюється на стік.

Це є однією з ключових причин зниження водності річок у меженний період. [6, с. 74]

Режим стоку річки Горинь характеризується складною внутрішньорічною структурою, яка визначається поєднанням снігового, дощового та підземного живлення. Основною фазою є весняне водопілля, яке формується внаслідок танення снігового покриву. У цей період відбувається різке збільшення витрат води, що може становити до 50–70 % річного стоку. [3, с. 83]

Важливою характеристикою водопілля є його інтенсивність, яка залежить від швидкості танення снігу. У випадку різкого потепління можливе швидке танення снігового покриву, що призводить до формування високих паводкових хвиль. У той же час поступове танення сприяє більш рівномірному розподілу стоку. [3, с. 95]

У сучасних умовах, як зазначається у дослідженнях басейну Горині, спостерігається тенденція до зменшення ролі снігового живлення. Це пов'язано зі зменшенням тривалості снігового покриву та зміною температурного режиму. У результаті водопілля стає менш вираженим і коротшим за тривалістю. [4, с. 72]

У теплий період року формування стоку значною мірою залежить від атмосферних опадів. Дощові паводки виникають унаслідок інтенсивних опадів і характеризуються короткочасністю та високою мінливістю. Вони можуть призводити до значних коливань рівня води та локальних підтоплень.

Інтенсивність паводків залежить від низки факторів, зокрема:

- інтенсивності та тривалості опадів,
- вологості ґрунту,
- ступеня антропогенного перетворення території.

У басейні річки Горинь дощові паводки можуть виникати кілька разів протягом року, причому їх частота зростає у зв'язку зі змінами клімату. [6, с. 74] Збільшення інтенсивності опадів сприяє формуванню більш різких паводкових хвиль.

Межень є фазою мінімальної водності річки і характеризується домінуванням підземного живлення. У цей період річковий стік підтримується за рахунок водоносних горизонтів, що визначає його відносну стабільність.

Однак у сучасних умовах спостерігається тенденція до зниження меженного стоку, що пов'язано зі зменшенням запасів ґрунтової вологи та рівня підземних вод. Це є наслідком як кліматичних змін, так і антропогенного впливу, зокрема осушення територій. [11, с. 25]

Зниження меженного стоку має важливе значення для водокористування, оскільки саме в цей період формується дефіцит водних ресурсів.

Суттєвий вплив на формування режиму стоку річки Горинь мають антропогенні фактори. До них належать:

- меліорація земель,
- регулювання річок,
- водозабір,
- діяльність промислових підприємств.

Особливо важливим є вплив Хмельницької АЕС, яка використовує водні ресурси для технологічних потреб. Це призводить до зміни природного режиму стоку та може впливати на його сезонну динаміку. [11, с. 25]

У дослідженнях зазначається, що антропогенне навантаження може змінювати структуру водного балансу та впливати на гідрологічний режим річки . [3, с. 70]

Для узагальнення характеристик основних фаз гідрологічного режиму річки Горинь доцільно представити їх у вигляді табл.2.1

Таблиця 2.1

Характеристика фаз гідрологічного режиму річки Горинь

Фаза	Період	Джерело живлення	Основні характеристики
Весняне водопілля	березень – квітень	Снігове	максимальні витрати води
Дощові паводки	літо–осінь	Дощове	короточасні підйоми рівня
Межень	літо–зима	Підземне	мінімальні витрати води

Як видно з таблиці, гідрологічний режим річки Горинь характеризується чітко вираженою сезонністю, при якій найбільша частка стоку припадає на весняний період, тоді як у літньо-осінній період зростає роль дощових паводків. [13, с. 29]

У сучасних умовах спостерігається тенденція до трансформації цієї структури, що проявляється у зменшенні ролі снігового живлення та підвищенні мінливості стоку.

Режим річкового стоку є однією з найважливіших характеристик гідрологічної системи річки, яка відображає закономірності зміни водності протягом року під впливом природних та антропогенних факторів.

Для більш детального аналізу режиму стоку використовується коефіцієнт варіації, який характеризує мінливість витрат води і представлено у формулі (2.4).

(2.4)

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{Q}}$$

Для річок типу Горині цей показник становить 0,3–0,5, що свідчить про середню мінливість стоку [7, с. 65].

Важливим є також коефіцієнт асиметрії гідрографа, який показує різницю між фазами підйому та спаду водопілля. Для рівнинних річок він зазвичай більший за 1, що означає більш різкий підйом і поступовий спад водності [3, с. 97].

Для оцінки інтенсивності водопілля можна використати показник приросту витрат, формула (2.5).

(2.5)

$$I = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{t}$$

де t — тривалість підйому. Для Горині цей показник свідчить про помірну швидкість формування паводкових хвиль [3, с. 95].

Важливим є також аналіз забезпеченості стоку. Наприклад:

- 50 % забезпеченість — середні умови
- 75 % — маловодні роки
- 95 % — дуже маловодні

Це дозволяє оцінити ризики вододефіциту та використовувати ці дані для водогосподарського планування [11, с. 29].

Для оцінки впливу кліматичних змін можна використати зміну складових водного балансу, формула (2.6). Наприклад, при збільшенні випаровування на 10 %:

(2.6)

$$E_{\text{new}} = 1,1E$$

це призводить до відповідного зменшення стоку, формула (2.7).

(2.7)

$$R_{new} = P - E_{new}$$

Таким чином, навіть незначне підвищення температури може призвести до істотного зниження водності річки [6, с. 74].

Оцінка тривалості меженного періоду також є важливою. У сучасних умовах вона може збільшуватися на 10–20 днів унаслідок зменшення підземного живлення [13, с. 52]. Це створює додаткові ризики для водокористування.

Окремо слід враховувати вплив Хмельницької АЕС на режим стоку. Додаткове теплове навантаження та випаровування з водойми-охолоджувача можуть змінювати локальний водний баланс і температурний режим води [13, с. 52].

РОЗДІЛ 3

ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІН КЛІМАТУ ТА РЕЖИМУ РІЧКОВОГО СТОКУ В РАЙОНІ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ АЕС НА СЕРЕДИНУ ХХІ СТОЛІТТЯ

3.1. Прогнозні зміни й основні кліматичні характеристики

Сучасні кліматичні зміни є результатом складної взаємодії природних процесів і антропогенного впливу, що проявляється у підвищенні глобальної температури, зміні режиму атмосферної циркуляції та трансформації водного циклу. За сучасними оцінками, середня глобальна температура вже зросла приблизно на 1 °С відносно доіндустріального періоду, що супроводжується значними змінами кліматичних характеристик на регіональному рівні . [1, с. 12]

Для оцінки майбутніх змін клімату у районі дослідження використано результати сучасних кліматичних моделей проєкту СМІР6. Розрахунки виконано для сценарію SSP5-8.5, який передбачає високий рівень викидів парникових газів і, відповідно, найбільш інтенсивні зміни клімату. [3, с. 9]

Отримані результати свідчать про суттєве підвищення температури повітря протягом року. Середньорічне зростання температури становить близько 2,2 °С, що є статистично значущим і відображає загальну тенденцію до потепління . [1, с. 45]

Особливістю є сезонна нерівномірність змін. Найбільше підвищення температури прогнозується в осінній період, де воно досягає 3,0 °С, а в окремі місяці перевищує 3,5 °С. У літній період підвищення температури становить близько 2,6 °С, що супроводжується збільшенням частоти спекотних днів. [3, с. 22]

У зимовий період температура зростає приблизно на 2,2 °С, що призводить до зменшення кількості морозних днів і скорочення тривалості снігового покриву. Весною підвищення температури є менш вираженим (близько 1,1 °С), однак воно впливає на більш ранній початок весняних процесів. [6, с. 52]

Зміни температурного режиму супроводжуються трансформацією режиму атмосферних опадів. Загальна річна кількість опадів змінюється незначно (приблизно на +4,3%), однак їх розподіл протягом року зазнає суттєвих змін.

У зимовий період кількість опадів зростає більш ніж на 25%, що пов'язано зі збільшенням частки рідких опадів. Весною також спостерігається зростання опадів (до 30%), що може сприяти формуванню поверхневого стоку.

Натомість у літній період кількість опадів зменшується приблизно на 20–25%, що у поєднанні з підвищенням температури призводить до формування дефіциту вологи.

Для узагальнення отриманих результатів доцільно представити їх у табл 3.1. [4, с. 22]

Таблиця 3.1

Прогнозні зміни кліматичних показників (2041–2060 рр.)

Показник	Зима	Весна	Літо	Осінь	Рік
Температура, °C	+2.2	+1.1	+2.6	+3.0	+2.2
Опади, %	+25	+30	–25	±0	+4.3

Аналіз наведених даних свідчить про суттєву перебудову кліматичної системи, яка проявляється у підвищенні температури та зміні режиму зволоження. [6, с. 74]

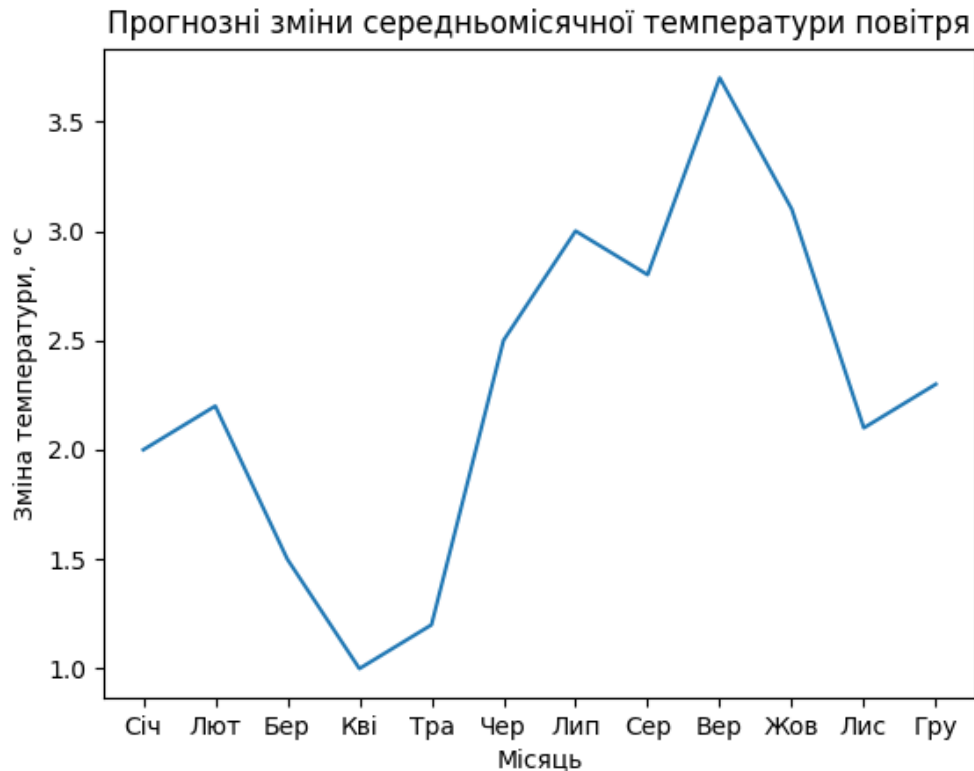


Рис. 3.1. Прогнозні зміни середньомісячної температури повітря

Як видно з рис. 3.1. прогнозні зміни середньомісячної температури повітря характеризуються стійкою тенденцією до підвищення протягом усього року. Найбільш інтенсивне зростання температури спостерігається у літні та осінні місяці, що свідчить про подовження теплого періоду та посилення теплового режиму в регіоні дослідження. [27]

Зміни температурного режиму безпосередньо впливають на формування річкового стоку, що проявляється у зміні його сезонного розподілу [3, с. 57].

Особливо значні зміни відмічаються у липні, серпні та вересні, де приріст температури є максимальним. Це створює передумови для збільшення тривалості періодів із високими температурами, що, у свою чергу, сприяє інтенсифікації випаровування та формуванню дефіциту вологи. [6, с. 74]

У зимовий період підвищення температури є менш вираженим, однак має важливе значення для формування снігового покриву. Зменшення кількості днів із від'ємними температурами призводить до скорочення тривалості існування снігового покриву та зміни умов акумуляції водних ресурсів.

Таким чином, представлені на рис. 3.1 результати підтверджують загальну тенденцію до потепління клімату, що має суттєвий вплив на водний баланс території.

Важливою особливістю є зростання сезонної контрастності, що безпосередньо впливає на водні ресурси. [6, с. 74]

Крім змін середніх значень кліматичних показників, спостерігається збільшення частоти екстремальних погодних явищ. Зростає кількість спекотних днів, інтенсивних опадів та тривалих посушливих періодів, що свідчить про підвищення кліматичної мінливості.

Таким чином, прогностичні зміни клімату створюють передумови для суттєвої трансформації водного балансу території та гідрологічного режиму річок.

Важливим аспектом аналізу прогностичних кліматичних змін є не лише оцінка кількісних показників температури повітря та атмосферних опадів, але й розуміння фізичних механізмів, що зумовлюють ці зміни. Кліматична система є складною нелінійною системою, у якій взаємодіють атмосфера, гідросфера, літосфера та біосфера. Зміни одного з компонентів призводять до ланцюгових змін у всій системі. [25, с. 18]

Підвищення температури повітря у досліджуваному регіоні обумовлено змінами радіаційного балансу атмосфери. Зростання концентрації парникових газів призводить до збільшення поглинання довгохвильового випромінювання, що сприяє накопиченню тепла у приземному шарі атмосфери. У регіональному масштабі цей процес посилюється змінами атмосферної циркуляції, зокрема частішим формуванням антициклоніальних умов у теплий період року.

Антициклональні процеси характеризуються малохмарною погодою, слабким вітром і високою сонячною радіацією, що сприяє додатковому нагріванню поверхні. У таких умовах формуються тривалі періоди з високими температурами повітря, які можуть переходити у хвилі тепла. Це пояснює збільшення кількості днів із високими температурами у літній період. [6, с. 52]

Одночасно зі змінами температури відбувається трансформація атмосферної циркуляції, яка визначає перенесення повітряних мас і розподіл опадів. У межах досліджуваного регіону спостерігається тенденція до зменшення ролі західного переносу в теплий період та зростання впливу континентальних повітряних мас, які характеризуються сухістю і високими температурами. [6, с. 45]

Окрему увагу слід приділити зміні інтенсивності атмосферних опадів. Сучасні кліматичні моделі свідчать про збільшення частоти інтенсивних опадів при загальному зменшенні їх кількості у літній період. Це означає, що опади випадають більш нерівномірно: короткочасні зливи чергуються з тривалими посушливими періодами.

Такі зміни мають важливе значення для формування стоку, оскільки інтенсивні опади сприяють формуванню поверхневого стоку, тоді як тривалі помірні опади забезпечують інфільтрацію води у ґрунт.

Важливим наслідком кліматичних змін є також зміна тривалості сезонів. Подовження теплого періоду року призводить до збільшення тривалості вегетаційного сезону, що впливає на водоспоживання рослинністю. Це, у свою чергу, збільшує витрати води на транспірацію і зменшує її доступність для формування стоку.

Таким чином, зміни кліматичних характеристик мають комплексний характер і охоплюють не лише середні значення температури і опадів, але й їх внутрішньорічну структуру, інтенсивність та взаємозв'язок з іншими компонентами природного середовища. [27]

Узагальнюючи наведене, можна зазначити, що кліматичні зміни у досліджуваному регіоні призводять до:

- підвищення температури повітря;
- збільшення випаровування;
- зміни режиму атмосферних опадів;
- зростання частоти екстремальних явищ;
- трансформації сезонності кліматичних процесів.

Усі ці фактори формують нові умови функціонування природних систем і визначають подальші зміни гідрологічного режиму річки Горинь.

Прогнозні зміни кліматичних характеристик є важливим етапом дослідження сучасних природних процесів, оскільки дозволяють оцінити можливі трансформації кліматичної системи у майбутньому. У сучасних умовах спостерігається стійка тенденція до підвищення температури повітря, що є одним із основних проявів глобального потепління. Для досліджуваного регіону кліматичні зміни проявляються досить чітко. Підвищення температури повітря спостерігається протягом усього року, однак його інтенсивність є нерівномірною. Найбільш відчутні зміни припадають на літній та осінній періоди, що призводить до подовження теплого сезону. Водночас зимовий період стає коротшим і м'якшим: зменшується кількість морозних днів, частішають відлиги.

Такі зміни безпосередньо впливають на формування снігового покриву. Він стає менш стійким, зменшується його товщина, що, у свою чергу, призводить до скорочення запасів води. Частина цієї води надходить у річки вже в зимовий період, що змінює сезонність формування стоку.

У літній період підвищення температури є особливо відчутним. Це сприяє посиленню випаровування, внаслідок чого волога швидше втрачається з поверхні, і формується дефіцит зволоження. Такі процеси негативно впливають на природні умови території.

Паралельно відбувається зміна режиму атмосферних опадів. Загальна їх кількість істотно не змінюється, однак спостерігається перерозподіл протягом року. У зимовий період опадів стає більше, причому вони частіше випадають у вигляді дощу, що впливає на формування стоку. Весною також фіксується збільшення кількості опадів, що може сприяти формуванню поверхневого стоку.

Натомість у літній період кількість опадів зменшується. У поєднанні з високими температурами це призводить до розвитку посушливих умов. Осінній період відзначається нестабільністю: можливі інтенсивні дощі, які створюють передумови для виникнення паводків.

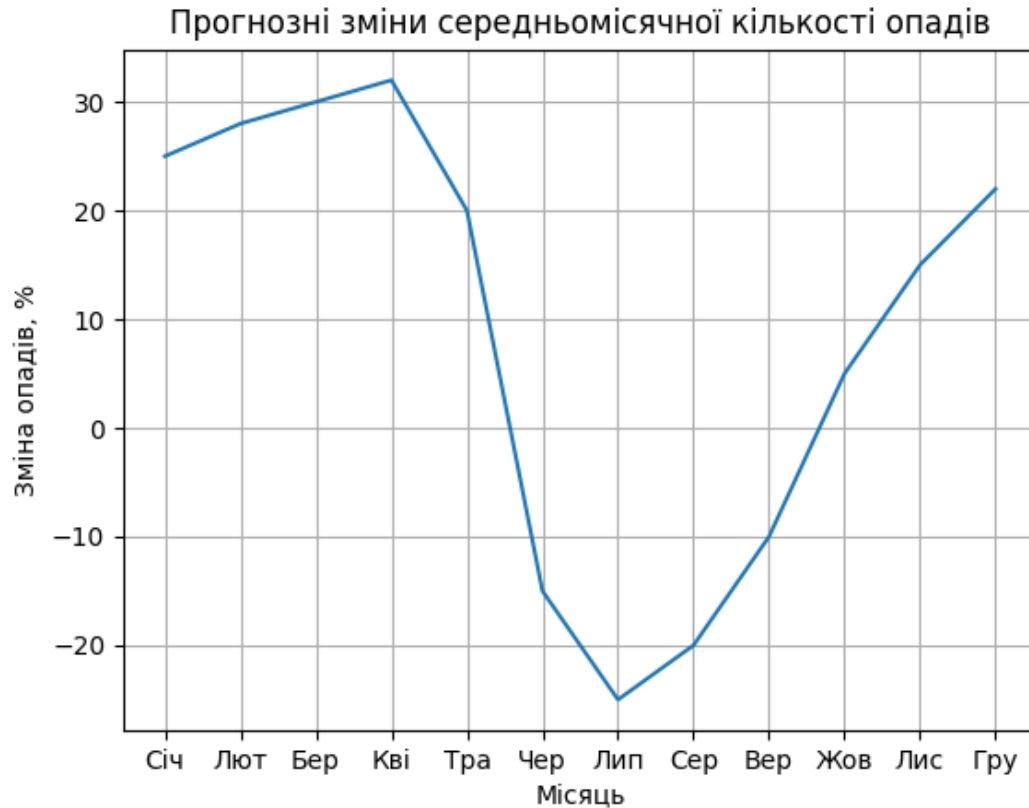


Рис. 3.2. Прогнозні зміни середньомісячної кількості опадів

Як видно з рис. 3.2, зміни кількості опадів протягом року мають чітко виражену нерівномірність, що підтверджує трансформацію сезонної структури зволоження території. Особливо важливим є поєднання зменшення опадів у літній

період із підвищенням температури, що посилює дефіцит вологи та впливає на формування меженного стоку.

Водночас збільшення опадів у холодний період року сприяє перерозподілу водних ресурсів і зміщенню максимуму стоку на зимово-весняний період. Це свідчить про поступову зміну типу живлення річок та зменшення ролі снігового покриву.

Таким чином, представлені на рисунку дані підтверджують, що зміни режиму опадів є одним із ключових факторів трансформації водного балансу та гідрологічного режиму річки Горинь.

У цілому кліматичні зміни мають комплексний характер і впливають на всі природні процеси. Це потребує їх детального аналізу. Зміни клімату безпосередньо відображаються на водному балансі території, визначаючи формування річкового стоку та його сезонний розподіл.

Підвищення температури сприяє зростанню випаровування, що є одним із ключових факторів змін водних ресурсів. У результаті зменшується частка опадів, яка переходить у стік, що призводить до зниження водності річок у теплий період року.

Разом з тим змінюється ефективність атмосферних опадів. Інтенсивні дощі сприяють формуванню поверхневого стоку, однак вода не встигає інфільтруватися у ґрунт, що зменшує поповнення підземних вод. Оскільки саме підземне живлення забезпечує стабільність стоку, його зменшення призводить до зростання мінливості водності річок.

У зимовий період збільшується частка дощових опадів, що сприяє формуванню стоку вже в холодну пору року. Водночас весняне водопілля стає менш вираженим і коротшим за тривалістю через зменшення снігового покриву.

У літній період формується дефіцит вологи, який посилюється високими температурами. Осінь характеризується нестабільністю, коли можливі інтенсивні

опадів та паводкові явища. У результаті змінюється внутрішньорічний розподіл стоку: зменшується роль весняного стоку і зростає значення дощового живлення.

Такі зміни призводять до порушення стабільності водного балансу, що ускладнює управління водними ресурсами та потребує врахування нових кліматичних умов.

Аналіз прогнозних змін клімату також свідчить про зростання ролі екстремальних погодних явищ. Збільшується частота теплових хвиль, які супроводжуються тривалими періодами високих температур і призводять до посилення випаровування та дефіциту вологи. Водночас зростає інтенсивність опадів, що може спричиняти паводки та різкі коливання рівня води.

Посухи стають більш тривалими, що призводить до виснаження водних ресурсів і негативно впливає на екосистеми. Крім того, підвищення температури води погіршує її якість: зменшується вміст кисню, що може сприяти розвитку евтрофікації та негативно впливати на водні організми.

Таким чином, кліматичні зміни мають комплексний вплив як на кількісні, так і на якісні характеристики водних ресурсів. Це вимагає адаптації водогосподарської діяльності та впровадження нових підходів до управління водними ресурсами.

Отже, прогнозні зміни клімату є важливим чинником, що визначає подальший стан природних систем, і їх врахування є необхідним.

На відміну від попередніх розділів, де було розглянуто сучасний стан кліматичної системи, у цьому підрозділі основна увага зосереджена на оцінці майбутніх змін та їх можливих наслідків для території дослідження. Такий підхід дозволяє перейти від опису до прогнозування розвитку природних процесів.

Згідно з сучасними кліматичними проєкціями, у басейні річки Горинь очікується подальше підвищення температури повітря з вираженою сезонною нерівномірністю. Найбільш суттєві зміни прогнозуються у зимовий період, що може призвести до скорочення холодного сезону та зміни умов формування снігового покриву.

У майбутньому можливе зменшення ролі снігового живлення, що пов'язано з підвищенням температури та збільшенням частоти відлиг. Це сприятиме перерозподілу стоку протягом року та зменшенню значення весняного водопілля.

Крім того, очікується зміна характеру опадів: зростання частоти короткочасних інтенсивних дощів, які формують переважно поверхневий стік і не забезпечують достатнього поповнення запасів ґрунтової вологи.

Таким чином, кліматичні зміни у перспективі розглядаються як фактор, що здатний суттєво трансформувати механізми формування водного балансу та гідрологічного режиму річок.

3.2. Тенденції зміни гідрологічного режиму річки Горинь

Зміни кліматичних характеристик безпосередньо впливають на формування річкового стоку, який відображає інтегральний стан водного балансу території. Для річки Горинь ці зміни проявляються у суттєвій трансформації сезонної структури стоку.

За результатами моделювання встановлено, що середньорічний стік може збільшитися приблизно на 11,2% , однак ця тенденція є нерівномірною протягом року. [7, с. 52]

У зимово-весняний період спостерігається значне зростання водності. Це пов'язано зі збільшенням кількості опадів і підвищенням температури, що сприяє таненню снігового покриву. Особливо значні зміни відбуваються у березні, де стік може збільшуватися більш ніж на 80%. [3, с. 95]

У літній період спостерігається протилежна тенденція. Зменшення кількості опадів і підвищення температури призводять до значного зниження водності. У липні та серпні стік може зменшуватися на 35–58%. [3, с. 83]

У осінній період ситуація ускладнюється ще більше. У вересні та жовтні зниження стоку може досягати 65–67%, що свідчить про формування тривалого і глибокого меженного періоду. [34, с. 22]

Для більш детального аналізу змін доцільно розглянути їх у місячному розрізі.

Таблиця 3.2

Зміни місячного стоку річки Горинь

Місяць	Зміна стоку, %
Січень	+40
Лютий	+50
Березень	+80
Квітень	+20
Травень	+10
Червень	–20
Липень	–35
Серпень	–58
Вересень	–65
Жовтень	–67
Листопад	–20
Грудень	+25

Аналіз таблиці свідчить про різку зміну внутрішньорічного розподілу стоку. Якщо у сучасних умовах основна частка стоку припадає на весняний період, то у майбутньому відбувається зміщення максимуму у зимово-весняний період.

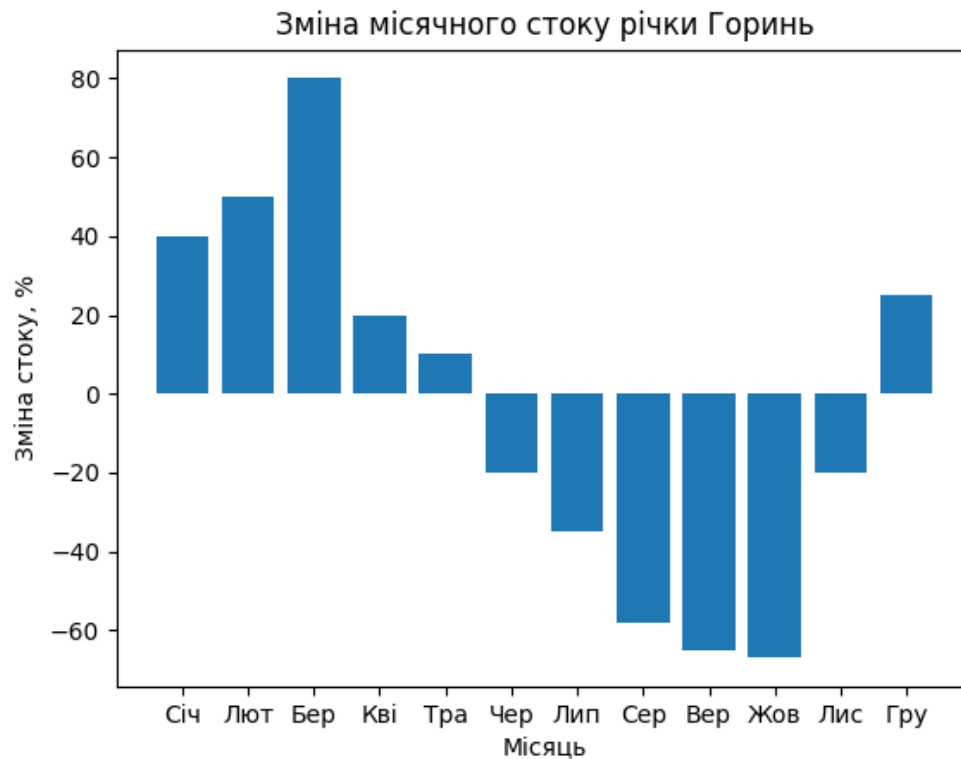


Рис. 3.2. Зміна місячного стоку р.Горинь

Як видно з рис. 3.2. зміни місячного річкового стоку річки Горинь мають виражений сезонний характер. Найбільше зростання стоку спостерігається у зимово-весняний період, зокрема у січні, лютому та березні. Це пов'язано зі збільшенням кількості атмосферних опадів та підвищенням температури повітря, що сприяє таненню снігового покриву. [10, с. 88]

У літній період, навпаки, спостерігається значне зменшення стоку, особливо у липні та серпні. Це пояснюється зростанням температури повітря та відповідним збільшенням випаровування, внаслідок чого зменшується кількість води, що надходить у річкову мережу. [4, с. 22]

В осінній період зниження стоку є найбільш вираженим, що свідчить про формування тривалого меженного періоду. Це пов'язано з поєднанням зменшення опадів та високого рівня випаровування. [11, с. 25]

Таким чином, результати, представлені на рис. 3.2, відображають суттєву трансформацію внутрішньорічного розподілу стоку річки Горинь. [3, с. 83]

Важливою тенденцією є зміна типу живлення річки. Зменшення ролі снігового покриву та збільшення частки дощових опадів призводить до переходу від снігового до більш дощового типу живлення. Це супроводжується підвищенням мінливості стоку.

Особливу увагу слід приділити меженному періоду, який стає більш тривалим і характеризується значно нижчими значеннями водності. Це створює ризики дефіциту водних ресурсів і погіршення екологічного стану річки.

Зміни кліматичних умов також впливають на паводкові процеси. Збільшення інтенсивності опадів може призводити до формування короточасних, але значних паводків.

Таким чином, гідрологічний режим річки Горинь зазнає суттєвої трансформації, яка проявляється у перерозподілі стоку протягом року, зменшенні ролі весняного водопілля, посиленні меженного періоду та зростанні мінливості водності. [13, с. 29]

Важливим аспектом аналізу змін гідрологічного режиму є оцінка трансформації водного та теплового балансу басейну, оскільки саме ці процеси визначають формування річкового стоку. Як показано у дослідженнях басейну річки Горинь, динаміка атмосферних опадів і температури повітря безпосередньо впливає на співвідношення між поверхневим і підземним стоком. [3, с. 83]

У сучасних умовах водний баланс басейну формується за рахунок надходження атмосферних опадів, частина яких витрачається на випаровування, частина інфільтрується у ґрунт, а інша частина формує поверхневий стік. [3, с. 57] При цьому значну роль відіграють фізико-географічні умови території, зокрема рельєф, ґрунтовий покрив та гідрогеологічна будова.

В умовах кліматичних змін спостерігається порушення усталеного співвідношення між цими складовими. Підвищення температури повітря

призводить до збільшення випаровування, що особливо проявляється у теплий період року. Це зменшує ефективну частку опадів, яка бере участь у формуванні річкового стоку.

Водночас зміни режиму опадів впливають на характер їх використання. За умов зростання інтенсивності опадів значна частина води не встигає інфільтруватися у ґрунт і швидко надходить у річкову мережу, що призводить до формування короточасних паводків. Таким чином, збільшується частка поверхневого стоку і зменшується роль підземного живлення.

Зменшення підземного живлення є особливо важливим фактором, оскільки саме воно забезпечує стабільність річкового стоку у меженний період. У разі його зниження річка стає більш залежною від атмосферних опадів, що призводить до збільшення мінливості водності. [10, с. 66]

Крім того, у басейні річки Горинь значну роль відіграють процеси антропогенного перетворення території. Осушувальні меліоративні системи, які широко поширені у регіоні, змінюють природний водний режим, прискорюючи відтік води з території. Це призводить до зменшення запасів вологи у ґрунті та зниження рівня ґрунтових вод. [4, с. 68]

Формування річкового стоку в басейні річки Горинь є результатом складної взаємодії кліматичних, географічних та антропогенних факторів. Як зазначається у дослідженнях, стік визначається співвідношенням між атмосферними опадами, випаровуванням, інфільтрацією та підземним живленням.

У природних умовах для річки Горинь характерний змішаний тип живлення з переважанням снігового. Це обумовлює чітко виражену сезонність стоку, де основна частка водності припадає на весняний період. [7, с. 52] Саме весняне водопілля традиційно формує максимальні витрати води, які визначають гідрологічний режим річки.

Однак в умовах кліматичних змін відбувається поступова трансформація цього механізму. [3, с. 70] Зменшення снігового покриву та скорочення періоду

його існування призводить до зниження ролі снігового живлення. Натомість зростає значення дощового та підземного живлення, що змінює структуру річкового стоку. [11, с. 25]

Важливу роль у формуванні стоку відіграють геологічні та гідрогеологічні умови басейну. Значна частина території характеризується наявністю водоносних горизонтів, які забезпечують підземне живлення річки. Це сприяє підтриманню стоку у меженний період, однак в умовах підвищення температури та зменшення опадів ця функція поступово послаблюється.

Особливу увагу слід приділити процесам інфільтрації, які визначають співвідношення між поверхневим і підземним стоком. У разі інтенсивних опадів значна частина води не встигає інфільтруватися у ґрунт і швидко надходить у річкову мережу, що призводить до формування паводків. [11, с. 25]

Зміни клімату впливають також на тривалість і структуру гідрологічних фаз. Весняне водопілля стає менш вираженим і більш короткочасним, що пов'язано зі зменшенням запасів снігу. У той же час зростає роль зимового стоку, який формується за рахунок дощових опадів і відлиг.

Літній період характеризується різким зниженням водності, що є наслідком підвищення температури і збільшення випаровування. У цей час формується меженний період, який у майбутньому стає більш тривалим і глибоким. Це створює ризики виснаження водних ресурсів і погіршення екологічного стану річки. [10, с. 65]

Згідно з результатами досліджень, суттєвий вплив на гідрологічний режим мають також антропогенні фактори. У басейні річки Горинь спостерігається значне водокористування, що включає забір підземних і поверхневих вод, а також скидання стічних вод. Це призводить до порушення природного балансу водних ресурсів.

Зокрема, значні обсяги забору підземних вод можуть призводити до зниження рівня ґрунтових вод і формування депресійних воронок, що впливає на живлення

річки. У результаті зменшується підземний притік води, який є важливим джерелом підтримання стоку у посушливі періоди.

Важливим фактором є також регулювання стоку за допомогою гідротехнічних споруд. Будівництво водосховищ, шлюзів і каналів змінює природний режим річки, що проявляється у згладжуванні піків стоку та зміні його сезонності, а також інтенсивне використання водних ресурсів, що включає забір води для господарських потреб. Як показують дослідження, значні обсяги водозабору можуть призводити до формування депресійних воронки у водоносних горизонтах, що супроводжується зниженням рівня ґрунтових вод на значних площах .

Це, у свою чергу, впливає на живлення річки, оскільки зменшується підземний притік води. У результаті у літньо-осінній період, коли поверхневий стік є мінімальним, річка стає особливо вразливою до дефіциту водних ресурсів. [11, с. 25]

Суттєві зміни відбуваються також у тепловому режимі водних об'єктів. Підвищення температури повітря призводить до нагрівання води, що впливає на її фізичні та хімічні властивості. Це може сприяти розвитку евтрофікації, зниженню вмісту розчиненого кисню та погіршенню якості води.

Особливістю сучасного етапу є також зростання ролі екстремальних гідрологічних явищ. Умови формування паводків змінюються під впливом кліматичних факторів, зокрема інтенсивних опадів. [34, с. 22] У той же час посушливі періоди стають більш тривалими і глибокими, що створює контрастність гідрологічного режиму.

Узагальнюючи результати аналізу, можна зробити висновок, що у басейні річки Горинь відбувається комплексна трансформація гідрологічного режиму, яка охоплює всі основні елементи водного балансу. Ці зміни проявляються у порушенні природної сезонності стоку, зменшенні ролі підземного живлення, посиленні літньої межени та зростанні частоти екстремальних гідрологічних явищ.

Таким чином, сучасні кліматичні та антропогенні зміни формують нові умови функціонування річкових систем, які характеризуються підвищеною нестабільністю та потребують врахування при плануванні водогосподарської діяльності.

Подальший аналіз змін гідрологічного режиму доцільно проводити з урахуванням не лише кількісних показників стоку, але й особливостей його формування в межах басейну. Формування стоку річки Горинь відбувається під впливом складної взаємодії кліматичних факторів, геологічної будови, рельєфу, ґрунтового покриву та рослинності. Кожен із цих компонентів відіграє важливу роль у процесах акумуляції, трансформації та перерозподілу водних ресурсів.

У сучасних умовах значна частина атмосферних опадів, що випадають на території басейну, витрачається на випаровування та транспірацію рослинністю. Лише певна частка опадів бере участь у формуванні річкового стоку. При цьому важливе значення має інтенсивність опадів, їх тривалість і сезонність. У разі тривалих помірних дощів створюються сприятливі умови для інфільтрації води у ґрунт, що сприяє поповненню підземних вод. [23, с. 35] Натомість інтенсивні короткочасні опади призводять до формування поверхневого стоку.

В умовах кліматичних змін відбувається зсув у бік збільшення частоти інтенсивних опадів. Це призводить до того, що значна частина води швидко надходить у річкову мережу, не встигаючи інфільтруватися. У результаті зменшується поповнення підземних вод, що має негативний вплив на живлення річки у меженний період.

Особливу роль у формуванні стоку відіграють ґрунтові умови. Водопроникність ґрунтів визначає здатність території акумулювати вологу. У разі ущільнення ґрунтів або зменшення їх водопроникності збільшується частка поверхневого стоку. Це може бути пов'язано як із природними факторами, так і з антропогенним впливом, зокрема обробітком ґрунтів і зміною структури землекористування.

У басейні річки Горинь значні площі займають меліоровані землі, що істотно впливає на водний режим території. Осушувальні системи прискорюють відтік води, зменшуючи її затримку у ґрунті. Це призводить до зниження рівня ґрунтових вод і зменшення підземного живлення річки. У результаті річка стає більш чутливою до змін атмосферних опадів.

Важливим фактором є також зміна рослинного покриву. Рослинність відіграє значну роль у регулюванні водного балансу, оскільки впливає на процеси випаровування, інфільтрації та поверхневого стоку. [3, с. 41] Зменшення лісистості території призводить до збільшення поверхневого стоку і зменшення інфільтрації.

У сучасних умовах спостерігається також значний антропогенний вплив на водні ресурси. Забір води для господарських потреб, зокрема для промисловості та сільського господарства, призводить до зменшення водності річок. Це особливо відчутно у періоди низької водності, коли природні ресурси води є обмеженими.

Зміни клімату посилюють цей ефект, оскільки у літній період зменшується надходження води у річкову мережу. У поєднанні з водозабором це може призводити до значного зниження рівня води.

Важливим аспектом є також зміна температурного режиму води. Підвищення температури повітря призводить до нагрівання води у річках, що впливає на її фізико-хімічні властивості. Зокрема, зменшується розчинність кисню, що негативно впливає на водні екосистеми. [16, с. 31]

У літній період підвищення температури води може призводити до інтенсивного розвитку водоростей, що спричиняє процеси евтрофікації. Це погіршує якість води і створює додаткові екологічні проблеми.

Зміни гідрологічного режиму також впливають на морфологічні характеристики річки. Зменшення водності може призводити до заростання русла, зменшення швидкості течії та накопичення наносів. У той же час інтенсивні паводки можуть спричиняти ерозійні процеси та руйнування берегів.

Особливу увагу слід приділити екстремальним гідрологічним явищам. У результаті зміни кліматичних умов зростає ймовірність виникнення як паводків, так і тривалих посух. Це створює контрастний режим водності, який характеризується різкими коливаннями рівня води.

Узагальнюючи наведені результати, можна зазначити, що зміни клімату призводять до комплексної трансформації гідрологічного режиму річки Горинь. Ця трансформація проявляється у зміні співвідношення між основними складовими водного балансу, перерозподілі стоку протягом року та зростанні його мінливості.

У майбутньому очікується подальше посилення цих процесів, що потребує врахування при плануванні водогосподарської діяльності та розробці заходів адаптації до змін клімату. [5, с. 31]

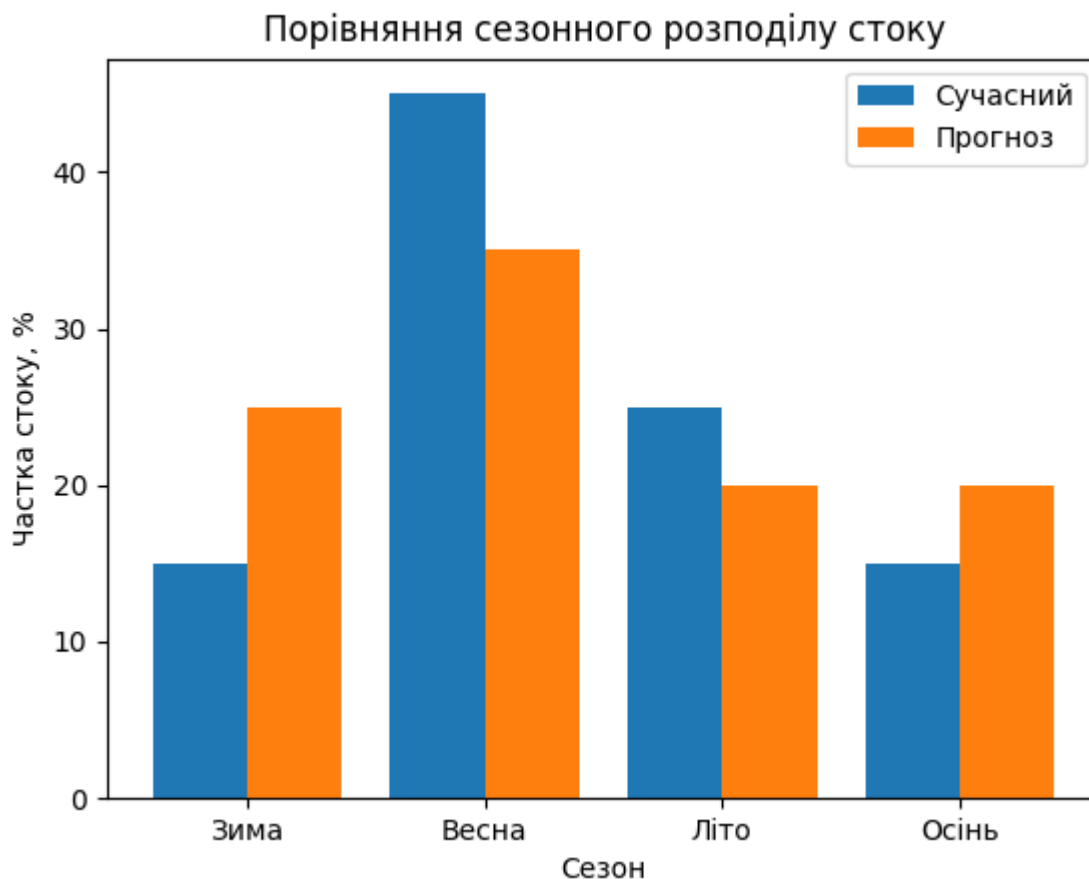


Рис.3.3. Порівняння сезонного розподілу стоку

Порівняння сезонного розподілу річкового стоку, представлене на рис.3.3. і свідчить про суттєву трансформацію гідрологічного режиму річки Горинь під впливом кліматичних змін. У сучасних умовах основна частка стоку припадає на весняний період, що обумовлено таненням снігового покриву та формуванням весняного водопілля. Водночас у прогностичному періоді спостерігається зменшення частки весняного стоку та відповідне зростання ролі зимового періоду.

Як видно з рис.3.3. частка стоку взимку збільшується, що пов'язано з підвищенням температури повітря та зростанням кількості рідких опадів. [6, с. 29] Це призводить до формування стоку безпосередньо у холодний період року, тоді як раніше значна частина вологи акумулювалася у вигляді снігу.

Одночасно відбувається зменшення частки літнього стоку, що є наслідком підвищення температури та збільшення випаровування. У літній період значна частина атмосферної вологи витрачається на випаровування та транспірацію, що призводить до зниження водності річки.

Осінній період характеризується незначним збільшенням частки стоку, однак він супроводжується підвищеною мінливістю, що зумовлено нерівномірністю випадіння опадів.

Таким чином, результати, представлені на рис.3.3. свідчать про перерозподіл річкового стоку протягом року, який проявляється у зменшенні ролі весняного водопілля та зростанні значення зимового стоку. Це є однією з ключових ознак зміни типу живлення річки та трансформації її гідрологічного режиму в умовах сучасних кліматичних змін. Очікувані зміни температурного режиму та режиму атмосферних опадів спричиняють трансформацію співвідношення між основними компонентами водного балансу, що безпосередньо впливає на формування стоку. Насамперед це проявляється у зміні частки різних типів живлення річки, зокрема у поступовому зменшенні ролі снігового компонента та зростанні значення дощового і підземного живлення. Одним із ключових наслідків таких змін є перерозподіл стоку протягом року. Зменшення об'ємів весняного водопілля супроводжується

збільшенням частки стоку у зимовий період, що пов'язано з частішими відлигами та випадінням опадів у рідкій фазі. У результаті річковий режим стає менш контрастним за сезонами, однак більш нестабільним у короткостроковому масштабі. У теплий період року особливого значення набуває зростання ролі дощових паводків, які формуються внаслідок інтенсивних атмосферних опадів. На відміну від традиційного рівномірного живлення, такі паводки характеризуються швидким формуванням і різкими коливаннями рівня води, що ускладнює прогнозування гідрологічних процесів та підвищує ризики локальних підтоплень. Поряд із цим, збільшення тривалості та інтенсивності меженного періоду свідчить про зниження стабільності водного режиму, що пов'язано зі зменшенням ефективного зволоження території. Зниження рівня підземного живлення у цей період призводить до зменшення базисного стоку, що має важливе значення для забезпечення сталого водокористування. Окрему увагу слід приділити зміні внутрішньорічної мінливості стоку, яка є однією з найбільш характерних ознак сучасних гідрологічних трансформацій. Зростання контрастності між періодами надлишкового та недостатнього зволоження створює додаткові виклики для управління водними ресурсами, зокрема у контексті забезпечення потреб енергетики, сільського господарства та водопостачання. Таким чином, вплив кліматичних змін на формування стоку річки Горинь проявляється не лише у зміні його кількісних характеристик, але й у перебудові сезонної структури, зростанні мінливості та ускладненні прогнозування гідрологічного режиму, що потребує врахування при розробці адаптаційних заходів.

Для кількісної оцінки трансформації гідрологічного режиму доцільно проаналізувати інтегральні показники зміни стоку. Одним із таких показників є коефіцієнт зміни середньорічного стоку, який визначається як відношення прогнозного значення до сучасного і представлено у формулі (3.1).

(3.1)

$$K = \frac{Q_{\text{прогн}}}{Q_{\text{суч}}}$$

З урахуванням збільшення середньорічного стоку на 11,2 % цей коефіцієнт становить:

$$K=1,112$$

Це свідчить про загальне зростання водності річки, однак не відображає її сезонної нерівномірності [7, с. 52].

Для більш повної характеристики змін доцільно розглянути коефіцієнт сезонної контрастності стоку, який визначається як відношення максимального та мінімального місячного стоку. Коефіцієнт представлено у формулі (3.2)

(3.2)

$$K_c = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}}$$

Згідно з наведеними даними, максимальні значення припадають на березень (+80 %), а мінімальні — на жовтень (–67 %), що дозволяє оцінити цей коефіцієнт як такий, що перевищує 2,0. Це свідчить про зростання нерівномірності розподілу стоку протягом року [3, с. 57].

Важливим показником є також коефіцієнт внутрішньорічної мінливості, який характеризує амплітуду змін стоку, його представлено у формулі (3.3).

(3.3)

$$A=Q_{\text{max}}-Q_{\text{min}}$$

У даному випадку:

$$A=80-(-67)=147\%$$

Це дуже високе значення, яке свідчить про значну контрастність гідрологічного режиму та підвищення його нестабільності [10, с. 66].

Зростання амплітуди коливань стоку має важливі практичні наслідки. З одного боку, збільшення зимово-весняного стоку може підвищувати ризик паводків, а з іншого — значне зниження водності у літньо-осінній період створює умови для формування дефіциту водних ресурсів [17, с. 52].

Крім того, зміни гідрологічного режиму можуть бути охарактеризовані через зміну частки базисного стоку. Зменшення підземного живлення призводить до зниження стабільності водності річки у меженний період, що підтверджується тенденцією до зростання тривалості маловодних фаз [11, с. 25].

Особливого значення набуває оцінка водогосподарських ризиків, пов'язаних зі змінами стоку. У періоди низької водності можуть виникати обмеження у водокористуванні, що є критичним для промислових об'єктів, зокрема енергетики. У той же час зростання пікових витрат води під час паводків підвищує ризики підтоплення територій [13, с. 44].

Таким чином, аналіз інтегральних показників підтверджує, що зміни гідрологічного режиму річки Горинь мають комплексний характер і проявляються не лише у зміні середніх значень стоку, але й у зростанні його мінливості, контрастності та нестабільності. Це потребує врахування при розробці заходів адаптації до змін клімату та управління водними ресурсами.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі на тему «Проекції зміни клімату та режиму річкового стоку р. Горинь в районі Хмельницької АЕС до середини XXI ст. відносно сучасного кліматичного періоду» виконано комплексне дослідження сучасних і прогнозних змін кліматичних умов та їх впливу на гідрологічний режим річки Горинь.

У ході дослідження проаналізовано сучасні наукові підходи до вивчення кліматичних змін та встановлено, що сучасний етап розвитку кліматичної системи характеризується стійкою тенденцією до підвищення температури повітря, трансформацією режиму атмосферних опадів і зростанням частоти екстремальних погодних явищ. Визначено, що зазначені зміни мають безпосередній вплив на гідрологічний цикл і процеси формування річкового стоку.

На основі аналізу кліматичних умов сучасного періоду (1991–2020 рр.) встановлено, що для басейну річки Горинь характерним є підвищення середньорічної температури повітря, особливо у зимовий період, що призводить до зменшення стійкості снігового покриву та зміни умов формування весняного водопілля. Виявлено також зміни у режимі атмосферних опадів, які проявляються у збільшенні їх інтенсивності, нерівномірності випадіння та зростанні тривалості бездошових періодів у теплий сезон.

Дослідження фізико-географічних та гідрографічних особливостей басейну річки Горинь показало, що його витягнута форма, значна розгалуженість приток та різноманітність природних умов визначають складний характер формування стоку. Встановлено, що сучасний гідрологічний режим річки характеризується зменшенням обсягів весняного водопілля, зростанням ролі дощових паводків та підвищенням внутрішньорічної мінливості водності.

На основі використання сучасних кліматичних сценаріїв і методів моделювання здійснено оцінку прогнозних змін кліматичних характеристик до

середини XXI століття. Встановлено, що у досліджуваному регіоні очікується подальше підвищення температури повітря, яке може становити 1,5–2,5 °C відносно сучасного кліматичного періоду, а також зміна сезонного розподілу атмосферних опадів.

Визначено, що підвищення температури повітря сприятиме зростанню випаровування та зменшенню ефективного зволоження території, що безпосередньо вплине на формування водного балансу басейну. Зміни режиму опадів та температури зумовлюватимуть трансформацію гідрологічного режиму річки Горинь.

Результати моделювання свідчать, що до середини XXI століття очікується:

- зменшення обсягів весняного стоку внаслідок скорочення снігового живлення;
- зміщення максимуму водності на більш ранні строки;
- зростання ролі дощового живлення та частоти короткочасних паводків у теплий період року;
- зниження водності у літньо-осінній меженний період;
- підвищення загальної мінливості річкового стоку.

Встановлено, що зазначені зміни можуть призвести до збільшення частоти та інтенсивності екстремальних гідрологічних явищ, зокрема паводків і періодів маловоддя. Це створює додаткові ризики для водогосподарських систем та ускладнює прогнозування водних ресурсів.

Особливу увагу приділено оцінці впливу змін клімату та водного режиму на функціонування Хмельницької атомної електростанції. Визначено, що зменшення водності річки Горинь у меженний період та підвищення температури води можуть негативно впливати на ефективність роботи систем охолодження енергоблоків. Водночас зростання частоти паводків може створювати додаткові гідрологічні ризики.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для:

Отже, результати виконаного дослідження підтверджують, що кліматичні зміни до середини ХХІ століття призведуть до суттєвої трансформації гідрологічного режиму річки Горинь у районі Хмельницької АЕС. Це зумовлює необхідність врахування кліматичних проєкцій у водогосподарському плануванні, управлінні водними ресурсами та забезпеченні енергетичної безпеки регіону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водний кодекс України : Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР // Відомості Верховної Ради України. – 1995. – № 24. – Ст. 189.
2. Гідрологічний щорічник України. – Київ : Український гідрометеорологічний центр, 2021.
3. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В.Гребінь. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
4. Гідроекологічний стан басейну Горині в районі Хмельницької АЕС / В.К. Хільчевський, М.І. Ромась, О.В. Чунарьов, В.В. Гребінь, І.О. Шевчук; за ред. В.К. Хільчевського. – К.: Ніка-Центр, 2011. – 176 с.
5. Загальна гідрологія : навч. посіб. / за ред. В. К. Хільчевського. – Київ : ВПЦ «Київський університет», 2008. – 480 с.
6. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – Київ : Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
7. Маринич О. М., Шищенко П. Г. Географія України : підручник / О. М. Маринич, П. Г. Шищенко. – Київ : Знання, 2007. – 511 с.
8. Мельник Л. Г. Основи екології : підручник / Л. Г. Мельник. – Суми : Університетська книга, 2014. – 400 с.
9. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2022 році / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. – Київ, 2023.
- 10.Ободовський О. Г. Руслові процеси : навч. посіб. / О. Г. Ободовський. – Київ : ВПЦ «Київський університет», 2017. – 304 с.
- 11.Романчук О. М. Водні ресурси України : навч. посіб. / О. М. Романчук. – Київ : Либідь, 2016. – 272 с.
- 12.Огляд кліматичних умов в Україні у 2021 році / Український гідрометеорологічний центр. – Київ, 2022.

13. Кліматичний кадастр України / Український гідрометеорологічний центр. – Київ, 2006. – 320 с.
14. Хільчевський В. К. Гідрохімія України : підручник / В. К. Хільчевський. – Київ : ВПЦ «Київський університет», 2016. – 480 с.
15. Хільчевський В. К., Кравчинський Р. Л. Водні ресурси та їх використання / В. К. Хільчевський, Р. Л. Кравчинський. – Київ : ВПЦ «Київський університет», 2015. – 304 с.
16. Шищенко П. Г. Природні ресурси України : підручник / П. Г. Шищенко. – Київ : Либідь, 2010. – 256 с.
17. Барабаш М. Б. Сучасні зміни клімату України / М. Б. Барабаш // Український гідрометеорологічний журнал. – 2017. – № 19. – С. 5–12.
18. Лобода Н. С. Зміни водного балансу України в умовах потепління клімату / Н. С. Лобода // Український географічний журнал. – 2016. – № 2. – С. 25–32.
19. Осадчий В. І. Сучасні зміни клімату України / В. І. Осадчий // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – № 13. – С. 6–15.
20. Шевченко О. Г. Вплив кліматичних змін на річковий стік України / О. Г. Шевченко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2018. – № 3. – С. 45–52.
21. Степаненко С. М. Кліматичні зміни в Україні / С. М. Степаненко. – Одеса : ОДЕКУ, 2017. – 120 с.
22. Гідрологічний моніторинг водних ресурсів України / Державна служба України з надзвичайних ситуацій. – Київ, 2020.
23. Arnell N. W. Climate change and global water resources // Global Environmental Change. – 1999. – Vol. 9. – P. S31–S49.
24. Gosling S. N., Arnell N. W. Simulating current global river runoff // Hydrological Processes. – 2011. – Vol. 25. – P. 398–411.
25. Haddeland I. et al. Global water resources affected by climate change // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 111. – P. 3251–3256.

- 26.Climate Change 2014: Synthesis Report / Intergovernmental Panel on Climate Change. – Geneva, 2014.
- 27.Climate Change 2021: The Physical Science Basis / Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge : Cambridge University Press, 2021.
- 28.Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability / Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge : Cambridge University Press, 2022.
- 29.Kundzewicz Z. W. et al. Flood risk and climate change // Hydrological Sciences Journal. – 2014. – Vol. 59. – P. 1–28.
- 30.Milly P. C. D. et al. Stationarity is dead: whither water management? // Science. – 2008. – Vol. 319. – P. 573–574.
- 31.Oki T., Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources // Science. – 2006. – Vol. 313. – P. 1068–1072.
- 32.Pendergrass A. G. et al. Precipitation variability increases in a warmer climate // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7. – P. 17966.
- 33.Trenberth K. E. Changes in precipitation with climate change // Climate Research. – 2011. – Vol. 47. – P. 123–138.
- 34.Van Vuuren D. P. et al. The representative concentration pathways: an overview // Climatic Change. – 2011. – Vol. 109. – P. 5–31.