

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету захисту рослин,
біотехнологій та екології

_____ Коломієць Ю.В.
« ____ » _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри екології агросфери
та екологічного контролю

_____ Наумовська О.І.
« ____ » _____ 2025р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему «Вплив змін клімату на гідрологічні та гідрохімічні
показники річки Ворскла»

Спеціальність _____ 101 «Екологія»

Освітня програма «Екологія та охорона навколишнього середовища»

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна

Гарант освітньої програми
професор, докт. біол. наук _____ Гайченко В.А.

Керівник
магістерської кваліфікаційної роботи
к. с.-г. наук, доцент _____ Ладика М.М.

Виконав _____ **Кравченко І.І.**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ

І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри екології агросфери,
та екологічного контролю**

_____ **Наумовська О.І.**

«___» _____ **2024 р.**

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ

Кравченка Ігоря Івановича

Спеціальність 101 «Екологія»

Освітня програма «Екологія та охорона навколишнього середовища»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Вплив змін клімату на гідрологічні та гідрохімічні показники річки Ворскла»

Затверджена наказом від «б» листопада 2024 р. № 184 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15.11.2025 р.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: кліматичні та гідрологічні дані басейну р. Ворскла.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- здійснити збір кліматичної, гідрологічної та гідрохімічної інформації по трьох гідрологічних постах у межах річки Ворскла;
- проаналізувати кліматичні зміни у басейні річки Ворскла;
- встановити взаємозв'язок гідрохімічних та гідрологічних показників;
- проаналізувати вплив змін клімату на гідрологічні та гідрохімічні показники.

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання «08» листопада 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Ладика М.М.

Завдання прийняв до виконання _____ Кравченко І.І.

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «Магістр» за спеціальності «101 Екологія» за освітньо-професійною програмою «Екологія, охорона навколишнього середовища». Робота виконана на 97 сторінок та містить 3 розділи, 30 рисунків, 24 таблиці, 80 використаних джерел.

Мета роботи – аналіз гідрологічних і гідрохімічних показників річки Ворскла та їх взаємозв'язок зі змінами клімату.

Об'єкт дослідження – кліматичні зміни та їх вплив на гідрологічні та гідрохімічні показники поверхневих вод річки Ворскла.

Предмет дослідження – температура повітря та опади на території басейну річки Ворскла, гідрологічні параметри річки та гідрохімічні показники якості води.

Проведений аналіз кліматичних параметрів у басейні річки Ворскла показав збільшення середньорічної температури на 1,2°C, зменшення річної кількості опадів у верхній частині на 48,5 мм та їх збільшення на 17,4 мм у середній та нижній частині разом із їхнім перерозподілом по сезонах;

Встановлений значний взаємозв'язок гідрохімічних та гідрологічних показників між собою, який показав що, при збільшенні рівнів води відбувається зменшення мінералізації, вмісту важких металів та збільшення біогенних речовин у воді, і навпаки. При підвищенні температури води, була відмічена тенденція до збільшення вмісту кисню (особливо фосфатів) у ній і зменшення концентрацій заліза.

Аналіз змін клімату на гідрологічні та гідрохімічні показники показав, що при збільшенні температури повітря та зменшенні кількості опадів, відбувається зменшення стоку та рівнів води. Через це відбувається збільшення вмісту важких металів, мінералізації та до скорочення органічних речовин.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗМІНИ КЛІМАТУ, ГІДРОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ, ГІДРОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІН КЛІМАТУ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПРИРОДНІ РЕСУРСИ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)	8
1.1 Глобальні зміни клімату: причини і наслідки	8
1.2 Кліматичні флуктуації на теренах України.....	12
1.2.1 Характер і масштаби змін клімату на території України	13
1.2.2 Причини змін клімату.....	15
1.2.3 Наслідки змін клімату	16
1.3 Адаптація народногосподарського комплексу до умов недостатньої зволоженості	17
1.3.1 Адаптація в аграрному секторі.....	18
1.3.2 Водогосподарський комплекс	18
1.3.3 Адаптація промисловості.....	19
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	22
2.1 Мета і завдання дослідження.....	22
2.2 Об'єкт і предмет досліджень	22
2.3 Загальні відомості про територію дослідження.....	22
2.4 Методика досліджень	26
3 РОЗДІЛ «ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ГІДРОЛОГІЧНІ ТА ГІДРОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РІЧКИ ВОРСКЛА»	28
3.1 Кліматичні зміни в басейні р. Ворскла.....	28
3.1.1 Температура.....	29
3.1.1.1 Зміна температури по метеостанції Богодухів та гідрометеорологічному посту Чернеччина.....	29
3.1.1.2 Зміна температури по метеостанції Полтава та Кобеляки ...	31

3.1.2 Опали.....	36
3.1.2.1 Зміна режиму опадів по метеостанції Богодухів та гідрометеорологічному посту Чернеччина.....	36
3.1.2.2 Зміна режиму опадів по метеостанції Полтава та Кобеляки	41
3.2 Аналіз гідрологічних параметрів р. Ворскла	47
3.3 Гідрохімічні особливості річки Ворскла	53
3.4 Кореляційний аналіз кліматичних змін та гідрологічних й гідрохімічних показників якості води р. Ворскла	73
ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84
ДОДАТОК 1	95
ДОДАТОК 2	95
ДОДАТОК 3	95
ДОДАТОК 4	96

ВСТУП

Наш час характеризується масштабними кліматичними змінами, які впливають не лише на зміну погодних умов, а й на зміну гідрологічного режиму річок планети та їх якість. За даними Організації Об'єднаних Націй (ООН) [1], кліматичні зміни провокують водну кризу через постійні посухи, зменшення льодовиків, екстремально високі температури та інтенсивні повені - створюють воду не придатною для вживання.

Дослідження, які були проведені в басейні Сіверського Донця встановили, що поповнення поверхневих та підземних вод здебільшого відбувалося саме з листопада по квітень за рахунок снігового покриву. Потепління зим провокують зменшення надходження талої води, та впливає на загальне водозабезпечення регіону [2].

Тенденції до глобального потепління, спричиняють значний вплив не лише на водні ресурси, а й на водні екосистеми. Річка Ворскла – як елемент водного балансу лівобережної частини України, зазнає суттєвих змін у гідрологічному та хімічному складу (як і сама екосистема річки) через зміни клімату та антропогенну діяльність [3]. Вивчення цих змін є важливим для збереження стійкості біорізноманіття річки, збереженню водних ресурсів та мінімізації негативного впливу кліматичних змін.

Згідно досліджень [4], постійна річкова межень провокує погіршення кисневого режиму, особливо це відчутно у зимовий період, коли річки вкриваються кригою. Також маловоддя сприяє збільшенню концентрації розчинених речовин: через випаровування відбувається зменшення об'ємів води, через що кількість розчинених солей збільшується, що в свою чергу підвищує загальну мінералізацію.

Через зростання позитивних температур у зимовий період, збільшення періодів посух та аномальної спеки влітку із сильним прогрівом води у річках, відбувається погіршення кисневих умов, через що сповільнюється розклад нафтопродуктів. В умовах постійно зростаючих температур води річок, відбувається сприяння активного розпаду фенолів та синтетично поверхневих-

активних речовин (СПАР), які потрапляють до водних екосистем через скиди стічних вод. При дослідженні показника біологічного споживання кисню (БСК), було встановлено, що підвищення температури на 10°C збільшує споживання кисню у воді у 2-3 рази [5], і показує залежність цього показника від погодних умов.

Дослідження змін клімату на даний час є актуальним завданням для всіх держав світу. Різні екстремальні погодні умови – створюють негативний вплив не лише на водні об'єкти, а й на решту об'єктів довкілля. Антропогенна діяльність у поєднанні зі змінами клімату наносить величезні втрати екосистемам. Погіршення якості води у водних об'єктах планети – створює загрозу продовольчій безпеці, і як наслідок - до регіональних воєнних конфліктів, які призводять не лише до деградації водних ресурсів, а й до підсилення парникового ефекту, який є ключовим у змінах клімату [6].

Отже, поєднання змін клімату і антропогенної діяльності людини, є основною причиною погіршення якості води у водних об'єктах на всій планеті Земля. Пересихання прісноводних водойм, забруднення річок, океанів – все це призводить до швидких темпів втрати та непридатності до споживання води і використання її із водних об'єктів, саме цей зумовило вибір теми, визначення мети і завдань дипломної роботи.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІН КЛІМАТУ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПРИРОДНІ РЕСУРСИ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

1.1 Глобальні зміни клімату: причини і наслідки

Глобальні зміни клімату – це довгострокові зміни метеорологічних величин (температури, опадів, вітру тощо) і разом з цим кліматичних умов на планеті, які спричинені природними змінами (протягом тисячі років) та антропогенною діяльністю (швидкі темпи змін клімату на протязі декількох століть, через викиди парникових газів від спалювання викопного палива).

Основною причиною змін клімату вважається вплив парникового ефекту [7]. Парниковий ефект – підвищення глобальної температури земної поверхні в результаті нагрівання нижньої частини атмосфери (тропосфери) внаслідок накопичення парникових газів. Причиною парникового ефекту є [8]:

1) Транспорт – викиди вихлопних газів автомобільного транспорту. Вихлопними газами вважаються продукти згорання в двигунах внутрішнього згорання. Серед складових вихлопних газів парниковими є ті, що утримують тепло в атмосфері та сприяють потеплінню: вуглекислий газ (CO_2), водяна пара (H_2O), метан (CH_4) та оксиди азоту (N_2O) [9].

2) Вирубка лісів – ліси поглинають вуглекислий газ і виділяють кисень, через їх вирубку рівень вуглекислого газу збільшується, так як не має фітомаси, яка буде його утримувати та перетворювати.

3) Промисловість – використання корисних копалин, а саме: вугілля, нафти та природного газу – виділяється величезна кількість парникових газів [8]. Так на утворенні 1 гігаджоуль (ГДж) енергії утворюється приблизно 90-100 кг CO_2 . Нафта викидає близько 70-75 кг CO_2 /ГДж [10], а природний газ виділяє лише 50-55 кг CO_2 /ГДж, але витрати метану (CH_4) під час видобутку або транспортування роблять його вплив на клімат більшим, ніж вплив CO_2 [11].

Загальна суть парникового ефекту полягає у тому, що завдяки Сонцю Земля отримує від нього енергію, здебільшого, у видимій частині спектра (380-

750 нм). Оскільки планета значно холодніша за Сонце, то віддає енергію в космос у вигляді інфрачервоного випромінювання (від 750 нм до 1 мм). Деякі атмосферні гази, такі як: водяна пара, CO_2 , CH_4 , N_2O – легко пропускають видиму частину спектра, але добре поглинають інфрачервоні промені. Через це частина тепла затримується в атмосфері, і не повертається назад до космосу. Дані гази наявні в атмосфері постійно, і тому виділяють 6 основних природних парникових гази [12, 13]: водяна пара, вуглекислий газ, метан, озон, закис азоту та хлорфторвуглеводні. Завдяки цим газам, на Землі підтримується сприятлива для існування життя температура [12].

Парниковий ефект сам по собі не є негативним явищем, він існує з моменту коли сформувалася атмосфера. Як би не було парникового ефекту, температура на планеті була б на 30° нижче, чим зараз.

Втім, людська діяльність значно підсилює цей ефект через викиди вуглекислого газу (CO_2), метану (CH_4), закису азоту (N_2O) та інших газів. За останнє століття концентрація CO_2 в атмосфері зростає більш ніж на 25%, а метану – у 2,5 рази. За цей час на частку CO_2 припадало близько 66% усіх антропогенних викидів. Проте з 1980-х років його відносний внесок у глобальні зміни клімату дещо зменшився через появу нових сильних парникових речовин, зокрема хлорфторвуглеводнів, відомих також як фреони.

16 вересня 1987 році в Монреалі (Канада), було підписано Монреальський протокол [15], який забороняє виробництво і поступове використання хлорфторвуглеводнів, галогенових фторвуглеців (галонів), тетрахлорид вуглецю, метилхлороформу та метилброміду. Положення даного протоколу передбачають поступове припинення застосування цих речовин.

Даний договір вважається одним із найуспішніших екологічних договорів, що дало змогу не лише зменшити концентрацію цих речовин в атмосфері, і зтягнутися озоновій дірі над Антарктидою (рис. 1.1.1), а й запобігти потеплінню планети на $0,5-1^\circ\text{C}$ до середини цього століття, в порівнянні з іншими сценаріями безконтрольного збільшення цих речовин в атмосфері [17].

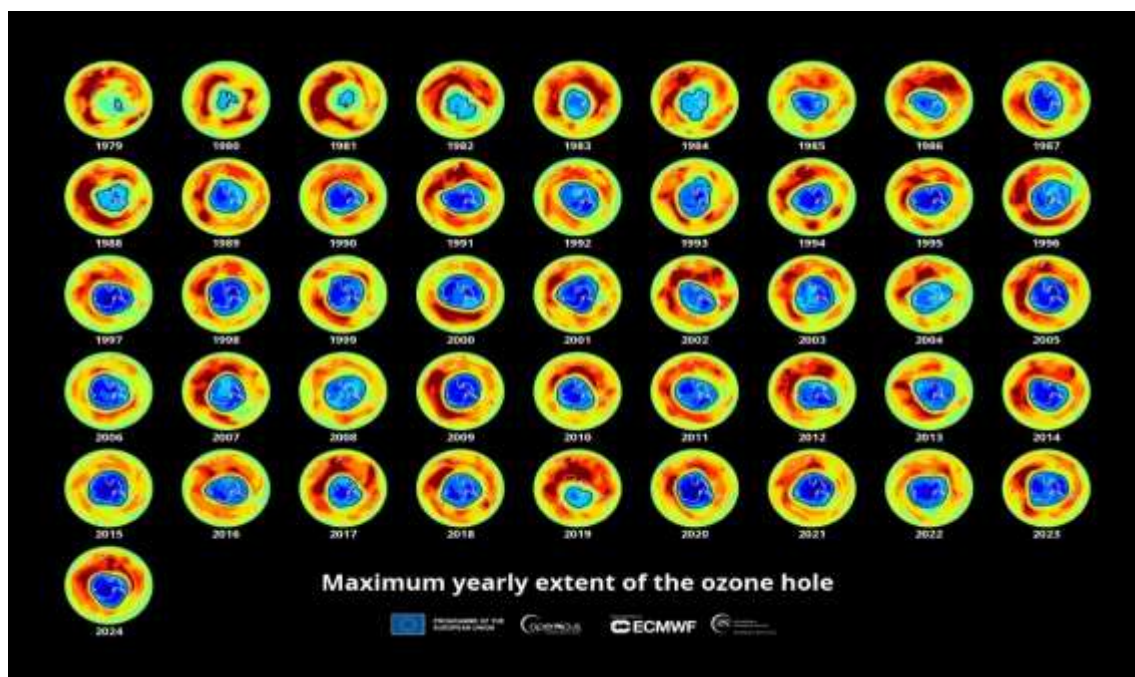


Рис. 1.1.1. Максимальні річні розміри озонної діри над Антарктидою [16]

Із зростанням концентрації CO_2 на кожні 10% (вуглекислий газ вважається одним із основних парникових газів, які викликають нагрівання планети) призводить до нагрівання поверхні Землі на $0,3^\circ\text{C}$ [13]. Так за останнє десятиліття, рівень CO_2 в атмосфері стрімко зростає (рис.1.1.2).

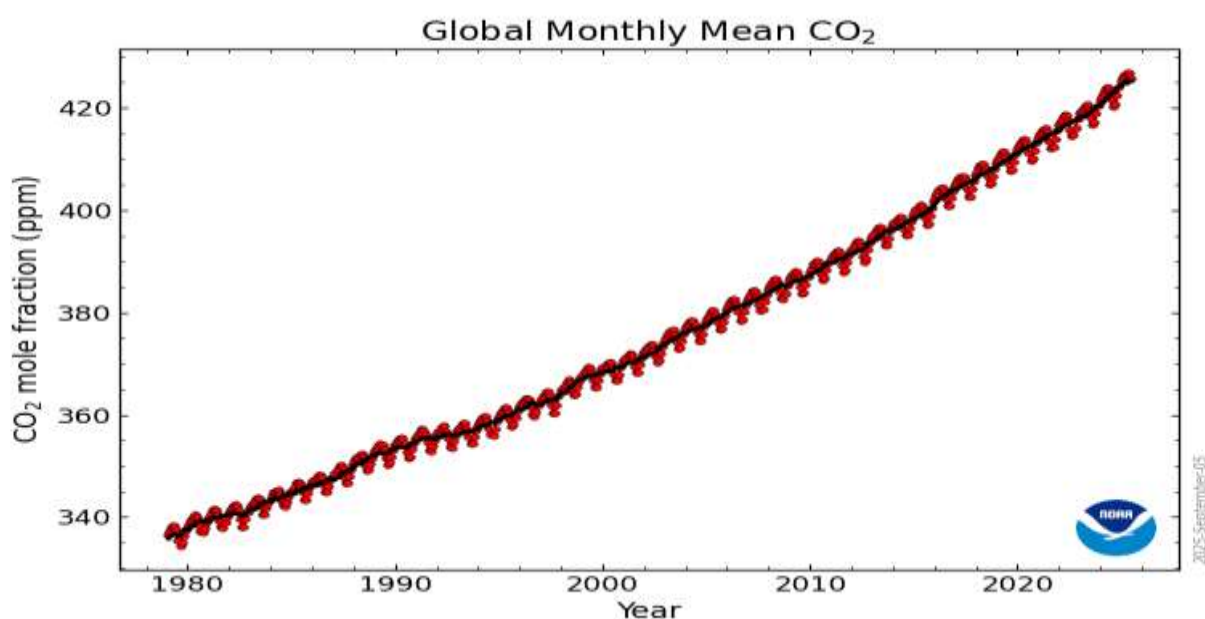


Рис. 1.1.2. Глобальні щомісячні значення рівнів CO_2 в атмосфері з 1980 рр. [18]

Згідно даного малюнку, концентрації вуглекислого газу продовжують зростати, не дивлячись на укладення Рамкової конвенції ООН (Організації об'єднаних націй) в 2015 році, суть якої полягає у скороченні викидів парникових газів в атмосферу, і утримання потепління клімату на рівні до 1,5 °С, не перевищивши поріг у 2 °С [19]. Так з моменту укладення угоди, рівень CO₂ з 380 ppm (ppm – одиниця, яка показує, скільки молекул речовини припадає на 1 000 000 молекул повітря) зріс до 430 ppm, за 10 років вміст вуглекислого газу виріс на 50 ppm, що вказує на неефективність даної конвенції і продовження потепління клімату.

Згідно дослідження «*Climate-economy projections under shared socioeconomic pathways and net-zero scenarios*» [20], навіть за умов нульових викидів парникових газів до 2050 років, глобальна температура перевищить позначку у 2°С до 2100 року, і складатиме 2.5° - 2.7°С. А за менш амбітним сценарієм – нульові викиди до 2100 року – температура зросте до 3.0°-3.7°С.

Згідно звіту міжнародної групи експертів зі змін клімату (IPCC) [21], світ дедалі частіше буде зіштовхуватися з екстремальними погодними умовами. Так у наш час зміна клімату проявляється у прояві хвиль тепла, які стали частішими і довшими. У багатьох регіонах світу аномально високі температури стають нормою, а тривалі періоди спеки спричиняють загибель людей, особливо людей з хронічними захворюваннями та похилого віку. Хвилі тепла підвищують ризики для здоров'я населення, збільшуючи навантаження на системи охорони здоров'я, інфраструктуру (особливо енергетичну, через масове використання кондиціонерів [22]).

Також, згідно даного звіту [21], окрім хвиль тепла світ зіштовхується з посиленням злив, посух, тропічних циклонів, таненням льодовиків та підвищенням рівня моря. Це створює серйозні ризики для прибережних районів, особливо для острівних країн, які можуть повністю піти під воду.

Так згідно даних інтернет порталу «Екодія» [23], до 2100 року рівень світового океану може підвищитися на 58-98 см, і затопити 1,79 млн км² суші, через що 187 млн людей будуть вимушені емігрувати в інші регіони планети.

Через підвищення рівня океану, створюються серйозні ризики для прибережної інфраструктури та погіршення джерел питної води. Вже зараз фіксується негативний вплив на сільське господарство - у багатьох країнах світу врожайність пшениці, кукурудзи та рису знижується. Сильно страждають і екосистеми: так коралові рифи почали деградувати через нагрівання і закислення океану, багато видів рослин і тварин змінюють ареали або опиняються під загрозою зникнення [24,21].

Приміром 2024 рік на планеті став найтеплішим за всю історію метеорологічних спостережень, і перетнув позначку у 1,5°C [34], показавши неефективність укладеної Рамкової конвенції ООН по змінах клімату в Парижі в 2015 році.

Так, згідно досліджень [25], одним із можливих незворотних наслідків змін клімату може бути колапс Атлантичної меридіональної перекидної циркуляції (Atlantic Meridional Overturning Circulation – АМОС). Зупинка Гольфстріму при сценаріях високих викидів парникових газів до 2100 року складає – 70%, а при середніх викидах – 37%.

Такі зміни матимуть серйозні наслідки для всього клімату Європи. Згідно з моделями, у разі повної зупинки АМОС, температура в північно-західній Європі може знизитися на 5-15°C, що призведе до різкого похолодання навіть у зимовий період [26].

1.2 Кліматичні флуктуації на теренах України

Клімат України, як і світу також змінюється під впливом антропогенної діяльності людини та місцевих факторів. Так вже ці зміни мають помітні наслідки для природного середовища, економіку та населення країни. Згідно даних Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів [27], середньорічна температура на території України виросла на 1.2°C в порівнянні з кліматичною

нормою 1961-1990 рр., перевищуючи світові темпи до потепління. Такі зміни провокують нерівномірний розподіл опадів, збільшення періодів екстремальних температур (особливо екстремально високої у всі сезони), збільшення частоти злив та посух.

1.2.1 Характер і масштаби змін клімату на території України

1. *Зростання температури повітря:* згідно кліматичних даних [27], клімат України став тепліше на $1,2^{\circ}\text{C}$ в порівнянні з кліматичною нормою 1961-1990 рр. Особливо суттєво виражене підвищення температури у зимові місяці, коли температури можуть перевищувати норму більше ніж на 2°C . В додачу до цих змін, змінюється час настання сезонів. Весна почала наставати раніше і так само закінчуватися. Аналогічна ситуація з осінню, коли вона може наступати пізно, і затягуватися до зимових місяців, витісняючи при цьому зимовий сезон, який з кожним роком все коротше і коротше [30].

За оцінками кліматичних моделей [30], подальше потепління і викиди парникових газів за помірним сценарієм RCP4.5 (Додаток 1) може досягти $2,5^{\circ}\text{C}$, або за більш песимістичним сценарієм RCP8.5 (Додаток 1) – $4,7^{\circ}\text{C}$ вже до кінця цього століття.

Особливо помітний прояв змін клімату на території України у зміщенні природних зон (рис. 1.2.1.1), де за останні десятиліття, межі природно-кліматичних зон змістилися на 100-150 км північніше [28, 29].

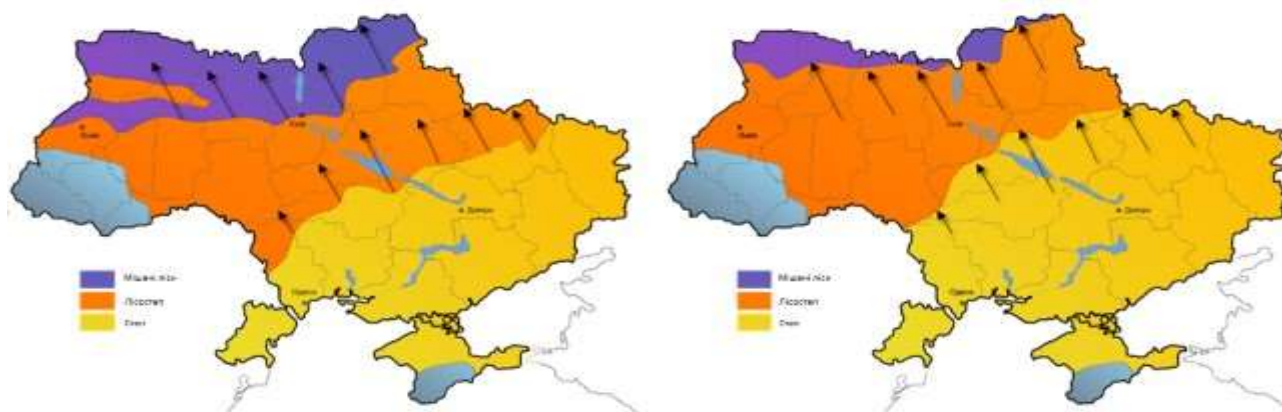


Рисунок 1.2.1.1 Зміщення природних зон на території України [29]

Степова частина, за кліматичним режим становиться подібною до сухих субтропіків Греції. Якщо стрімкі темпи змін клімату залишаться і в майбутньому, то стане небезпека втрати для інтенсивного землеробства не лише зони степу, а й половина площі орних земель через постійні посухи та дефіциту водних ресурсів [29].

Також зміни клімату впливають і на територію Полісся, де вже відбуваються процеси зниження рівня ґрунтових вод, деградація водно-болотних угідь через дефіцит вологи та зменшення або і повна відсутність снігового покриву. Всі ці зміни вказують на зміну природно-кліматичних зон, і що кожна природна зона стає подібною до іншої, тобто Полісся на Лісостеп, а Лісостеп на Степ, і так далі [28].

2. *Зміни опадів і режиму зволоження:* у багатьох регіонах України спостерігається нерівномірне випадіння опадів: в західній та північно-західній частині України прогнозується збільшення кількості опадів, а на півдні та сході їх зменшення. Відбувається також і їх перерозподіл, у зимово-весняний період відбувається їх збільшення, а в літній - зменшення [30,31].

Крім того, прогнозується [31] збільшення частоти небезпечних та екстремальних погодних явищ. Так на півночі і заході України таких явищ як снігопади та зливи буде найбільше, в порівнянні з іншими територіями України. Екстремальна спека буде впливати на всі області, але найбільший вплив буде на півдні та сході, де окрім неї добавлятиметься тривалі періоди посух.

3. *Прискорення кліматичних змін в Україні відносно решти світу:* температура є одним із головних показників, що свідчить про зміни клімату на планеті. За даними NASA (National Aeronautics and Space Administration – Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору Сполучених Штатів Америки), нинішні зміни клімату відбуваються у десять разів швидше, ніж середня швидкість потепління після останнього льодовикового періоду. Востаннє подібні зміни відбувалися понад 100 тисяч років тому, але тривало воно протягом тисячоліть, а не десятиліть [32, 33].

«В Україні за останні 60 років підвищення середньої температури відбувалось майже у 2,5 рази швидше, ніж глобальної. Як наслідок, з 1981 року відмічається збільшення тривалості теплого періоду і періоду активної вегетації на 7-8 днів кожні 10 років», – зазначила кліматологиня Віра Балабух у інтерв'ю виданню РБК Україна [33].

1.2.2 Причини змін клімату

1. Антропогенне накопичення парникових газів: як зазначалося раніше, основною причиною змін клімату є парниковий ефект, який підсилюється через викиди парникових газів людиною - спалювання викопного палива (нафти, вугілля та природного газу). Це призвело до підвищення концентрації CO₂, CH₄, N₂O та інших парникових газів [9, 11, 12, 14, 35].

2. Локальні антропогенні чинники та руйнування екосистем: окрім глобальних чинників, локальні можуть прискорювати або посилювати вплив змін клімату. До таких чинників належать:

1) зміна землекористування (вирубка лісів, осушення боліт та урбанізація) змінюють місцевий водний режим, клімат та зменшення поглинання вуглецю;

2) забруднення атмосферного повітря, що чинить вплив на радіаційний баланс (аерозолі, частинки які змінюють альбедо) та на здоров'я населення;

3) діяльність людини в сільському господарстві – емісія азотних добрив, викиди метану від тваринництва, розорювання луків та долин річок – все це призводить до зміни місцевого клімату.

3. Вплив воєнних дій: з 2022 року, Україна стала новим чинником, що впливає на кліматичну систему через руйнування інфраструктури, ракетно-бомбові удари та обстріли прифронтових зон.

За даними дослідження [36], в перший рік війни викиди CO₂ досягли 120 млн т еквіваленту вуглецю, що перевищило викид високоіндустріалізованої країни як Нідерланди, а також ця цифра дорівнює викидам п'ятих країн, які класифікуються як нестабільні та постраждали від конфліктів – Гаїті, Сомалі, Сирія, Буркіна-Фасо та Ємен.

Загальний обсяг викидів CO₂ за період повномасштабної війни (2022-2024 рр.) становив 230 млн т CO₂ – еквіваленту, що можна порівняти із річними викидами Австрії, Угорщини, Чехії та Словаччини [37]. Бойові дії, включаючи використання палива, боєприпасів, будівництво фортифікацій – становить 82,1 млн т CO₂ – еквіваленту, або 36% від загальних викидів. Ландшафтні пожежі, спричинені бойовими діями та змінами клімату, суттєво підвищило викиди CO₂ до 25,8 млн т CO₂ – еквіваленту. У 2024 році сама площа пожеж сягала 92 100 га, що в два рази більше за перші роки війни – 38 300 га.

Руйнування енергетичної інфраструктури, нафтопереробних заводів, трубопроводів та інших об'єктів призвело до викидів не лише вуглекислого газу, а й інших шкідливих речовин таких як гексафторид сульфуру (SF₆), який у 24 000 разів потужніший за CO₂. Загальний викид CO₂ склав 19,0 млн т CO₂-еквіваленту, з яких 1.1 Мт CO₂-еквіваленту SF₆, здебільшого від пошкодженого електрообладнання.

Руйнування цивільної інфраструктури призвело до викидів 62,2 млн тонн CO₂-еквіваленту, або 27% від загальних викидів CO₂. Викиди цивільної авіації - 14,4 млн т CO₂-еквіваленту – 6% від загального об'єму, рухи біженців за 3 роки війни спричинили викид вуглецю на 3,3 млн т CO₂-еквіваленту – 2% [37].

Використовуючи соціальну вартість викидів вуглецю в розмірі 185 доларів за тонну, то збитки, які пов'язані зі змінами клімату, перевищують 42 мільярди доларів.

1.2.3 Наслідки змін клімату

1. Проблеми із сільським господарством: так згідно дослідження Світового банку [38], за умов постійного зростання викидів парникових газів, вже до кінця XXI століття температура в Україні може підвищитися більш ніж на 4 °C. Згідно прогнозів, зими стануть теплішими і вологішими, а літо спекотним та сухим. Кількість тропічних ночей (ночі, температура яких не опускається нижче 20 °C) зі спекою ставатиме більше, тоді як дні з морозним періодом будуть зменшуватися.

Кліматичні зміни вплинуть на сільське господарство, де до середини ХХІ ст. прогнозується зменшення врожаїв ячменю, кукурудзи та соняшнику, проте врожайність озимої пшениці на півночі та північному заході може вирости на 20-40% в порівнянні з 2010 роком.

2. *Зміна у водних ресурсах та водному балансі:* під час періодів посух зменшується доступність води для питних цілей, зрошення та промисловості. Підвищення температури і зменшення опадів призводять до пересихання малих річок, зниження рівня ґрунтових вод, особливо відчутно це на сході та півдні України.

3. *Зростання частоти та сили екстремальних погодних явищ:* повені, посухи, пилові бурі, зливи, снігопади, град та сильні грози зі шквалами – всі ці явища стають частішими та інтенсивнішими [33].

4. *Руйнування екосистем, зменшення біорізноманіття та деградація ґрунтів:* зміни кліматичних умов призводять до зміщення природних зон [28,29], і разом з цим зсув ареалів проживання рослин і тварин, втрати видового складу і зменшення адаптивності екосистем.

1.3 Адаптація народногосподарського комплексу до умов недостатньої зволоженості

За останні десятиріччя, клімат в Україні зазнав суттєвих змін. Істотне підвищення середньорічних температур, особливо у східних та південних регіонах, спровокувало погіршення вологозабезпечення цих регіонів, через нерівномірність випадіння опадів, відсутність снігового покриву в зимовий період, і періоди посух в літню пору з екстремально високими температурами. Так з 1991 року, кількість спекотних днів в Україні з температурою 30° і більше виросла в три-п'ять рази, через що дефіцит вологи почав набувати хронічного характеру [39].

Згідно дослідження *Impact of climate change on water resources and agricultural production* (Matiash et al.) [40] показує, що за період з 1975-2019 рр., в Україні темпи росту температури склали 0,61°-0,82 °С за кожне десятиріччя,

що перевищує середньоєвропейські та глобальні показники темпів потепління, і призводить до зменшення запасів вологи в ґрунті [33, 32, 27].

1.3.1 Адаптація в аграрному секторі

1) *Технологічна адаптація*: в умовах посухи та дефіциту вологи українські фермери та науковці розпочинають використовувати сорти і технології, які мають кращу водо- і термостійкість [41].

2) *Зміна структури землеробства і агротехнічні засоби*: згідно наукового дослідження [42], методи збереження вологи у ґрунті – мінімальний обробіток ґрунту, мульчування, використання органічних добрив, правильне чергування сільськогосподарських культур та утримання снігового покриву – показало ефективність у збільшенні запасів ґрунтової вологи та зменшенні її витрат.

3) *Іригація*: застосування зрошення істотно підвищує врожайність таких культур соняшник на 24-48%, озимої пшениці на 15-25%, а ріпаку на 25-35% навіть в умовах дефіциту вологи. За економічною ефективністю зрошення вийшло, що крапельне забезпечувало найбільший приріст врожайності при мінімальному споживанні води, в порівнянні з дощувальними системами, які вимагали вищих експлуатаційних витрат [43].

1.3.2 Водогосподарський комплекс

1) *Модернізація іригаційних систем та інфраструктури*: в деяких системах водопостачання втрати води в каналах становлять 32-35% від первинного забору, а технічний стан насосних станцій і каналів значно погіршений [44].

2) *Принцип ефективного управління ресурсами*: у статті «*Conceptual principles of water resources management in irrigated agriculture*» [45] викладені основні підходи, такі як:

- використання моделей вологості ґрунту – де за допомогою моделей та датчиків визначають стан ґрунту і планування поливу;

- використання оцінки евапотранспірації – комбінування фізичних та емпіричних моделей, враховуючи прогноз погоди, щоб точно визначити потребу рослин у воді;

- застосування дистанційного зондування – використання супутникових даних для проведення оцінки вологості на всіх полях та ефективного управління паливом;

- застосування моделювання для точного планування поливу – підтримка оптимального рівня вологи в кореневому шарі, щоб рослини могли споживати воду максимально ефективно, зменшуючи втрати.

3) *Використання води на регіональному рівні:* багато регіонів України мають «досить високу» та «високу» ефективність управління водними ресурсами (рис.1.3.2.1) [46].

Всесвітній фонд природи – Україна [47] активно працює над розробкою та імплементацією механізмів адаптації щодо дефіциту води. Також він впроваджує природоохоронні рішення, які включають відновлення екосистем, збереження водно-болотних угідь та заплав, а також відновлення річкових екосистем [48].

1.3.3 Адаптація промисловості

Через зростання дефіциту водних ресурсів, промисловість України зіштовхується до нових екологічних проблем та економічних викликів, серед них: нестача ресурсів для більшості технологічних процесів, підвищення вартості водопостачання та очищення стічних вод, зменшення або повна зупинка виробництва в разі критичного зниження водозабезпечення [51].

Українська промисловість вже почала реагувати на кліматичні зміни. За даними міністерства розвитку громад, у 2025 році в Україні було прокладено 300 км нових водопроводів для стабілізації водопостачання на півдні України [52].

Важливим є й впровадження інтегрованого планування водних ресурсів. Україна вже розробила низку стратегічних документів, серед яких Стратегія

екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року [53], де головним напрямком є забезпечення водної стійкості промислових регіонів.

1.4 Вплив змін клімату на водні ресурси

Підвищення температури, зміна розподілу опадів, посилення екстремальних явищ (посухи, локальні зливи, пилові бурі тощо), сильно змінюють не лише режим і кількість, а й якість прісної води. За оцінками українських вчених та міжнародних досліджень, такі погодні умови будуть лише посилюватися і ставати тривалішими і частішими протягом ХХІ століття, що ставить під загрозу водну безпеку, сільське господарство та екосистеми країни в цілому [27,29,30,31,28,33,38].

Зміни клімату несуть за собою такі зміни у водних об'єктах України: *Кількісні зміни: зниження рівня стоку й рівнів води:* однією з головних проблем є скорочення поверхневого стоку річок та зменшення їх рівнів, паралельно зі зменшенням рівнів підземних вод у багатьох басейнах. Як приклад, аналіз гідрологічних змін у басейні Південного Бугу показує значні зміни сезонного розподілу стоку (рис. 1.4.1) [54].

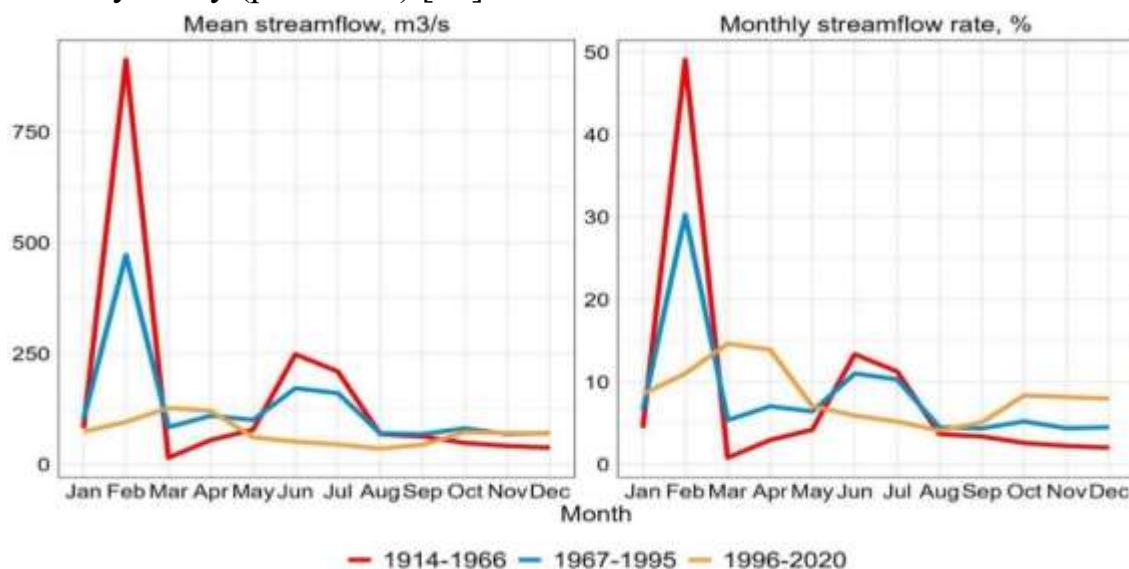


Рисунок 1.4.1. Зміна внутрішньорічного розподілу стоку річки Південний Буг на водомірній станції Олександрівка в результаті регулювання стоку.

Середньомісячний стік (ліворуч) та місячна швидкість стоку у % (праворуч)

Сильне скорочення стоку в степовій зоні України: За оцінками регіональних прогнозів, при РТК4.5 (траєкторії концентрації парникових газів) та РТК8.5 (додаток 2) було з прогнозовано, що за цими кліматичними сценаріями до середини XXI століття, відбудеться сильне зменшення водних ресурсів рівнинної території України до 70% на південному сході, а в зоні Карпат навпаки, відбудеться стабілізація і навіть збільшення водних ресурсів [55].

Зміни рівнів підземних вод та дрібних річок: через надмірне випаровування під час високих температур і посух сильно знижується рівень ґрунтових вод і водоносних горизонтів [49].

Погіршення якості води: через антропогенний вплив, у більшості річок спостерігається зміна хімічного складу, збільшується вміст важких металів, органічних речовин, солоність тощо.

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Мета і завдання дослідження

Мета дослідження: аналіз гідрологічних і гідрохімічних показників річки Ворскла та їх взаємозв'язок зі змінами клімату.

Для досягнення мети поставлено наступні завдання:

- здійснити збір кліматичної, гідрологічної та гідрохімічної інформації по трьох гідрологічних постах у межах річки Ворскла;
- проаналізувати кліматичні зміни у басейні річки Ворскла;
- встановити взаємозв'язок гідрохімічних та гідрологічних показників;
- проаналізувати вплив змін клімату на гідрологічні та гідрохімічні показники.

2.2 Об'єкт і предмет досліджень

Об'єкт дослідження – кліматичні зміни та їх вплив на гідрологічні та гідрохімічні показники поверхневих вод річки Ворскла.

Предмет дослідження – температура повітря та опади на території басейну річки Ворскла, гідрологічні параметри річки та гідрохімічні показники якості води.

2.3 Загальні відомості про територію дослідження

Дослідження екологічного стану р. Ворскла базувалося на басейновому підході в межах території України, що включав аналіз кліматичних, гідрохімічних та гідрологічних показників у верхній (гідрометеорологічний пост Чернеччина, Сумська область, Охтирський район та метеостанція Богодухів, Богодухівського району Харківської області), середній (гідрометеорологічний пост Полтава та метеостанція Полтава, м. Полтава, Полтавська область) та нижній частинах басейну (гідрометеорологічний пост та метеостанція Кобеляки, Полтавський район, Полтавська область) (рис. 3.3.1).

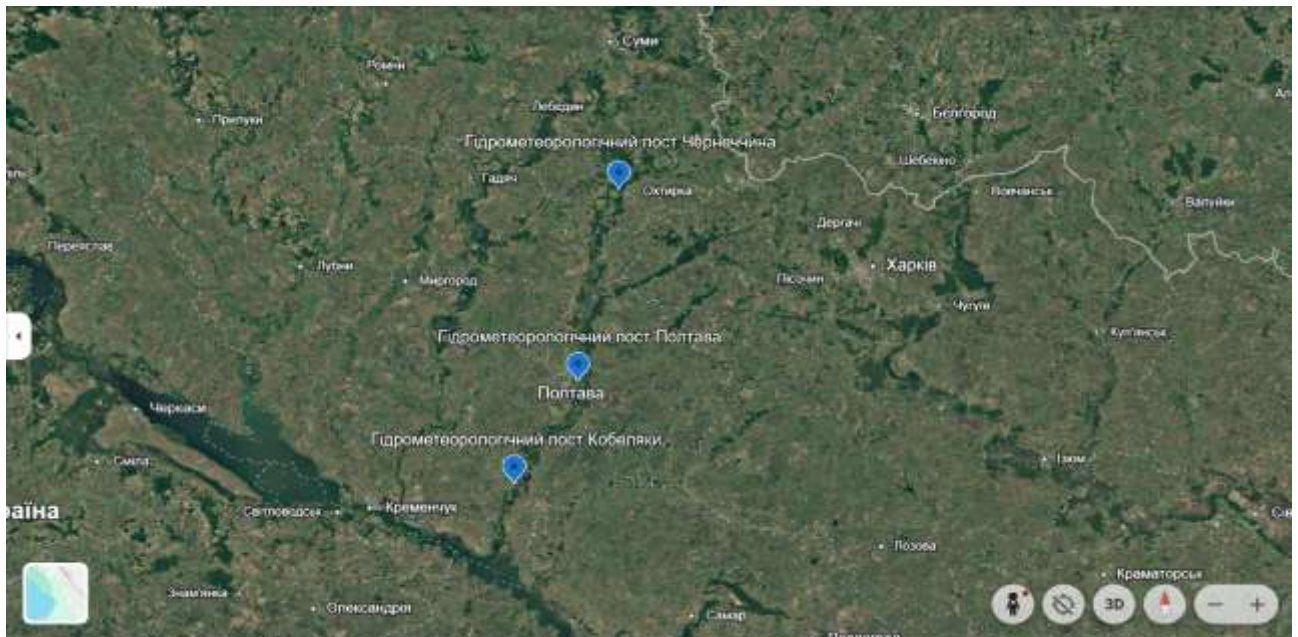


Рис. 3.3.1 Орієнтовна схема розташування гідрометеорологічних постів по руслу річки Ворскла

Для роботи було використано дані державного моніторингу якості поверхневих вод басейну Дніпра по р. Ворскла з гідрологічного фонду – «Гідрохімічний бюлетень», «Щорічні дані про якість поверхневих вод суші», «Таблиці метеорологічних постів» та дані з метеорологічного фонду – «Таблиця метеорологічних спостережень» державного галузевого архіву Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського (ЦГО).

Річка Ворскла – ліва притока Дніпра, що розташована у Сумській та Полтавській областях. Витік річки знаходиться у Белгородській області російської федерації у селищі Покровка. Вона впадає у Кам'янське водосховище біля селища Світлогірське Полтавської області. Довжина річки по всьому руслу складає 464 км, з них – 317 км на території України (68% від загальної довжини) і 147 км (32%) в Белгородській області [57, 58].

Басейн річки охоплює значну частину лісостепової зони України, включаючи великі сільськогосподарські поля та промислові центри. Площа самого басейну на території України становить 12590 км², у Белгородській області 2110 км² (загальна – 14700 км²). По території України річка протікає Придніпровською низовиною, а початок бере на південно-західних схилах

Середньоросійської височини. Річкова долина має чітко виражену територію завширшки від 10 до 12 км. У середній і нижній течії, річка проходить через Полтавську область, де створює значний питний, сільськогосподарський та рекреаційний ресурс. По загальній ширині – русло складає 30-40 м, деколи переходить за 100 м. В середньому, глибина річки складає 1,5 м, але на плесах вона може досягати цілих 10 м. У верхніх і середніх течіях трапляються мілководні ділянки, і по загальному стану, для всієї річки спостерігаються процеси замулення, заростання та міління [58,59].

По кліматичним умовам, басейн річки Ворскла відноситься до помірного кліматичного поясу. На даній території переважає перенесення повітряних мас з Атлантичного океану, яке поступово трансформується у помірно-континентальні [62].

За розподілом атмосферних опадів характерний континентальний тип з максимумом влітку і мінімумом взимку. Середньорічна кількість опадів на території Лівобережного лісостепу зменшується з півночі на південь від 640 до 520 мм. У верхній ділянці річки Псел випадає найбільше опадів – 640 мм. Максимальна кількість опадів припадає на теплий період року – від квітня по жовтень (320-340 мм). Така кількість випадіння пов'язані з домінуванням злив у цей період року (рис. 3.3.2) [62].

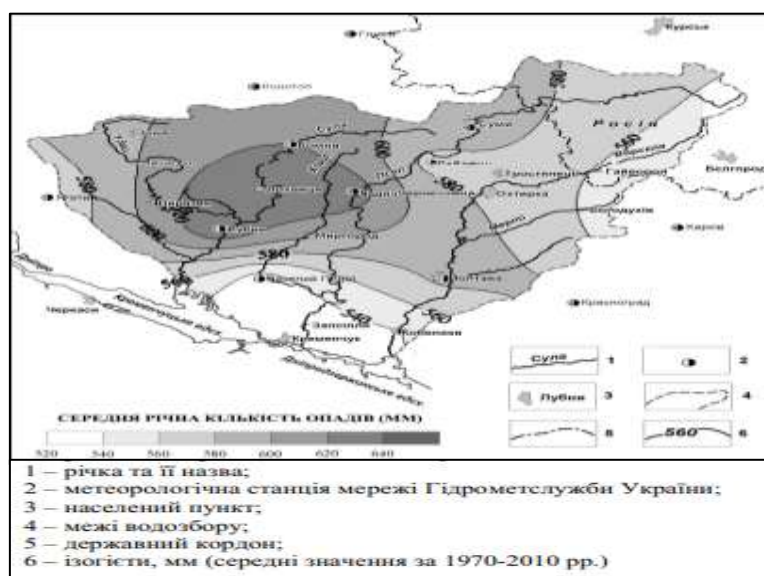


Рис. 3.3..2 Розподіл річних сум опадів по території Лівобережного Лісостепу [67]

У теплий період року спостерігається близько 30 днів з грозами, які супроводжуються зливовими опадами, інколи шквалами та градом. За холодний період року кількість опадів складає 130-170 мм, а сніговий покрив тримається впродовж 95-110 днів [62].

Через зміни клімату, і з урахуванням нової кліматичної норми, яка була обрахована за тридцятирічний період з 1991 по 2020 роки ми отримуємо зовсім іншу картинку. За цей час відбувся значний перерозподіл опадів по всіх сезонах. Зими стали вологішими, наприклад згідно даних метеостанції Ромни, за період з 1961-1990 рр. за холодний період випадало близько 219,1 мм, а зараз – 225,8 мм. Теплий період року також зазнав змін. Якщо по старій нормі випадало близько 346,7 мм, то зараз це складає 381,6, ми бачимо що на цій станції в теплий і холодний період року кількість опадів збільшилася, але за рахунок значного перерозподілу опадів по всіх місяцях [63].

Найбільш значущі зміни відбулися на метеостанції Лебедин, де за період з 1961 по 1990 роки за рік випадало близько 586,5 мм, а зараз 530,9 мм. Від'ємний баланс склав 55,6 мм. Кількість опадів зменшилася по всіх сезонах. У теплий період із 381,8 мм знизилося до 351,3 мм, а у холодний – з 204,7 до 179,7 мм. В загальному, зменшення опадів відбувається по всіх місяцях [63].

Найбільші рівні води, як правило спостерігаються в березні-квітні під час весняного водопілля. Межень на річці спостерігається в літньо-осінній період у липні-жовтні. Середньорічна витрата води у середній частині річки складає до 16 м³/с, а у гирлі – 36 м³/с [58,59].

За хімічним складом, вода відноситься до гідрокарбонатно-кальцієвої, через розчинення лужноземельних і карбонатних порід (кальцит, доломіт) у підґрунтових водах і ґрунтових водах. Окрім цього, вплив на хімічний склад мають і метеорологічні чинники. Основними з цих чинників, які тією чи іншою мірою впливають на хімічний склад є атмосферні опади, температура повітря та випаровування. Так, надходження таких елементів як сульфати та кальцій можуть надходити від дощів або снігу. Це залежить від їхньої кількості і хімічний складу, а також від геологічної особливості території і антропогенної діяльності

на них, які здатні впливати на загальну мінералізацію і сам хімічний склад [61, 62].

Мінералізація води у весняний період складає 672 мг/дм^3 , а у зимовий - 775 мг/дм^3 . Річка має змішаний тип живлення, як і підземне так і дощове. Через зміни клімату, які спричиняють не лише збільшення температур у літній період а й до зменшення опадів влітку. У зимовий період через відсутність тривалих морозів снігового покриву – призводить до зменшення річного стоку [58, 59].

Геологічна будова річки Ворскла відзначається широким поширенням четвертинних відкладів, здебільшого лесоподібні та делювіальні. У Полтавській області досить широко розповсюджені лесові та лесовидні породи, глина та суглинки, через що там підвищені ерозійні та карстово-суфозійні процеси на схилах річкових долин. Дані процеси мають прямий вплив на морфологічну динаміку русла та на гідрохімічні властивості річкової води [60].

Серед екологічних проблем річки Ворскла відзначають високий рівень господарського освоєння територій. Сам басейн річки розораний на 60%, і з кожним роком ситуація погіршується. Через масове знищення лісів, відбувається розвиток ерозійних процесів. Через створення у минулому столітті меліоративної системи, велика площа басейну річки була висушена [59].

На руслі річки розташовані дві гідроелектростанції (ГЕС) – Опішнянська та Кунцівська потужністю до 230 кВт. Окрім цього, на річці декілька крупних водосховищ: Куземинське (об'єм $2,24 \text{ млн.м}^3$), Деревківське ($1,6 \text{ млн.м}^3$), Опішнянське ($1,52 \text{ млн.м}^3$), Вакулинське ($2,8 \text{ млн.м}^3$), Нижньомлинське ($1,67 \text{ млн.м}^3$), Кунцівське ($1,66 \text{ млн.м}^3$).

Також у басейні річки розташований Гетьманський НПП у межах Сумської області, до складу якого входять Бакирівський, Климентівський, Хухрянський гідрологічні заказники загальнодержавного значення [59].

2.4 Методика досліджень

Збір, систематизація та подальший аналіз даних по басейну р. Ворскла здійснювався з використанням даних державного моніторингу якості

поверхневих вод, а саме з даних гідрологічного фонду – «Гідрохімічний бюлетень», «Щорічні дані про якість поверхневих вод суші», «таблиці метеорологічних постів» та даних з метеорологічного фонду – «Таблиця метеорологічних спостережень» державного галузевого архіву Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського (ЦГО).

Додатково було визначено зони, які є вразливими до (накопичення) нітратів, згідно до наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України відповідну до 2 розділу, 7 пункту: [76]

Для оціночного судження щодо джерела підвищеного вмісту біогенних елементів у розрахунковому створі використовують наступні співвідношення:

$\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$ - домінують точкові джерела,

$\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$ - домінують дифузні джерела,

$\text{NH}_4^+ \sim \text{NO}_3^-$ - рівномірний вплив різних джерел.

Розрахунок проводять щонайменше для 12 значень одного року або за максимально багаторічний період. Для врахування сезонної мінливості розрахунок проводять для 95-го, 50-го та 25-го процентилля.

У даній роботі дослідження впливу змін клімату на гідрологічні та гідрохімічні показники відбувалося за допомогою кореляційного аналізу у програмному середовищі Microsoft office Excel.

3 РОЗДІЛ «ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ГІДРОЛОГІЧНІ ТА ГІДРОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РІЧКИ ВОРСКЛА»

3.1 Кліматичні зміни в басейні р. Ворскла

Басейн річки Ворскла охоплює велику територію Полтавської області, південь Сумської та частково північну частину Харківської області, і належить до помірно-континентального клімату з досить чітко вираженими сезонами. Однак в останні десятиліття кліматичні умови регіону розпочали змінюватися в сторону підвищення температури як і річної, так і сезонної. Найбільший прояв цих змін відмічається у зміні режиму зволоження, у збільшеннях частоти прояві екстремальних погодних явищ (зливи, посухи) та у змінах гідрологічних сезонів [58].

За даними Українського гідрометеорологічного інституту та досліджень в межах проєктів з моніторингу кліматичних змін [49], середньорічна температура повітря в басейні річки зросла на 1,2-1,5 °C у порівнянні з кліматичною нормою 1961-1990 рр. Найбільш чітко виражається потепління саме у холодний час року (з листопада по березень), коли кількість днів із середньодобовою температурою нижче 0°C скоротилася до 20%. Це зумовило зменшення тривалості сталого снігового покриву та більш ранній прихід весни, і все більш пізній прихід зими. Зимові відлиги стають частішими і тривалішими, що призводить до утворення нестійкого снігового покриву, утворенню льодових заторів та коливань рівня води у холодний період року.

Режим опадів у межах басейну зазнав змін у вигляді перерозподілу опадів по сезонах, але за рік вона залишається відносно стійкою (в межах 520-580 мм). У теплий період року (з квітня по жовтень) збільшилася інтенсивність раптових злив, та зменшення тривалих помірних опадів [64]. Це впливає на формування поверхневого стоку збільшуючи інтенсивність паводків під час раптових злив, і зменшення рівнів води у період найбільшого дефіциту опадів (серпень-вересень). Такі хаотичні коливання рівнів води безпосередньо впливають на водний баланс річки та її притоки. У районах гідрометеорологічних постів

Чернеччина, Полтава та Кобеляки все частіше фіксуються низькі літньо-осінні рівні води [65].

Кліматичні зміни вносять свій вклад як і на температурний режим, так і на хімічний склад води. Через підвищення температури повітря і зменшення водності у літній сезон призводить до підвищенню концентрації солей і зниженню вмісту розчиненого кисню, що створює додаткове навантаження на екосистеми. У посушливі роки, у річці фіксується підвищення мінералізації та збільшення концентрації амонійного азоту разом із фосфатами через скорочення розбавлення стоком [66].

3.1.1 Температура

Дослідження температурних показників проводилося з використанням даних з метеостанцій Богодухів, Полтава та Кобеляки за період з 1946 по 2020 рр. На деяких станціях (Полтава та Кобеляки) бралися дані раніше 1946 року, але вони не постійні і перериваються через Другу світову війну та інші причини. Тому в даній роботі будуть використовуватися здебільшого дані за період з 1961 – 2020 рр. Температурні показники по гідрометеорологічному посту Чернеччина були взяті з сайту «OpenMeteo» [69] (додаток 3) з 1940 по 2025 рр. У зв'язку з відсутності спостережень за добовою температурою на даному посту, їх було використано як орієнтовні, щоб показати кліматичні зміни у басейні річки Ворскла. Середні температури по метеостанціях за 1936-1960 рр. представлені у додатках включно з даними по Чернеччині.

3.1.1.1 Зміна температури по метеостанції Богодухів та гідрометеорологічному посту Чернеччина

Як згадувалося раніше у роботі, середньорічна температура повітря в басейні річки зросла на 1,2-1,5 °C у порівнянні з кліматичною нормою 1961-1990 рр. Якщо аналізувати верхню частину басейну річки і найближчу до неї метеостанцію Богодухів та гідрометеорологічний пост Чернеччина, то ми маємо такі значення температури повітря (табл. 3.1 та 3.2).

Таблиця 3.1 Кліматичні норми по температурі на метеостанції Богодухів у градусах Цельсія

Період	Місяць												Сер. річна
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1961-1990	-7,2	-6,2	-0,7	8,4	15,2	18,3	19,7	19,1	13,9	7,1	1	-3,7	7,1
1991-2020	-4,9	-4,3	1	9,3	15,6	19,2	21,2	20,5	14,7	7,9	1,3	-3,3	8,2

Таблиця 3.2 Кліматичні норми по температурі на гідрометеорологічному посту Чернеччина у градусах Цельсія[74]

Період	Місяць												Сер. річна
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1961-1990	-6,9	-5,8	-0,6	8,3	15,0	18,6	20	19,2	14,2	7,7	1,6	-3,3	7,3
1991-2020	-4,4	-3,8	1,1	9,1	15,5	19,5	21,5	20,7	15,0	8,4	1,8	-2,7	8,5

Як видно, найбільш суттєве підвищення температури по метеостанції Богодухів відбулося у січні на 2,3 °С, у лютому на 1,9 °С, у березні на 1,7 °С, у червні на 1,5 °С, у липні - 2,1°С та у серпні – 1,4°С відповідно. Аналізуючи решту місяців, також бачимо підвищення температури: квітень – збільшення на 0,9°, травень - +0,4°, вересень – +0,8°, жовтень – +0,8°, листопад – +0,3° та грудень – +0,4°.

Якщо порівнювати за кліматичними нормами теплий і холодний період то матимемо: холодний період за старою нормою 1961-1990 рр. складав -3,4°, то зараз -2° що на 1,° вище за минулу норму. Теплий період – 14,5° за старою нормою і 15,5° зараз, що на 1° вище за минулу кліматичну норму.

По гідрометеорологічному посту Чернеччина ситуація подібна. Хоча кліматичні норми у них відрізняються на пару десятих градусів через

географічно-кліматичні особливості населеного пункту, але зміни такі: у січні температура підвищилася на $2,5^{\circ}$ в порівнянні зі старою нормою, лютий - 2° , березень - $1,7^{\circ}$, червень - $1,1^{\circ}$, липень та серпень на $1,5^{\circ}$. Якщо проаналізувати решту місяців, то всі вони зберігають тренд до підвищення своїх температур: травень - $0,5^{\circ}$, квітень - $0,8^{\circ}$, вересень - $0,8^{\circ}$, листопад має найменший тренд - лише на $0,3^{\circ}$, та грудень - $0,6^{\circ}$. Варто зауважити, що річні зміни температури майже однакові - $1,1^{\circ}$ по Богодухову і $1,2^{\circ}$ по Чернеччині.

Якщо порівнювати за кліматичними нормами теплий і холодний період то матимемо: холодний період за старою нормою 1961-1990 рр. складав $-3,0^{\circ}$, то зараз $-2,0^{\circ}$ що на $1,4^{\circ}$ вище за минулу норму. Теплий період - $14,7^{\circ}$ за старою нормою і $15,7^{\circ}$ зараз, що на 1° вище за минулу кліматичну норму. Як бачимо, хід ідентичний з Богодуховим. Дані показники для обох пунктів представлено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Відхилення температури по холодному і теплому періодах року, по відношенню до старої кліматичної норми 1961-1990 рр. на метеостанції Богодухів (зліва) і гідрометеорологічному посту Чернеччина (з права) у градусах Цельсія

Роки	Теплий період	Холодний період	Теплий період	Холодний період
1961-1990	$14,5^{\circ}$	$-3,4^{\circ}$	$14,7^{\circ}$	-3°
1991-2020	$15,5^{\circ}$	-2°	$15,7^{\circ}$	$-1,6^{\circ}$
Відхилення від старої норми	1°	$1,4^{\circ}$	1°	$1,4^{\circ}$

3.1.1.2 Зміна температури по метеостанції Полтава та Кобеляки

Для аналізу зміни температури для середньої частини басейну річки Ворскла, було використано дані метеостанції Полтава (таблиця 3.4)

Таблиця 3.4 Кліматичні норми по температурі на метеостанції Полтава у градусах Цельсія

Період	Місяць												Сер. річна
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1961-1990	-6,6	-5,3	0,1	8,8	15,4	18,7	20,1	19,4	14,3	7,6	1,5	-3,1	7,6
1991-2020	-4,2	-3,4	1,7	9,9	16	19,7	21,7	21,0	15,2	8,4	1,9	-2,6	8,8

Як видно з даної таблиці, Полтава сама по собі вже має певну різницю по температурі як і за рік, так і по всіх місцях через її більш південніше розташування, окрім того вона має більш відчутний вплив теплих повітряних мас із заходу та південного-заходу. І чим далі на південний захід, тим менше відчувається континентальність клімату.

Згідно даної таблиці, найбільш суттєве підвищення температури по метеостанції Полтава відбулося у січні на 2,4°C, у лютому на 2°C, у березні на 1,8°C, у червні на 1°C, у липні та у серпні на 1,6°C відповідно. Аналізуючи решту місяців, також спостерігається підвищення температури: квітень – збільшення відбулося на 1,1°, травень - +0,6°, вересень – +0,9°, жовтень – +0,8°, листопад – +0,4° та грудень – +0,5°. Річна температура змінилася на 1,2°C, що на 0,1° більше чим у Чернечині та Богодухові.

Якщо порівнювати за кліматичними нормами теплий і холодний період то матимемо: холодний період за старою нормою 1961-1990 рр. складав -2,7°, то зараз -1,3° що на 1,4° вище за минулу норму. Теплий період – 14,9° за старою нормою і 16° зараз, що на 1.1° вище за минулу кліматичну норму. Подібний розподіл температури спостерігається і у верхній частині басейну річки Ворскла.

Для аналізу зміни температури для нижньої частини басейну річки Ворскла, було використано дані метеостанції Кобеляки (таблиця 3.5).

Оскільки місто Кобеляки знаходиться на південний захід нижче від Полтави, і розташована ближче до Долини річки Дніпро, клімат тут тепліший не лише за рахунок теплих повітряних мас із заходу і більшої близькості до океану,

а й за рахунок рельєфу. Місто Полтава знаходиться вище від Кобеляк, висота Полтави 140-160 м над рівнем моря, Кобеляк 80-100 м над рівнем моря. Це створює перепад висот на 50-70 м (рисунок 3.1), що і робить клімат там більш холоднішим.

Таблиця 3.5 Кліматичні норми по температурі на метеостанції Кобеляки у градусах Цельсія

Періоди	Місяці												Сер. річна
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1961-1990	-6,1	-4,7	0,4	9,2	15,9	19,2	20,6	19,9	14,8	8,0	2,1	-2,6	8,1
1991-2020	-3,6	-2,7	2,4	10,3	16,4	20,2	22,2	21,4	15,7	8,9	2,4	-2	9,3

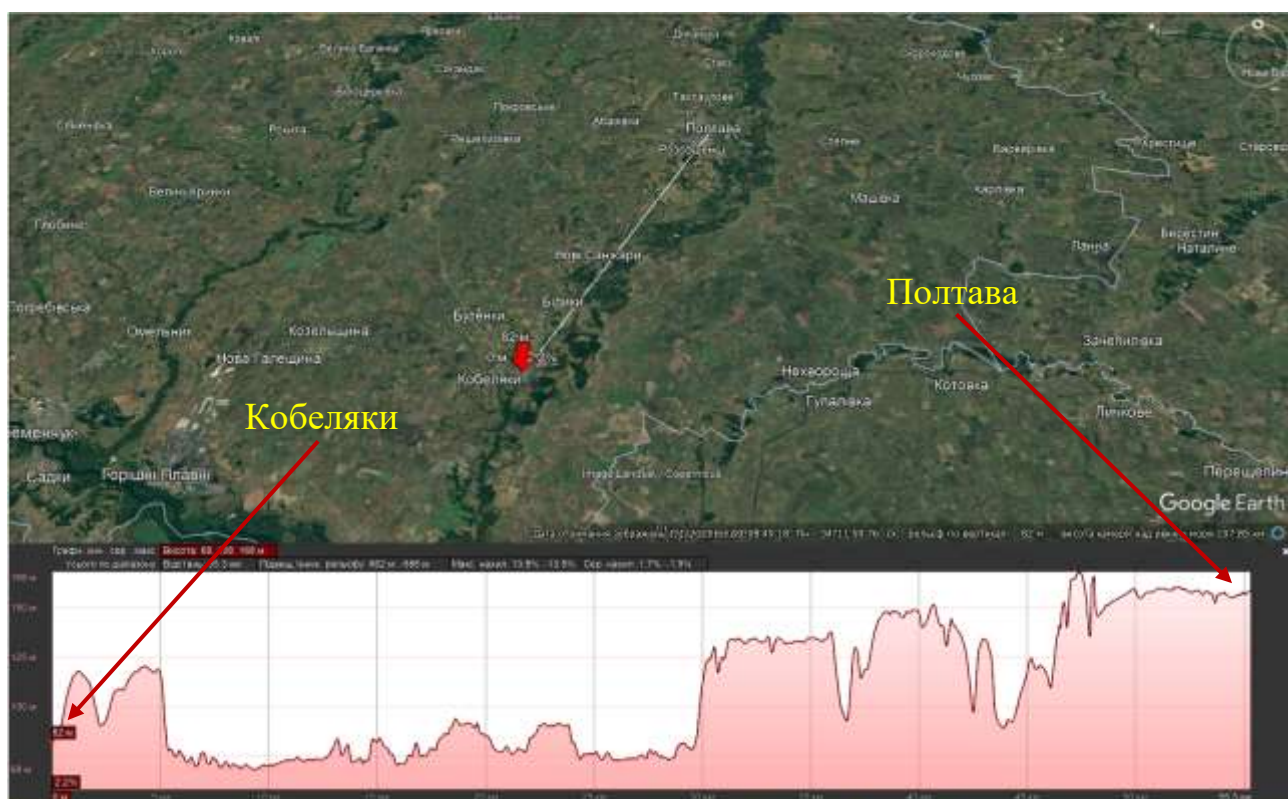


Рис. 3.1 Профіль середньої та нижньої частини басейну Ворскли

Згідно таблиці 3.5, найбільш суттєве підвищення температури по метеостанції Кобеляки відбулося у січні на $2,5^{\circ}\text{C}$, у лютому на 2°C , у березні на $2,0^{\circ}\text{C}$, у квітні на $1,1^{\circ}\text{C}$, у червні на 1°C , у липні на $1,6$ та у серпні на $1,5^{\circ}\text{C}$ відповідно. Аналізуючи решту місяців, ми також спостерігаємо підвищення температури: травень - збільшення відбулося на $0,5^{\circ}$, вересень – $+0,9^{\circ}$, жовтень – $+0,9^{\circ}$, листопад – $+0,3^{\circ}$ та грудень – $+0,6^{\circ}$. Річна температура не змінилася в порівнянні з Полтавою, але на $0,1^{\circ}$ більше чим у Чернеччині та Богодухові.

Якщо порівнювати за кліматичними нормами теплий і холодний період то матимемо: холодний період за старою нормою 1961-1990 рр. складав $-2,2^{\circ}$, то зараз $-0,7^{\circ}$ що на $1,5^{\circ}$ вище за минулу норму. Теплий період – $15,4^{\circ}$ за старою нормою і $16,4^{\circ}$ зараз, що на $1,0^{\circ}$ вище за минулу кліматичну норму.

Як показують дані, розподіл температури у басейні річки Ворскла відбувається рівномірно, і в більшості випадків температура по сезонах змінюється майже однаково.

Більш наочну зміну середньорічної температури по всіх пунктах можна буде побачити на рисунку 3.2.

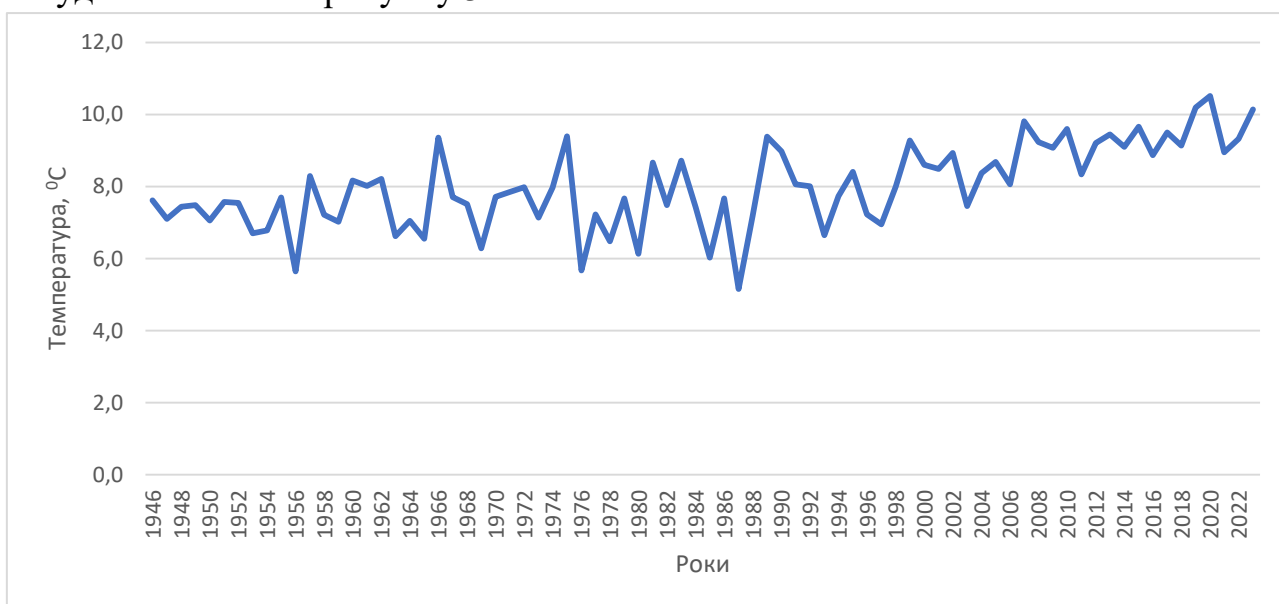


Рисунок 3.2 Зміна середньорічної температури у басейні річки Ворскла з 1946-2023 рр. у градусах Цельсія

Даний графік являє собою усереднені значення середньорічних температур Полтави, Богодухова, Кобеляк та Чернеччини, які знаходяться в басейні річки Ворскла. Як бачимо, останній холодний рік був у 1987 році – $5,2^{\circ}\text{C}$,

і починаючи з 1989 року, температура нижче 6° вже не опускалася. Останні відносно холодні роки були у 1993 – $6,6^{\circ}$ та у 1997 – $6,9^{\circ}$. Після цих дат, річна температура почала швидко зростати, і вже після 2010 року середньорічна температура вже не опускалася нижче 8° .

Аналізуючи максимуми можна побачити, що температура у $9,4^{\circ}$ - $9,3^{\circ}$ траплялася у 1966, 1975, 1989 та в 1999 рр. приблизно раз на 10 років, але з 2001 року і по 2010 рік, ситуація почала швидко змінюватися. Лише за один десятирічний період з 2001-2010 середньорічна температура два рази перевищувала позначки у $9,4^{\circ}$. Перше перевищення було у 2007 на $0,3^{\circ}$ і встановила перший рекорд, а друге відбулося через три роки в 2010 році – $9,6^{\circ}$, що на $0,2^{\circ}$ більше за 1966, 1975, 1989 та 1999 рр. Наступні перевищення відбулися у 2015 – $9,7^{\circ}$, наблизившись до температури 2007 року, в 2019 – $10,2^{\circ}$ і $10,5^{\circ}$ в 2020 році, встановивши два нових температурних рекорди, коли в минулому це траплялося один раз на 10-12 років.

Нинішнє десятиліття не стало виключенням, вже у 2023 році середня температура за рік знову була вище десяти градусів, і склала - $10,1^{\circ}$. А 2024 рік став найтеплішим за всю історію метеорологічних спостережень у світі [70], де на прикладі півдня Сумської області (згідно власних метеорологічних спостережень в своєму населеному пункті, який безпосередньо знаходиться біля річки Ворскла) середньорічна виявився на $2,3^{\circ}$ вище, за кліматичну норму і склала $10,5^{\circ}\text{C}$. Також в цей рік вперше глобальна температура планети перевищила показник у $1,5^{\circ}$, яка була встановлена Паризьким кліматичним самітом, як критична для уникнення найгірших наслідків змін клімату. І на даний момент, ще не було року, коли температура у басейні річки знижувалася нижче $8,9^{\circ}$, що наглядно демонструє що кожне десятиріччя тепліше за попереднє, і цей темп все прискорюється.

Потепління в таких масштабах призводить до того, що екосистеми регіону не встигають реагувати, через що починають деградувати. Так у дослідженні «*Ecological aspects of climate change impact on tree species in forest ecosystems*» [67] йдеться, що через підвищення температури, зміни у випадіннях

опадів і збільшення частоти екстремальних погодних явищ (спеки, посух, повеней), все це негативно впливає на лісові екосистеми. Вони зазначають, що такі погодні умови провокують стрес у рослин, через що знижується темп росту, порушується розвиток кореневої системи і може відбутися їх зміна на більш витривалі види.

Вже зараз ми спостерігаємо появу нових інвазивних видів, які витісняють місцеві і займають їхню екологічну нішу. Так найпоширенішими видами є всім відома амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.), яка вважається отруйною рослиною і сильним алергеном у період своєї вегетації. Ще одним таким видом є акація біла (*Robinia pseudoacacia*), цей деревний вид, завезений для декоративного озеленення, агресивно поширюється, витісняючи місцеву флору та змінюючи склад лісових екосистем [68]. Всі ці види трапляються і в басейні річки Ворскла, особливо амброзія полинолиста, де кожного року вона домінує на луках.

3.1.2 Опادي

Дослідження зміни кількості опадів проводилося з використанням даних з метеостанцій Богодухів, Полтава та Кобеляки за період з 1946 по 2020 рр. Як і по температурі, на деяких станціях (Полтава та Кобеляки) бралися дані раніше 1946 року, але вони не постійні і перериваються через Другу світову війну та інші причини. Тому в даній роботі використано здебільшого дані за період з 1961 по 2020 рр. На гідрометеорологічному посту Чернеччина, дані по кількості опадів розпочинаються з 1953 року і бралися з таблиці метеорологічних постів.

3.1.2.1 Зміна режиму опадів по метеостанції Богодухів та гідрометеорологічному посту Чернеччина

Для аналізу змін у розподілі опадів для верхньої частини басейну розглянемо дані метеостанції Богодухів та гідрометеорологічного посту Чернеччина (таблиця 3.6 та 3.7)

Таблиця 3.6 Кліматичні норми по опадах на метеостанції Богодухів у мм

Періоди	Місяці												Сума за рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1961-1990	43,5	35,7	32,7	40,8	44,5	59,8	70,6	47,7	46,3	39	48,6	46,4	555,7
1991-2020	36,3	32,3	36,3	35,7	60,5	73,7	66,2	38,9	50,2	48,6	38,5	42,1	559,1

Таблиця 3.7 Кліматичні норми по опадах на гідрометеорологічному посту Чернеччина у мм [74]

Періоди	Місяці												Сума за рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1961-1990	42,2	34,1	35,2	33	44,8	68,5	62,1	51	40,8	36,8	46	46,1	540,7
1991-2020	36	29,3	36,5	31,1	50,5	54	59,2	32,3	46,1	42	33,3	38,5	488,8

Як бачимо, що по метеостанції Богодухів (таблиця 3.6) відбувається перерозподіл опадів по сезонах, і незначне збільшення їх кількості за рік на 3,4 мм від попередньої норми.

Найбільш відчутні зміни в кількості опадів відбулися у червні місяці, де відбувся їх приріст на 13,9 мм, у травні місяці – 16 мм та у серпні місяці, у якому відзначається сильне зменшення опадів аж на -18,7 мм. Якщо використовувати суму опадів по сезонах, то найбільш помітні зміни відбулися взимку та восени (таблиця 3.8).

Таблиця 3.8 Зміна опадів по сезонах на метеостанції Богодухів, мм

Рік	Зима	Весна	Літо	Осінь
1961-1991	125,6	118	178,1	133,9
1991-2020	110,7	132,4	178,7	137,3
Відхилення від старої норми	-14,9	+14,4	+0,6	+3,4

Згідно даної таблиці, взимку спостерігається зменшення опадів на -14,9 мм. Зокрема, у січні з 43,5 мм до 36,3 мм - різниця у -7,2 мм; лютому – з 35,7 до 32,3 мм – різниця у -3,4 мм; грудні з 46,4 мм до 42,1 мм – різниця -4,3 мм. Це в

свою чергу погіршує гідрологічну ситуацію через потепління зим (таблиця 3.1.1.1). Так як постійні додатні температури не дозволяють утворюватися сніговому покриву, це знижує надходження талих вод у річку Мерло, що протікає біля міста і впадає у річку Ворскла.

Не дивлячись на збільшення опадів навесні на +14,4 мм, у теплий період року спостерігається їх випадіння у вигляді злив, де за один-два дні може випасти місячна норма, і потім протягом тривалого часу спостерігатися посуха. Найбільше опадів стало випадати у травні місяці, де відбувся їх приріст на +16 мм та у березні місяці на +3,6 мм та зменшення їх у квітні на -5,1 мм, і становить 35,7 мм.

Влітку та восени спостерігається незначне підвищення опадів. Восени за період з 1961-1990 рр. найвологішим місяцем був листопад – 48,6 мм, а зараз став вересень із сумою 50,2 мм в порівнянні з минулою – 46,3 мм. Жовтень у осінньому сезоні зазнав найбільшого збільшення кількості опадів - +9,6 мм від попередньої норми у 39 мм. Варто відмітити спільну рису між липнем і листопадом, червнем і вереснем. Різниця перших двох полягає в тому, що вони втратили позицію найвологіших місяців сезону, а останній майже став найсухішим місяцем року, поступаючись лише січню, березню та лютому. Червень і вересень стали найвологішими місяцями сезону, що чітко виділяє періоди вологи та дефіциту вологи у даних сезонах.

Якщо проаналізувати теплий і холодний періоди (таблиця 3.9 та 3.8), то ми спостерігаємо тенденцію до потепління в першому разом із скороченням опадів, і до потепління в другому із збільшенням опадів. Отже, можна стверджувати, що розпочинає виднітися чітка межа вологого сезону та сухого, що нагадує субтропічний клімат саван.

Таблиця 3.9 Відхилення по кількості опадів у холодному і теплому періодах року, по відношенню до старої кліматичної норми 1961-1990 рр. на метеостанції Богодухів у мм

Роки	Теплий період	Холодний період
1961-1990	348,7	207
1991-2020	373,6	185,5
Відхилення від старої норми	+24,9	-21,5

Зовсім інша ситуація спостерігається на гідрометеорологічному посту Чернеччина (таблиця 3.7), де, окрім перерозподілу опадів по сезонах, відбувається їх катастрофічне зниження за рік на -51,2 мм від попередньої норми у 540 мм.

Найбільш відчутні зміни в кількості опадів відбулися абсолютно по всіх місяцях. Лише у двох місяцях відбувся приріст опадів – це у вересні +5,3 мм та у жовтні - +5,2 мм відповідно. Якщо використовувати суму опадів по сезонах, то найбільш помітні зміни відбулися взимку та влітку (таблиця 3.1.2.5).

Таблиця 3.10 Зміна опадів по сезонах на гідрометеорологічному посту Чернеччина у мм

Рік	Зима	Весна	Літо	Осінь
1961-1991	122,5	112,9	181,7	123,6
1991-2020	103,9	118,1	145,5	121,4
Відхилення від старої норми	-18,6	-5,2	-36,2	-2,2

Згідно даної таблиці, взимку спостерігається зменшення опадів на -18,6 мм. Абсолютно у всіх зимових місяців відбулося зменшення опадів. У січні з 42,2 мм до 36 мм - різниця у -6,2 мм; лютий з 34,1 до 29,3 мм – різниця у -4,8 мм; грудень з 46,1 мм до 38,5 мм – різниця -7,6 мм, це в свою чергу погіршує гідрологічну ситуацію через потепління зим (таблиця 3.2). Так як постійні додатні температури не дозволяють утворюватися сніговому покриву, це знижує надходження талих вод безпосередньо у річку Ворскла.

Не дивлячись на незначне зменшення опадів весною, у порівнянні із зимовим періодом - -5,2 мм, у теплий період року спостерігається їх випадіння у вигляді злив, де за один-два дні може випасти місячна норма, і потім протягом тривалого часу спостерігатися посуха. Найбільше опадів випадає у травні, як і по минулій нормі, але з невеликим приростом до +5,7 мм. Незначне збільшення опадів відбулося у березні місяці на +1,3 мм та зменшення їх у квітні на -1,9 мм, і становить 31,1 мм. Подібна ситуація по весняних і зимових місяцях відбувається і по метеостанції Богодухів.

Для літа характерно дуже сильне скорочення опадів, у порівнянні з осіннім періодом - -36,2 мм влітку та -2,2 мм восени. Подібно до Богодухова, восени раніше найвологішим місяцем був листопад – 46 мм тоді, і 33,3 мм зараз. А тепер став вересень із сумою опадів до 46,1 мм, в порівнянні з минулою – 40,8 мм. Жовтень також зазнав приросту опадів - +5,2 мм від попередньої норми у 36,8 мм. Варто відмітити спільну рису між липнем і листопадом, червнем і вереснем. Різниця перших двох полягає в тому, що вони втратили позицію найвологіших місяців сезону з 68,5 мм до 54, а останній майже став найсухішим місяцем року з 46 мм до 33,3 мм, поступаючись лише січню, березню та лютому. Червень і вересень стали найвологішими місяцями сезону. У червні кількість опадів складає 50,5 мм, у минулій нормі – 44,8 мм; вересень 46,1 мм по новій, і 40,8 мм по старій кліматичній нормі. Нові дані чітко починають виділяти періоди вологи та її дефіциту у даних сезонах.

Якщо проаналізувати теплий і холодний періоди (таблиця 3.11 та 3.10), то ми спостерігаємо тенденцію до потепління по всіх періодах, і до скорочення опадів.

Таблиця 3.11 Відхилення по кількості опадів у холодному і теплому періодах року, по відношенню до старої кліматичної норми 1961-1990 рр. на гідрометеорологічному посту Чернеччина у мм

Роки	Теплий період	Холодний період
1961-1990	337,1	203,7
1991-2020	315,1	173,6

Продовження таблиці 3.11

Відхилення від старої норми	-22	-30,1
-----------------------------	-----	-------

Дані по метеостанціях Чернеччина та Богодухов можна узагальнити у вигляді графіку (рис. 3.3) та таблиці (таблиця 3.12).

Таблиця 3.12 Зміна опадів по холодному і теплому періоду року по метеостанції Богодухів та гідрометеорологічному посту Чернеччина у мм

Роки	Чернеччина		Богодухів	
	Теплий період	Холодний період	Теплий період	Холодний період
1961-1990	337,1	203,7	348,7	207
1991-2020	315,1	173,6	373,6	185,5
Відхилення від старої норми	-22	-30,1	+24,9	-21,5

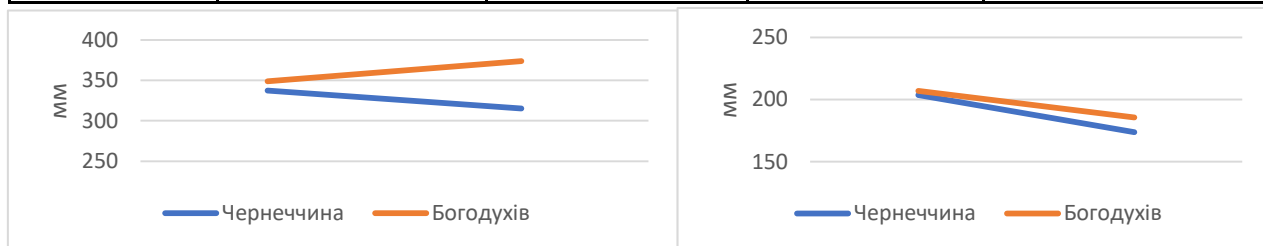


Рисунок 3.3 Зміна суми опадів у теплий (зліва) та холодний період року (з права) по метеостанції Богодухів та гідрометеорологічному посту

3.1.2.2 Зміна режиму опадів по метеостанції Полтава та Кобеляки

Для середньої частини басейну річки Ворскла, як і для верхньої зберігається перерозподіл опадів, проте на відмінну від верхньої частини, тут кількість за рік збільшилася на +17,5 мм (табл. 3.13) що набагато більше за решту аналізованих пунктів.

Таблиця 3.13 Кліматичні норми по опадах на метеостанції Полтава у мм

Рік	Місяці												Сума за рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1961-1990	42,3	35,8	33,8	38,9	49,3	58,4	69,8	45,5	42,9	40,8	47,5	49,5	554,5

Продовження таблиці 3.13

1991-2020	42,4	33,3	42,1	36,5	57,9	69,8	64,9	39,4	52,2	47,8	41,1	44,7	572
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

Як бачимо, що тут подібна тенденція до зменшення опадів як і в Богодухові (таблиця 3.6). Проте на відміну від цього, за рік опадів тут стало випадати більше на 17,5 мм.

Найбільш відчутні зміни в опадах відбулися у червні місяці, де відбулося їх збільшення на 11,4 мм та у вересні місяці – 9,3 мм відповідно. Якщо використовувати суму опадів по сезонах, то найбільш помітні зміни відбулися взимку та восени (таблиця 3.14).

Таблиця 3.14 Зміна опадів по сезонах на метеостанції Полтава у мм

Рік	Зима	Весна	Літо	Осінь
1961-1991	127,6	122	173,7	131,2
1991-2020	120,4	136,6	174,1	141
Відхилення від старої норми	-7,2	+14,6	+0,4	+9,8

Згідно даної таблиці, взимку спостерігається зменшення опадів на -7,2 мм. Абсолютно у всіх зимових місяців (окрім січня, де опади не змінилися) відбулося зменшення опадів. У січні з 42,3 мм до 42,4 мм - різниця у +0,1 мм; лютий з 35,8 до 33,3 мм – різниця у -2,5 мм; грудень з 49,5 мм до 44,7 мм – різниця -4,8 мм, це в свою чергу погіршує гідрологічну ситуацію через потепління зим (таблиця 3.4). Так як постійні додатні температури не дозволяють утворюватися сніговому покриву, це знижує надходження талих вод у річку Ворскла.

Не дивлячись на збільшення опадів весною на +14,6 мм, у теплий період року спостерігається їх випадіння у вигляді злив, де за один-два дні може випасти місячна норма, і потім протягом тривалого часу спостерігатися посуха. Найбільше опадів стало випадати у березні місяці, де відбувся їх приріст на +8,3 мм та у травні на +8,6 мм та зменшення їх у квітні на -2,4 мм, і становить 36,5 мм.

Влітку, порівнянні з осінню, спостерігається незначне збільшення кількості опадів. Восени раніше найвологішим місяцем був листопад – 47,5 мм, а зараз став вересень із сумою 52,2 мм в порівнянні з минулою – 42,9 мм. Кількість опадів у жовтні, як і у вересні також збільшилася, але значно менше, лише на +7 мм від попередньої норми у 40,8 мм. Тенденція по зміні опадів подібна, як і по метеостанції Богодухів.

Якщо проаналізувати теплий і холодний періоди (таблиця 3.15 та 3.4), то ми спостерігаємо тенденцію до потепління в першому разом із скороченням опадів, і до потепління в другому, з наростанням опадів. Що свідчить про те, що відбувається поділ року на сухий та вологий сезони.

Таблиця 3.15 Відхилення по кількості опадів у холодному і теплому періодах року, по відношенню до старої кліматичної норми 1961-1990 рр. на метеостанції Полтава у мм

Роки	Теплий період	Холодний період
1961-1990	345,7	208,9
1991-2020	368,5	203,6
Відхилення від старої норми	+22,8	-5,3

Для нижньої частини басейну річки Ворскла спостерігається подібна ситуація як і для решти території басейну (таблиця 3.16). По річній кількості опадів відбулося збільшення на 17,3 мм, що близько до їх кількості на метеостанції «Полтава». Це говорить про рівномірне збільшення опадів за рік у середній та нижній частині басейну річки Ворскла.

Таблиця 3.16 Кліматичні норми по опадах на метеостанції Кобеляки у мм

Рік	Місяці												Сума за рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1961-1990	43,2	37,3	32,3	37,8	45,3	55,7	54,7	42,3	34,7	36,4	43,7	49,7	513,2
1991-2020	43,1	31,4	42,2	32,4	55,6	63,5	53,7	40,3	52,5	38	37,4	41,4	530,5

Найбільш відчутні зміни в опадах відбулися у червні місяці, де відбулося їх збільшення на 7,8 мм та у вересні місяці –17,8 мм відповідно. Якщо використовувати суму опадів по сезонах, то найбільш помітні зміни відбулися взимку, весною та восени (таблиця 3.17).

Таблиця 3.17 Зміна опадів по сезонах на метеостанції Кобеляки у мм

Рік	Зима	Весна	Літо	Осінь
1961-1991	130,2	115,5	152,6	114,8
1991-2020	115,9	130,1	157,5	128
Відхилення від старої норми	-14,3	+14,6	+4,9	+13,2

Згідно даної таблиці, взимку спостерігається зменшення опадів на -14,3 мм. Абсолютно у всіх зимових місяців (окрім січня, де опади не змінилися) відбулося зменшення опадів. У січні з 43,2 мм до 43,1 мм - різниця у -0,1 мм; лютий з 37,3 до 31,4 мм – різниця у -5,9 мм; грудень з 49,7 мм до 41,4 мм – різниця -8,3 мм, це в свою чергу погіршує гідрологічну ситуацію через потепління зим (таблиця 3.5). Так як постійні додатні температури не дозволяють утворюватися сніговому покриву, це знижує надходження талих вод у річку Ворскла.

Не дивлячись на збільшення опадів весною на +14,6 мм, у теплий період року спостерігається їх випадіння у вигляді злив, де за один-два дні може випасти місячна норма, і потім протягом тривалого часу спостерігатися посуха. Найбільше опадів стало випадати у березні місяці, де відбувся їх приріст на +9,9 мм та у травні на +10,3 мм та зменшення їх у квітні на -5,4 мм, і становить 32,4 мм. Ми бачимо схожість із Полтавою.

Літо в порівнянні з осінню має незначне підвищення по опадах. Восени раніше найвологішим місяцем був листопад – 43,7 мм, а зараз став вересень із сумою 52,5 мм в порівнянні з минулою – 34,7 мм. Кількість опадів у жовтні, як і у вересні також збільшилася, але значно менше, лише на +1,6 мм від попередньої норми у 36,4 мм. Варто відмітити спільну рису між липнем і листопадом, червнем і вереснем. Різниця перших двох полягає в тому, що вони втратили

позицію найвологіших місяців сезону, а останній майже став найсухішим місяцем року, поступаючись лише січню, лютому та квітню. Червень і вересень стали найвологішими місяцями сезону. Але варто звернути увагу на те, що на відмінну від решти метеостанцій та постів, у Кобеляках липень змінив свою кількість опадів не значно, лише на -1 мм, що робить цю станцію відмінною від решти по цьому критерію.

Якщо проаналізувати теплий і холодний період (таблиця 3.5 та 3.18), то ми спостерігаємо тенденцію до потепління в першому разом із скороченням опадів, і до потепління в другому, з наростанням опадів. Що свідчить про те, що відбувається поділ року на сухий та вологий сезони.

Таблиця 3.18 Відхилення по кількості опадів у холодному і теплому періодах року, по відношенню до старої кліматичної норми 1961-1990 рр. на метеостанції Кобеляки у мм

Роки	Теплий період	Холодний період
1961-1990	306,2	206,2
1991-2020	336	195,5
Відхилення від старої норми	+29,8	-10,7

Дані по Полтаві та Кобеляках можна узагальнити у вигляді графіку (рис.3.4) та таблиці (табл. 3.18).

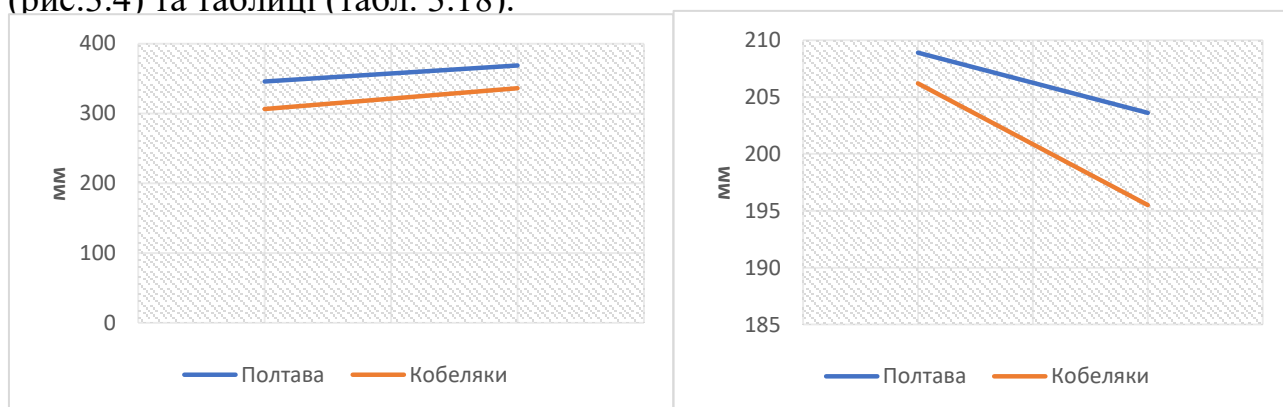


Рисунок 3.4 Зміна суми опадів у теплий (зліва) та холодний період року (з права) по метеостанції Богодухів та гідрометеорологічному посту Чернеччина у порівнянні із минулою кліматичною нормою у мм

Таблиця 3.18 Зміна опадів по холодному і теплому періоду року по метеостанції Полтава та Кобеляки у мм

Роки	Полтава		Кобеляки	
	Теплий період	Холодний період	Теплий період	Холодний період
1961-1990	345,7	208,9	306,2	206,2
1991-2020	368,5	203,6	336	195,5
Відхилення від старої норми	22,8	-5,3	29,8	-10,7

Як показують дані, розподіл опадів у басейні річки Ворскла відбувається вкрай не рівномірно. Якщо на деяких метеостанціях відбувається збільшення опадів за рік майже однаково, то по місяцях відбувається перерозподіл опадів, а по деяких сезонах навіть збільшення. Виключенням став гідрометеорологічний пост Чернеччина, у якому відбувається зменшення опадів не те що по всіх місяцях, а й по всіх сезонах.

В цілому, по басейну відбувається зменшення річної кількості опадів у верхній частині на 48,5 мм та їх збільшення на 17,4 мм у середній та нижній частині разом із їхнім перерозподілом по сезонах. Для узагальнення інформації по самому басейну, наведено графік усереднених даних по опадах по всіх пунктах спостереження (рис.3.5).

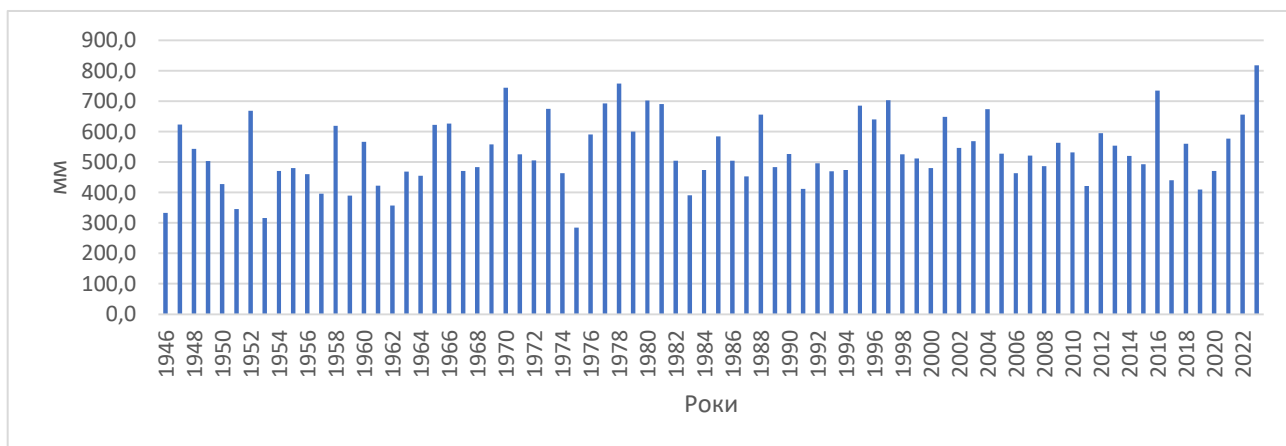


Рисунок 3.5 Зміна опадів у басейні річки Ворскла з 1946-2023 рр. у

мм

3.2 Аналіз гідрологічних параметрів р. Ворскла

Як зазначалося вже раніше у роботі, річка Ворскла являється лівою притокою річки Дніпро, що протікає територією Сумської та Полтавської областей. Басейн річки охоплює значну площу, а система водозабору включає численні притоки, водосховища та регулюючі споруди [58].

Живлення Ворскли характеризується змішаним типом, де переважає снігове та дощове живлення, що формує характерні сезонні коливання витрат. Як зазначається у дослідженні Данильченко О.С та Басова А.О.[58], на гідропості Чернеччина за період з 1979-2019 рр. було зафіксовано тенденцію до зменшення середньорічної витрати води, зниження літньо-осіннього стоку та збільшення варіабельності максимальних і мінімальних витрат. Також вона зазначає, що в окремі роки спостерігалися досить низькі мінімуми витрат, що свідчить про зростання маловоддя в теплий період.

Згідно регіональних водогосподарських даних [71] у яких зазначається, що станом на 7 листопада 2025 року наповнення руслових водосховищ на Ворсклі в межах Полтавської області сягає 97% . Не дивлячись на заповнення руслових водосховищ, як зазначається у даному звіті, то по річці Ворскла утримується маловоддя (водність становить 20% місячної норми та менше), і даний показник склав 18%.

Ворскла має типову сезонність, яка є характерною для всього регіону України. Підняття рівнів води відбувається весною після танення снігу та підвищена витрата в результаті дощового стоку у весняно-літній період. Взимку спостерігається льодяний покрив, який впливає на руслові умови (зміна швидкості течії, підвищення рівнів води через лід тощо).

У даному розділі будуть представлені дані для аналізу гідрологічних змін (рівень, стік та температура) по річці Ворскла. Вони є усередненими для гідрометеорологічних постів Чернеччина, Полтава та Кобеляки, щоб показати загальну тенденцію та ситуацію по річці. Варто зауважити, що по таким гідрологічним показниках як стік та температура, дата початку їх аналізу буде

розпочинатися не з 1946 року, а пізніше. Основною причиною є різні роки, коли почали проводитися їх інструментальні виміри. Зокрема, дані про рівень води представлені з 1946 року, стік води в річці – з 1966 року, температура – з 1983 року (у температурних показниках до 1983 року не проводилися інструментальні виміри у холодний період року з листопада по квітень).

Серед усіх гідрологічних характеристик річки саме стік виступає головним показником її водного режиму, оскільки саме він визначає загальну кількість води яка бере участь у кругообігу у межах басейну. Аналіз стоку дає змогу оцінити вплив природних та антропогенних факторів на формування водності річки Ворскли. Нижче представлений графік усереднених даних по річному стоку в річці Ворскла у км³ за рік (рис.3.6).

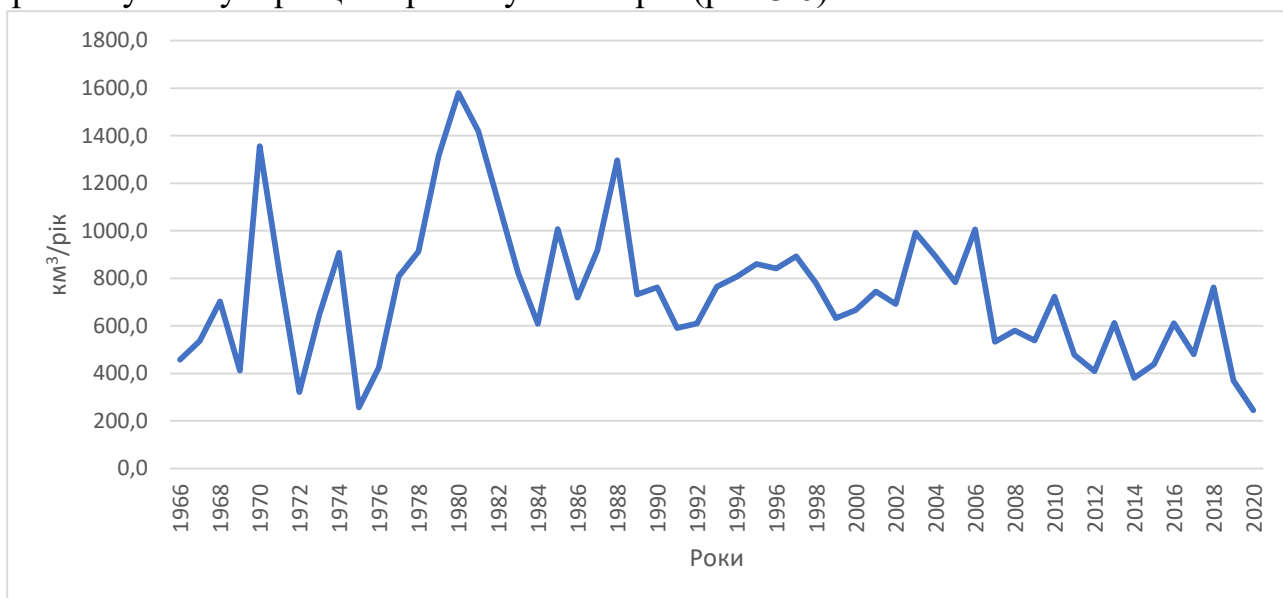


Рисунок 3.6 Зміна річного стоку по річці Ворскла з 1966 по 2020 рр. у км³ за рік

Згідно даного графіку ми спостерігаємо, що з 1969 року по 1977 відбувалися різкі коливання стоку. Причиною таких коливань стали погодні умови тих часів. Так перший мінімум стоку 411 км³/рік спостерігався в 1969 році. Це пояснюється відносно холодною та сухою зимою з тривалим періодом, коли випадало досить мало опадів. Різке підвищення стоку в 1970 році до 1356,1 км³/год, сягнувши свого першого максимуму. В цей час відбувалося випадіння великої кількості опадів у зимовий період, який через свої низькі температури

дозволив накопичити велику кількість снігу. Так з грудня 1969 по березень 1970 в басейні в середньому випало 304,4 мм опадів, що спровокувало величезне надходження води під час його танення весною. Значення 1972 року подібні до погодних умов 1969 року, коли спостерігалися аномально холодна зима із малою кількістю опадів та дуже тепле літо, яке супроводжувалося дефіцитом опадів по басейну, що спровокувало перший мінімум стоку у 256,6 км³/рік, і другий в 2020 році, який став першим абсолютним мінімумом.

З 1977 року спостерігається швидке збільшення стоку води з максимумом до 1579,8 км³/рік в 1980 році, який став першим абсолютним та другим максимумом, та першим і останнім з моменту початку вимірів. Такий стік спричинений відносно холодними та сніжними зимами, а також прохолодними і вологими літами за цей період.

З 1981 року по 1984 відбувається швидке зменшення стоку з 1414,4 км³/рік до 608,1 км³/рік. Даний період часу характеризується м'якими зимами і малою кількістю опадів, де за рік випадало їх менше норми.

За період 1985 – 1988 рр. знову спостерігалися різкі коливання стоку, але вже не так виражені, як в 1969-1976 рр. В 1985 році стік склав 1007,4 км³/рік, у 1986 він знизився до 719 км³/рік і досягнув свого третього максимуму вже в 1988 році (1295,8 км³/рік), і вже після цього наступні максимуми не доходили до цього значення.

Починаючи з 1991 року по 2006, можна спостерігати перший відносно стабільний стік, де мінімуми стоку які спостерігалися не знижувалися нижче 600 км³/рік. Для цього періоду були характерні не сильно відчутні зміни клімату, так як зими ще могли накопичувати сніг, а літо було теплим і вологим.

Але вже після 2007 року, ситуація почала змінюватися. З цього року пішов другий період відносної стабільності по мінімальному стоку, який не знижувався нижче 400 км³/рік, про те максимуми вже не перевищували стік 761,9 км³/рік (у 2019 році), в порівнянні з 2006 роком у 1005,7 км³/рік.

Для більш детального огляду стоку, можна використати середні показники стоку за десятирічні періоди років з 1966 року по річці Ворскла (рис. 3.7).

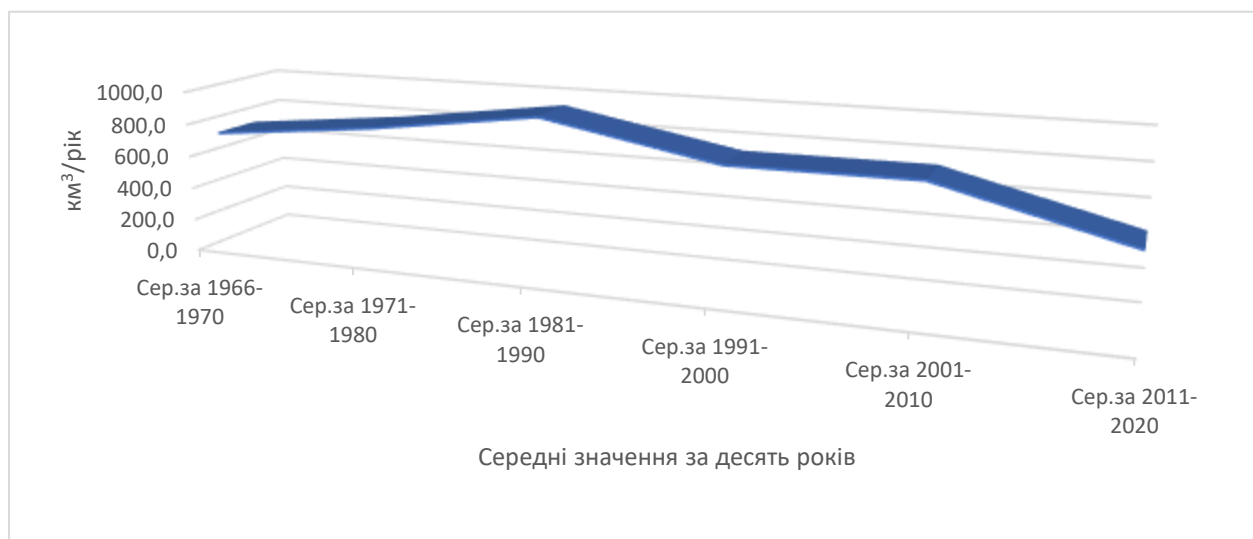


Рисунок 3.7 Зміна об'єму річного стоку по р. Ворскла за десятирічний період у км³/рік

Як видно на графіку, з 1966 по 1990 рр. відбувався плавний приріст річного стоку і склав 940,8 км³/рік в 1981-1990 рр. Але після цього з 1991-2000 рр. відбувалося його зменшення і складав 744,4 км³/год, саме з цього періоду зміни клімату стали мати більш відчутніший вплив. Окрім кліматичного впливу, наявний вплив зарегулювання стоку й гідротехнічних споруд, що знаходяться безпосередньо на руслі річки Ворскла.

З 2001-2010 рр. спостерігається відносно стабільний період стоку, який складає 748,4 км³/рік. І вже з 2011-2020 рр. відбувся спад стоку, і становив 478,4 км³/рік. Відповідно до стоку, зміни відбулися і в рівнях води (рис. 3.8).

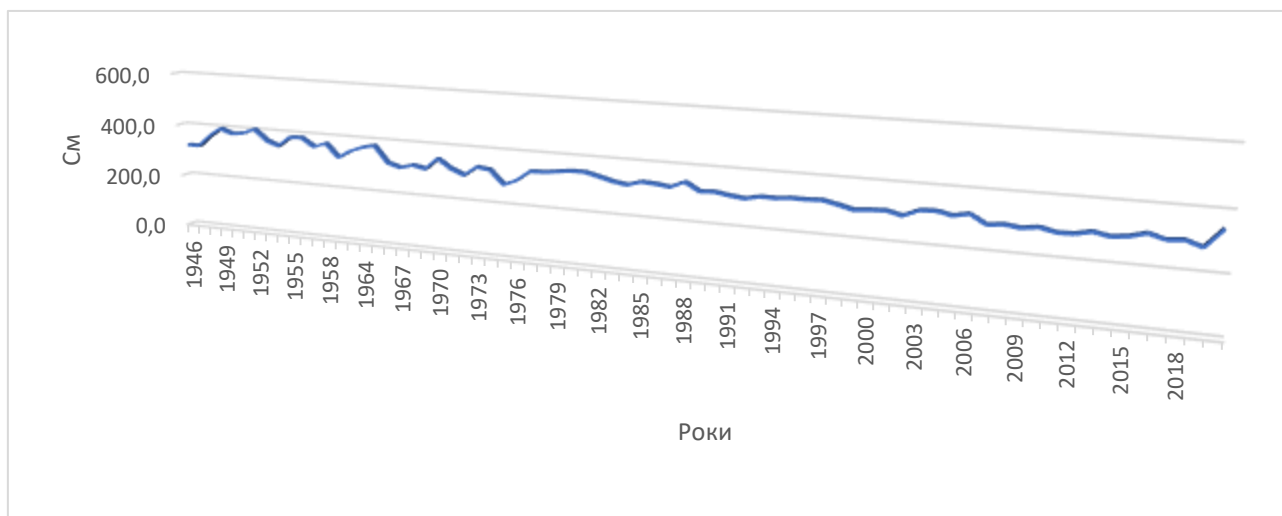


Рисунок 3.8 Зміна рівнів води по р. Ворскла з 1946-2020 рр. у см

Відповідно даного графіка, ми спостерігаємо загальний тренд до зменшення рівнів води в річці Ворскла, розпочинаючи з 1946 року. Також прослідковується певна подібність до коливань стоку, але у випадку з рівнями, це не настільки суттєво. Для більш детального розуміння змін рівнів води, розглянемо узагальнений графік за кожне десятиріччя з 1951 року (рис. 3.9)

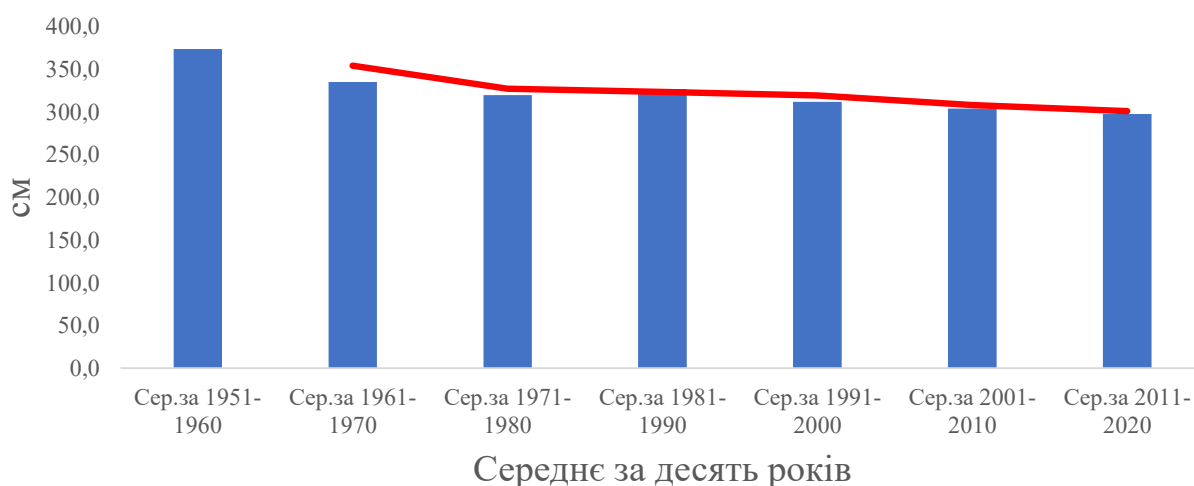


Рисунок 3.9 Зміна середніх рівнів води у річці Ворскла за десятирічний період з 1951-2020 рр. у см

Згідно даного графіка ми бачимо, що за 20 років з 1951-1970 рр. рівень води знизився на 38,6 см. і вже після 1971-2000 рр. рівень тримається відносно стабільно. Це можна пояснити наявністю гідротехнічних споруд, які

контролюють рівні води. Саме в 1950-1970 рр. розпочалося активне будівництво меліоративних систем, створювалися ставки, локальні дамби та проекти водосховищ. Окрім цього, після Другої світової війни, у цей ж самий час було збудовано дві гідроелектростанції Опішнянська та Кунцівська потужністю до 230 кВт [77,64,78].

Розпочинаючи з 2000 рр., по річці відмічається стійке, але повільне зменшення рівнів води, яке спричинене тривалими фазами маловодь спровоковані змінами клімату. Також певні зміни відбуваються і в температурі води (рис.3.10).

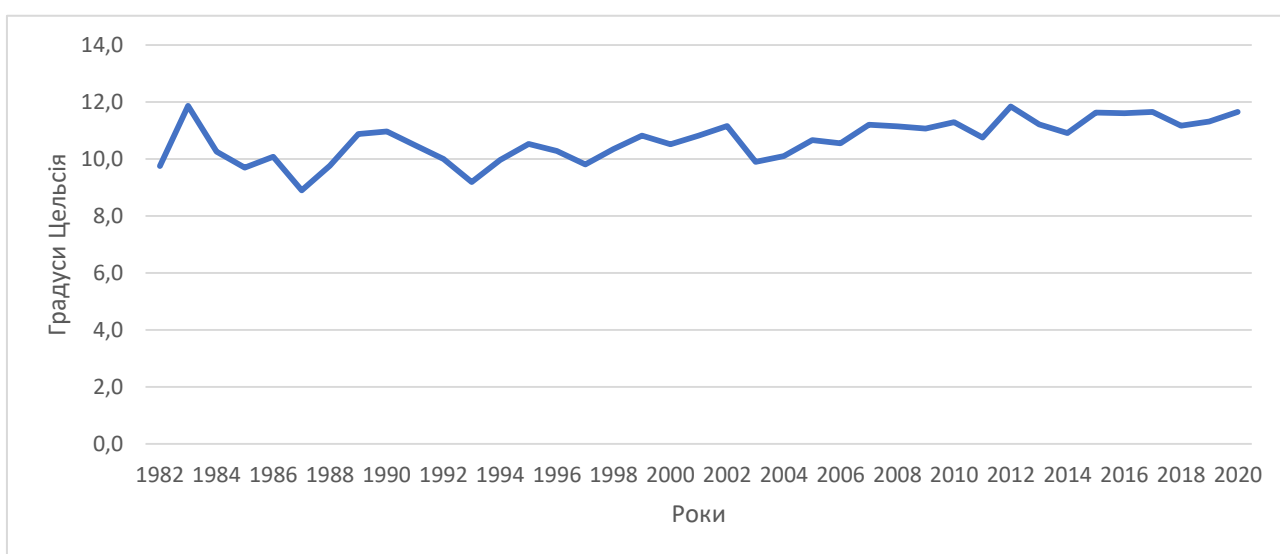


Рисунок 3.10 Зміна середньорічної температури води в р. Ворскла з 1983-2020 рр.

Як видно на графіку, перший максимум середньої температури води у Ворсклі в $11,9^{\circ}$ відбулося у 1983 році. Після цього відбулося падіння температури до $8,9^{\circ}$ в 1988 році. Розпочинаючи з 1990 року всі коливання температури відбувалися в сторону їх зростання. Після 1993 року вона вже не знижувалася нижче $9,2^{\circ}$ С.

Згідно даних графіку, коливалася температури води відбувається на рівні $10-12^{\circ}$ С. З 2015 по 2020 вона стала відносно стійкою з коливаннями протягом років на $\pm 0,4^{\circ}$. Схожий період відмічається з 2007 по 2010 рр., де зміни відбувалися в районі $\pm 0,1^{\circ}$. Для більш детального розуміння змін у температурі, розглянемо усереднені дані по температурі за десятирічний період (рис. 3.11).

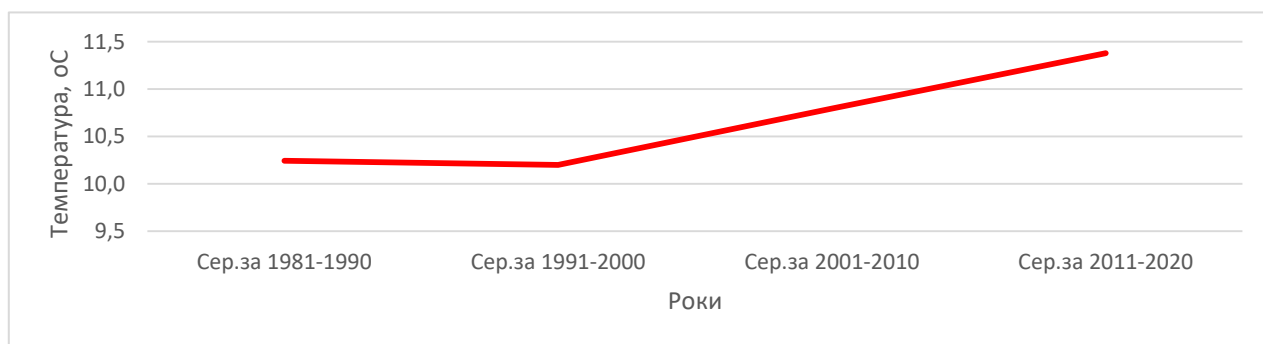


Рисунок 3.11 Зміна середньої температури за десятирічний період по р.

Ворскла

Як бачимо, розпочинаючи з 2000 року і по 2020 відбувається ріст температури води у річці Ворскла. За період з 1991-2000 рр. по 2020 температура підвищувалася на 1,2°, як і річна температура повітря в басейні річки Ворскла, де ми вже можемо прослідкувати прямий вплив змін клімату на цей гідрологічний параметр.

3.3 Гідрохімічні особливості річки Ворскла

Гідрохімічний режим річки Ворскла характеризується закономірними змінами хімічного складу води через природні умови басейну та людської діяльності. Гідрохімічний режим річки проявляється у сезонних та багаторічних коливань хімічних компонентів. Для Ворскли сезонність коливань зумовлена зміною природних факторів формування стоку та гідрологічного режиму. Так на частку весняного стоку припадає 65-70%, для літньо-осіннього 15-25%, а для зимового 10-15%. Під час весняної повені та великих об'ємів води, відбувається розбавлення розчинених солей у воді [58,59,62,64,74].

Річка Ворскла, як і більшість річок України, живиться переважно талими водами, що зумовлює низьку мінералізацію під час весняного водопілля. Талі води, які формуються внаслідок танення снігу, як правило мають незначний вміст розчинених солей. Під час весняного водопілля, яке спричинене таненням снігу, відбувається сильне розбавлення води, через що відбувається зниження мінералізації. Тому весняний період характеризується найнижчими

концентраціями основних іонів – кальцію, магнію, гідрокарбонатів та сульфатів [61, 62, 59, 64, 74].

У літньо-осінній період, коли відбувається зменшення стоку та підвищення температури, посилюються процеси випаровування разом і з цим, відбувається збагачення води солями, які надходять із ґрунтових та підземних вод. У цей час відзначається зростання мінералізації та концентрації іонів кальцію, магнію, гідрокарбонатів та сульфатів, що і визначає гідрокарбонатно-кальцієвий тип [58, 59, 62, 74, 64].

Важливу роль у формуванні хімічного складу відіграє підземне живлення, яке підтримує стік під час межені та складає близько 10-15% річного водного балансу. Підземні води мають вищу мінералізацію в порівнянні з атмосферними опадами, тому вплив підземних вод найбільш помітний у зимовий період, коли переважає підземне живлення. Саме в цей час річка має стабільний, але більш насичений йонами хімічний склад [62,64,74].

Також на хімічний склад Ворскли впливає геолого-гідрологічна особливість басейну, яка зумовлює надходження гідрокарбонатів та кальцію з карбонатних порід, а також від антропогенного впливу [62,64]. Лобода Н.С. та Пилип'юк В.В. [74] дослідили, що з території російської федерації у Ворсклу надходять неочищені води, які містять сульфати, хлориди, азот мінеральний, фосфор та залізо.

Наше дослідження хімічного складу базується на усереднених хімічних показниках річки Ворскла з 1961 по 2024 рр., а також на дослідженнях впливу етапів водогосподарської діяльності, які були представлені у науковій роботі Хільчевського В.К., Шерстюка Н.П. та Заброкицької М.Р. (додаток 4) [75].

Результати дослідження представлені у таблиці 3.19 та 3.20 у вигляді усереднених даних по всіх гідрометеорологічних постах по річці Ворскла.

Таблиця 3.19 Гідрохімічні показники якості води р. Ворскла, мг/дм³

Рік	Головні йони									
	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄	Cl	Мінералізація	NO ₃	NO ₂	NH ₄
1961	107,2	21,8	35,3	364	94,5	21,7	644,5	0,39	0,0255	-
1962	81,0	18,1	33,7	286	80,5	23,5	522,6	1,33	0,0032	-
1963	75,4	16,6	44,9	276	88,8	19,4	521,0	-	0,0247	-
1964	82,2	16,7	42,4	306	149,0	17,5	613,8	-	0,0402	-
1965	76,9	11,1	47,2	216	66,5	14,6	432,0	-	0,0300	-
1966	92,1	18,0	61,7	375	84,4	22,0	653,4	1,50	0,0050	-
1967	83,4	22,5	54,1	339	92,7	22,8	614,2	5,07	0,0332	-
1968	72,2	14,6	29,6	259	73,0	16,6	465,2	0,35	0,1080	-
1969	81,5	20,4	41,3	320	79,5	17,2	559,3	0,85	0,0095	-
1970	90,0	21,1	46,5	329	94,0	22,4	602,7	2,55	0,1063	-
1971	98,1	16,9	33,3	314	86,5	22,1	570,9	2,55	0,0095	-
1972	96,2	22,2	30,6	337	65,0	29,5	580,4	0,41	0,0040	-
1973	88,2	23,2	51,4	328	93,6	31,7	615,6	2,39	0,0183	-
1974	82,9	24,1	41,9	340	69,8	28,1	587,1	0,58	0,0191	-
1975	98,0	24,0	54,5	351	101,7	31,7	660,7	0,37	0,0127	-
1976	-	21,9	-	-	115,3	48,0	-	0,50	0,0888	0,54
1977	-	23,5	-	-	83,6	44,7	-	0,28	0,0216	0,95
1978	-	27,9	-	-	78,5	28,7	-	0,16	0,0571	0,527
1979	-	21,6	-	-	91,5	76,0	-	0,46	0,1473	0,443
1980	-	23,0	-	-	99,0	27,3	-	0,79	0,0993	0,950
1981	-	20,6	-	-	120,7	38,5	-	0,40	0,0371	0,801

1982	-	24,1	-	-	91,7	32,1	-	0,87	0,0773	0,740
1983	-	23,7	-	-	78,2	34,7	-	0,43	0,1037	0,500
1984	86,3	26,3	80,8	386	75,0	46,9	701,4	0,38	0,0690	0,512
1985	95,5	23,7	97,2	412	114,2	48,0	790,3	0,23	0,0367	0,430
1986	90,9	28,5	66,5	366	104,9	50,8	707,6	0,35	0,0420	0,457
1987	96,3	19,4	83,3	378	100,3	53,6	731,0	0,20	0,0337	0,597
1988	77,4	14,3	80,6	306	72,9	61,7	613,2	0,29	0,0377	0,523
1989	88,6	28,3	149,0	349	135,3	123,1	873,7	0,22	0,0290	0,380
1990	78,3	15,0	129,8	368	107,2	74,4	772,7	0,24	0,0290	0,270
1991	68,2	15,1	-	387	106,5	79,6	656,8	0,17	0,0437	0,540
1992	71,4	28,0	-	423	157,8	125,2	805,8	0,33	0,0330	0,537
1993	70,1	20,7	-	397	130,5	57,5	675,9	0,29	0,0338	0,610
1994	80,9	20,5	-	325	122,7	57,5	606,9	0,19	0,0506	0,173
1995	88,7	26,6	124,1	338	113,1	93,7	783,8	0,24	0,0309	0,320
1996	92,7	16,3	108,8	274	123,5	98,9	714,4	0,10	0,0164	0,410
1997	98,9	22,2	80,5	326	103,3	81,6	712,8	0,13	0,0245	0,073
1998	107,5	18,7	84,9	328	90,7	102,8	732,9	0,15	0,0311	0,188
1999	101,9	22,9	99,2	351	119,2	94,2	788,8	0,07	0,0246	0,080
2000	109,9	27,5	64,8	360	102,8	81,6	746,2	0,09	0,0243	0,129
2001	87,6	30,0	80,0	339	97,0	75,1	708,4	0,30	0,0158	0,195
2002	82,7	32,2	84,1	358	108,3	81,4	747,0	0,30	0,0192	0,137
2003	99,6	18,9	107,2	320	97,1	104,2	746,7	0,23	0,0220	0,220
2004	92,4	19,6	102,9	368	107,0	72,3	762,4	0,16	0,0189	0,203
2005	90,7	19,7	122,2	385	95,8	96,6	810,0	0,15	0,0286	0,230
2006	87,2	24,8	77,3	325	93,4	75,6	683,0	0,22	0,0161	0,190
2007	81,1	30,1	96,2	371	96,0	81,4	756,2	0,19	0,0234	0,183
2008	89,1	27,2	98,7	347	112,1	93,4	767,8	0,14	0,0255	0,380
2009	94,3	21,2	124,8	390	105,4	101,7	837,5	0,13	0,0239	0,230
2010	94,8	23,2	88,3	328	100,5	93,3	727,7	0,13	0,0178	0,260

2011	99,9	31,7	65,6	354	102,0	81,8	734,7	0,18	0,0275	0,297
2012	99,0	23,7	94,4	317	131,5	88,9	754,5	0,35	0,0354	0,403
2013	96,9	30,8	86,6	362	134,0	88,6	798,7	0,26	0,0314	0,337
2014	106,2	20,3	126,5	395	120,5	109,2	877,8	0,16	0,0303	0,423
2015	110,0	22,8	128,2	388	124,1	126,1	899,0	0,10	0,0265	0,317
2016	95,5	26,2	137,3	343	127,0	99,3	828,3	0,14	0,0299	0,340
2017	104,8	30,7	99,8	377	114,1	102,5	829,2	0,14	0,0303	0,707
2018	102,4	24,2	136,0	409	128,7	111,3	911,9	0,15	0,0204	0,530
2019	90,8	30,0	168,8	408	151,1	147,9	996,6	0,27	0,0295	0,240
2020	100,6	24,2	160,3	376	149,2	147,1	957,6	0,21	0,0259	0,277
2021	91,0	24,9	76,0	391	67,1	59,8	709,1	0,92	0,0300	0,600
2022	93,8	24,2	82,6	408	107,2	51,9	767,0	0,21	0,0255	0,600
2023	93,2	22,6	63,5	405	73,9	43,9	701,9	0,26	0,0320	0,390
2024	99,2	25,6	72,7	404	118,1	49,2	768,3	0,35	0,0270	0,335

*Примітки: з 1963 по 1973 р. дані враховувалися по гідрометеорологічних постах Полтава та Чернеччина, по Кобеляках дані почалися лише з 1973 р. У 1976-77 рр. дані враховувалися по постах Полтава та Кобеляки, через відсутність даних по Чернеччині. З 1989 року дані по калію відсутні, і йде сам натрій.

Таблиця 3.20 Вміст біогенних елементів та важких металів у воді р. Ворскла, мг/дм³

Рік	Інші елементи мінералізації та характеристики
-----	---

	Залізо загальне (Fe)	Кремній (Si)	Cr	Окиснення (біхроматне)	Cu	Zn	БСК ₅	pH	Hg	Pb	O ₂	Фосфати	PO ₄ (загальний)
1961	0,31	3,3	-	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	0,85	5,0	-	8,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	0,60	5,3	-	7,1	-	-	-	-	-	-	-	0,121	-
1964	0,15	3,9	-	10,1	-	-	-	-	-	-	-	0,079	-
1965	0,19	4,6	-	6,7	-	-	-	-	-	-	-	0,098	-
1966	1,20	5,3	-	9,9	-	-	-	-	-	-	-	0,201	-
1967	0,63	4,5	-	10,2	-	-	-	-	-	-	-	0,192	-
1968	0,45	2,8	-	14,5	-	-	-	-	-	-	-	0,182	-
1969	1,12	1,7	-	12,5	-	-	-	-	-	-	-	0,402	-
1970	0,33	1,9	-	9,5	-	-	-	-	-	-	-	0,065	-
1971	0,16	2,2	-	8,9	-	-	-	-	-	-	-	0,062	-
1972	0,14	2,4	-	8,1	-	-	-	-	-	-	-	0,060	-
1973	0,15	1,6	-	11,1	-	-	-	-	-	-	-	0,091	-
1974	0,27	2,0	-	13,9	-	-	-	-	-	-	-	0,080	-
1975	0,13	2,2	-	9,8	-	-	-	-	-	-	-	0,110	-
1976	0,29	-	0,0352	9,3	0,01000	0,03000	3,6	-	-	-	8,9	-	-
1977	0,18	-	0,0130	14,1	-	-	4,9	-	-	-	8,2	-	-
1978	0,16	-	0,0030	11,8	0,00267	0,00933	3,8	-	-	-	9,7	-	-
1979	0,13	-	0,0383	-	0,00480	0,00613	1,5	-	-	-	9,4	-	-
1980	0,21	-	0,0171	-	0,00300	0,00270	3,0	-	-	-	9,2	-	-
1981	0,32	-	0,0157	-	0,01000	0,00668	3,2	-	-	-	8,5	-	-
1982	0,31	-	0,0000	-	0,00533	0,00413	2,7	-	-	-	11,3	-	-
1983	0,41	-	0,0007	-	0,00567	0,00233	3,4	-	-	-	10,8	-	-

1984	0,67	8,8	0,0019	31,8	0,00610	0,00290	3,2	7,8	-	-	10,8	0,220	-
1985	0,67	6,8	0,0000	20,4	0,00717	0,00417	2,9	7,8	-	-	9,9	0,222	-
1986	0,56	5,0	0,0000	28,2	0,00553	0,00353	3,2	7,6	-	-	9,2	0,246	-
1987	0,50	11,6	0,0011	29,2	0,00313	0,00300	3,4	7,8	-	-	10,4	0,441	-
1988	0,41	9,4	0,0084	39,2	0,00660	0,00510	3,2	7,6	-	-	9,4	0,245	-
1989	0,29	7,9	0,0030	36,7	0,01220	0,01623	3,7	7,5	-	-	10,4	-	0,296
1990	0,40	9,6	0,0014	32,4	0,01153	0,00827	2,6	7,7	-	-	10,0	-	0,378
1991	1,00	21,6	0,0003	38,4	0,01397	0,00860	2,9	7,7	-	-	10,4	-	0,462
1992	1,02	18,3	0,0032	33,3	0,01297	0,01213	2,8	7,7	-	-	9,2	-	0,441
1993	1,14	16,0	0,0004	34,3	0,01197	0,00727	2,9	7,7	-	-	9,8	-	0,742
1994	0,56	17,8	0,0000	40,5	0,01417	0,01113	2,8	7,9	-	-	9,6	-	0,517
1995	0,70	17,6	0,0008	39,5	0,01653	0,01063	2,4	7,8	-	-	10,3	0,263	0,651
1996	0,49	12,4	0,0039	-	0,00713	0,01053	2,7	7,6	-	-	11,0	0,163	0,354
1997	0,44	11,1	0,0056	-	0,01137	0,00547	3,5	7,9	-	-	12,1	0,156	0,564
1998	0,32	6,7	0,0042	-	0,01227	0,04470	3,4	7,8	-	-	11,4	0,158	0,417
1999	0,27	4,9	0,0061	-	0,00640	0,08063	4,1	7,7	-	-	12,9	0,100	0,223
2000	0,25	3,7	0,0023	-	0,00837	0,07653	3,4	7,7	-	-	11,1	0,297	0,705
2001	0,17	7,3	0,0023	25,5	0,00413	0,05637	3,5	8,0	-	-	11,8	0,259	0,653
2002	0,17	4,6	0,0019	25,7	0,00280	0,04073	3,0	7,7	-	-	11,3	0,275	0,676
2003	0,39	2,6	0,0021	25,8	0,00273	0,03267	2,0	7,7	-	-	8,3	0,295	0,654
2004	0,18	3,4	0,0024	24,5	0,00603	0,04103	2,4	7,7	-	-	8,4	0,254	0,443
2005	0,30	3,3	0,0030	25,9	0,00903	0,04010	2,5	7,7	-	-	10,1	0,191	0,369
2006	0,31	3,1	0,0020	26,3	0,00577	0,04607	1,7	7,9	-	-	11,8	0,238	0,498
2007	0,22	2,7	0,0031	25,0	0,00330	0,06677	1,3	7,7	-	-	11,4	0,189	0,320
2008	0,18	2,8	0,0019	33,1	0,00773	0,03870	1,8	7,8	-	-	12,4	0,189	0,325
2009	0,11	2,7	0,0019	26,3	0,00950	0,04873	1,8	7,5	-	-	12,2	0,188	0,300
2010	0,21	3,2	0,0031	23,1	0,00783	0,04423	1,9	7,4	-	-	11,5	0,218	0,399
2011	0,12	3,0	0,0019	27,5	0,01467	0,04707	2,0	7,8	-	-	12,1	0,265	0,439
2012	0,14	3,3	0,0019	31,2	0,00530	0,03743	2,0	7,3	-	-	12,4	0,243	0,385

2013	0,25	3,0	0,0026	24,9	0,00513	0,03573	2,0	8,1	-	-	12,0	0,223	0,340
2014	0,15	3,3	0,0025	27,7	0,00397	0,01663	2,2	7,7	-	-	12,1	0,219	0,332
2015	0,10	3,1	0,0025	27,0	0,00333	0,01253	2,0	7,9	-	-	12,3	0,174	0,341
2016	0,11	3,3	0,0029	30,5	0,00427	0,01683	1,8	7,5	-	-	11,4	0,173	0,310
2017	0,16	5,5	0,0050	30,8	0,00353	0,03483	2,3	7,7	-	-	10,3	0,201	0,343
2018	0,14	5,8	0,0048	29,6	0,00343	0,02737	2,1	7,4	-	-	11,2	0,235	0,386
2019	0,13	5,0	0,0057	30,6	0,00390	0,01730	2,5	7,7	-	-	10,9	0,226	0,454
2020	0,12	5,3	0,0048	32,9	0,0039	0,0233	2,4	8,0	-	-	11,2	0,265	0,474
2021	-	-	-	33,4	-	-	3,3	7,5	-	-	12,4	0,425	0,608
2022	-	-	-	50,3	-	-	3,6	7,9	-	-	9,7	0,454	1,081
2023	-	-	-	37,8	-	-	3,2	7,6	-	-	9,0	0,436	0,659
2024	-	-	-	35,6	-	-	2,9	7,9	-	-	8,5	0,381	0,431

*Примітки: до 1977 року окиснення було перманганантне, до 1989 року дані по хрому загальному, після – хром шестивалентний (Cr⁶⁺).

Середньорічні концентрації кальцію (Ca^{2+}) по річці Ворскла змінювалися у межах від 68,2 мг/дм³ у 1991 р. до 110 мг/дм³ в 2015 р. (див. табл. 3.3.1) Середня концентрація за кожні десять років становила: 1961-1970 рр. – 84,2 мг/дм³; 1971-1985 рр. – 92,7 мг/дм³; 1981-1990 рр. – 87,6 мг/дм³; 1991-2000 рр. – 89 мг/дм³; 2001-2010 рр. – 90 мг/дм³; 2011-2020 рр. – 100,6 мг/дм³.

Середньорічні концентрації магнію (Mg^{2+}) коливалися від 32,2 мг/дм³ у 2002 р. та 11,1 мг/дм³ у 1965 р. Прослідковуючи зміни за десятирічні періоди, ми спостерігаємо такі значення: 1961-1970 рр. – 18,1 мг/дм³, 1971-1980 рр. – 22,8 мг/дм³; 1981-1990 рр. – 22,4 мг/дм³; 1991-2000 рр. – 21,9 мг/дм³; 2001-2010 рр. – 24,7 мг/дм³; 2011 – 2020 рр. – 26,5 мг/дм³. Всі показники по кальцію та магнію можна згрупувати, і показати у вигляді спільного графіку (рис. 3.12), який показує збільшення концентрацій даних іонів з 2000 років, який показує. Що

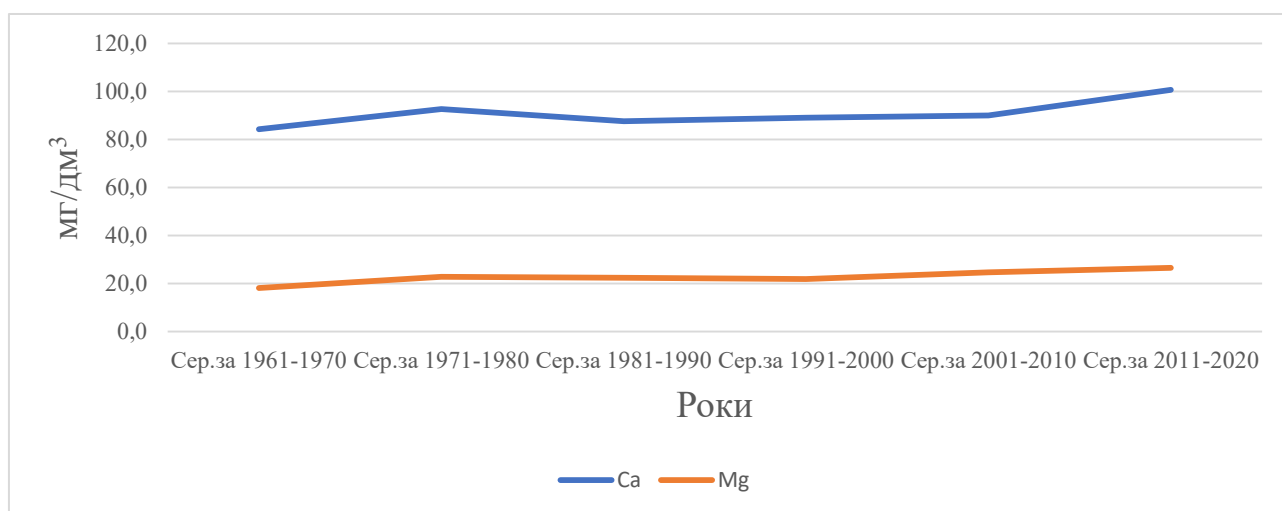


Рисунок 3.12 Зміни концентрацій Ca^{2+} та Mg^{2+} за десятирічні періоди по р. Ворскла з 1961-2020 рр. відбуваються зміни у хімічному складі води.

Серед катіонів, найбільших змін у концентрації відбулися у іона натрію (Na^+). До 1989 рр. натрій та калій йшли разом, але їхні концентрації були до 1984 року були в районі ± 20 мг/дм³ (див. у табл. 3.3.1), але розпочинаючи з 1984 року, відбулося їх збільшення до 97,2 мг/дм³ (у 1985 році). З 1989 року концентрація вже самого Na^+ почали швидко зростати, і в цьому ж році сягнула 149 мг/дм³. Наступні високі значення спостерігаються у 2019 році – 168,8 мг/дм³ та 2020 році

– 160,3 мг/дм³. Низькі рівні натрію були в 2000 році – 64,8 мг/дм³, 2011 році – 65,6 мг/дм³ та в 2023 році – 63,5 мг/дм³. Варто відмітити, що після 2020 року відбувається зменшення концентрацій натрію у воді, і вони стають близькими до максимумів, які спостерігалися у другому періоді (додаток 4), де ще не відбувалося масштабних скидів промисловості у річку.

Середньорічні концентрації гідрокарбонатів (НСО₃⁻) знаходилися в межах від 216 мг/дм³ у 1965 році та 423 мг/дм³ в 1992 році (див. у табл. 3.3.1). Розпочинаючи з 2018 року, їх концентрації вже були на рівні 409 мг/дм³, з коливаннями до 376 мг/дм³ в 2020 р. Середні концентрації цих іонів за десятирічні періоди складала: 1961-1970 рр. – 307 мг/дм³, 1971-1985 рр. – 334 мг/дм³; 1981-1990 рр. – 366 мг/дм³; 1991-2000 рр. – 351 мг/дм³; 2001-2010 рр. – 353 мг/дм³; 2011 – 2020 рр. – 373 мг/дм³. Як бачимо, відбуваються збільшення вмісту НСО₃⁻ з 1981 рр. і з кожним наступним десятиріччям їх вміст

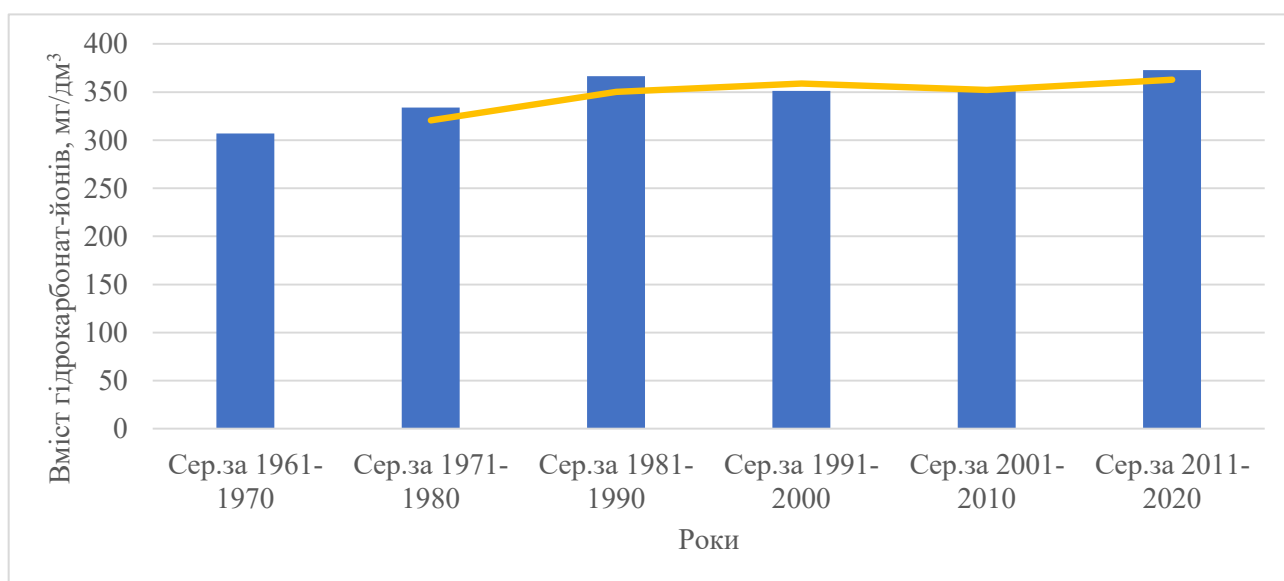


Рисунок 3.14 Зміна середньорічних концентрацій гідрокарбонатів у р. Ворскла за десятирічні періоди з 1961 – 2020 рр.

збільшується (рис. 3.14), а з 2011 по 2020 рр. відбулося їх збільшення на 20 мг/дм³.

Концентрація сульфат-іонів (SO₄⁻) у річці коливається в межах 65 мг/дм³ у 1972 р. до 157,8 мг/дм³ у 1992 році (див. у табл. 3.3.1). Прослідковуються зміни за середніми значеннями за десятирічні періоди, а саме: 1961-1970 рр. – 90,3

мг/дм³, 1971-1980 рр. – 88,4 мг/дм³; 1981-1990 рр. – 100,1 мг/дм³; 1991-2000 рр. – 117 мг/дм³; 2001-2010 рр. – 101,3 мг/дм³; 2011 – 2020 рр. – 128,2 мг/дм³. Спостерігається чітка тенденція до їх зростання у воді по кожному десятиріччю,

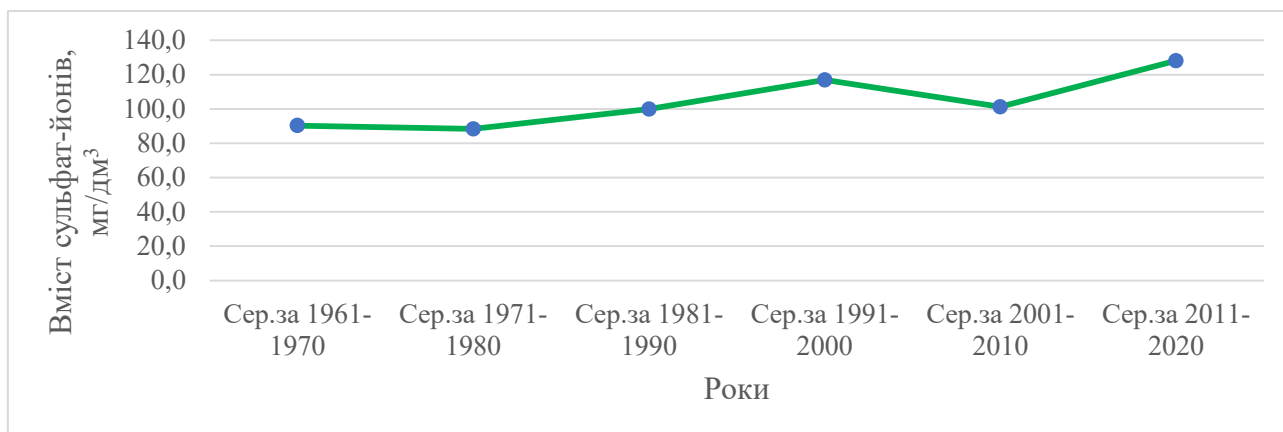


Рисунок 3.15 Концентрації сульфатів у р. Ворскла по десятирічним періодам з 1961 – 2020 рр.

хоч і має деякі коливання. Дані рівні концентрацій можна зобразити у вигляді графіку на рисунку 3.15

За вмістом хлорид-іонів (Cl⁻) у річковій воді варто виділити два періоди (див. у табл. 3.3.1): перший період з 1961-1983 рр., другий з 1984 і по наші дні. Перший період припадає на другий та середину третього етапу впливу водогосподарської діяльності за Хільчевським В. (додаток 4) [75]. Зокрема, вміст хлорид-іонів коливався від 14,6 мг/дм³ у 1965 році до 76 мг/дм³ у 1979 році. А вже з 1984 року по 2024 маємо такі значення: 147,9 мг/дм³ у 2019 р. та 43,9 мг/дм³ у 2023 році. Розпочинаючи з 2020 року спостерігається ситуація подібна до натрію: зменшення концентрацій хлоридів у воді, де дані значення не перевищують 59,8 мг/дм³.

За загальною мінералізацією значних коливань не відмічається (див. табл. 3.3.1), але є тенденція повільного збільшення їх вмісту у воді. Тут можна виділити три умовних періоди: перший період - 1961-1975 рр., другий – 1984-2013 рр., третій період - 2014-2024 рр. З 1976 по 1983 рр. дані по мінералізації не враховуються через відсутність даних по кальцію, натрію та гідрокарбонатах. Мінералізація знаходиться на рівні 660,7 мг/дм³ в 1975 р. та 432 мг/дм³ у 1965 р..

З 1984 по 2013 рр. відбулося збільшення мінералізації з 613,2 мг/дм³ у 1988 році до 798,7 у 2013 році. У 2023 р. мінералізація становила 701,9 мг/дм², а у 2019 році – 996,6 мг/дм³. Варто підмітити, що з 2021 року відмічається зменшення показника мінералізації, у порівнянні з показниками 2013-2019 рр.

Біогенні елементи та органічні речовини. До біогенних елементів відносять азот, фосфор та кремній. Ці елементи приймають активну участь у життєдіяльності флори та фауни водної екосистеми. Як правило, вміст біогенних елементів у природних водах досить не значний, а їхній режим залежить від температури водойми, яка впливає на біохімічні процеси в розкладаннях органічних речовин та має вплив на життєдіяльність організмів.

В природних водах азот перебуває у вигляді неорганічних та органічних сполук. Неорганічні сполуки азоту в роботі представлені азотом амонійним (NH₄⁻), нітритним (NO₂⁻) та нітратним (NO₃⁻) (табл. 3.19).

Середньорічні концентрації азотного амонію відбувалися в межах від 0,06 мг/дм³ у 1994 р. до 1,1 мг/дм³ у 1977 р.. Прослідковуючи зміни за десятирічні періоди, ми спостерігаємо такі середні значення: 1976-1980 рр. – 0,68 мг/дм³; 1981-1990 рр. – 0,52 мг/дм³; 1991-2000 рр. – 0,31 мг/дм³; 2001-2010 рр. – 0,22 мг/дм³; 2011 – 2020 рр. – 0,39 мг/дм³. З 2021 року концентрацію амонію почали зростати, і складають 0,37 мг/дм³ у 2023-2024 рр. та 0,52 мг/дм³ у 2022 р.

Згідно даних, прослідковується зменшення середніх концентрації амонію за кожен десятирічний період до 2010 року, з якого відбувається його збільшення до рівня $0,39 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 3.16).

По середньорічним концентраціям нітритів маємо дуже незначні коливання від $0,0032 \text{ мг/дм}^3$ у 1962 р. до $0,1473 \text{ мг/дм}^3$ у 1979 р. (див. табл. 3.19) Можна сказати, що протягом 1961-2024 рр. вони мало змінювалися, і були відносно стійкими по роках з коливанням у $\pm 0,01 \text{ мг/дм}^3$ щорічно.

Згідно даних по вмісту нітратного іону (табл. 3.19), найбільші його значення у воді були за період з 1962 р. по 1973 р. У даний період коливання складали від $5,07 \text{ мг/дм}^3$ у 1967 р. до $0,35$ у 1968 р. Після цих років, концентрація нітратів почала зменшуватися, і стабілізувалася в 1987 році і тримається

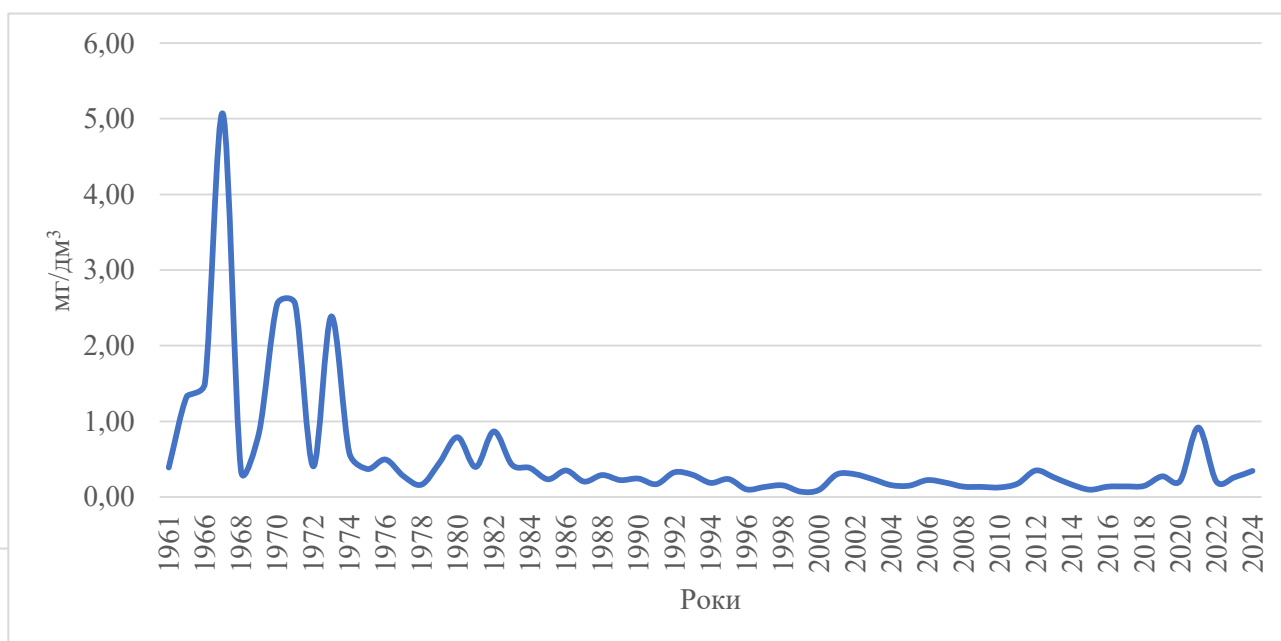


Рисунок 3.17 Річні концентрації нітратів у р. Ворскла з 1961 - 2024 рр.

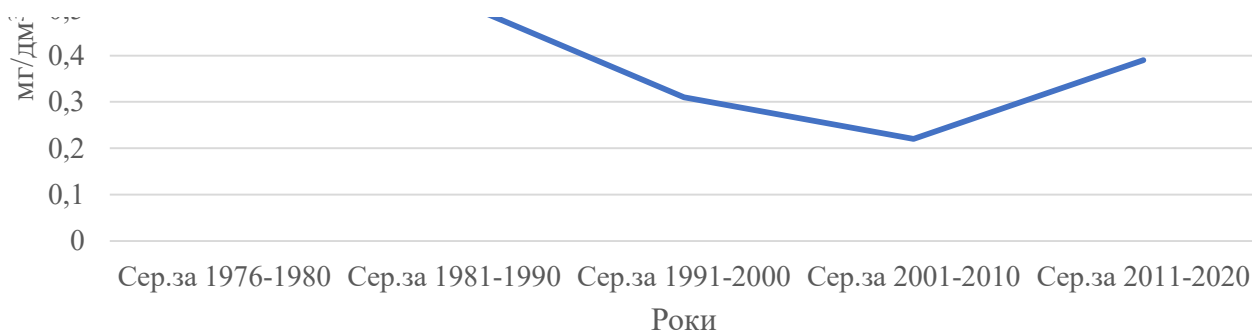


Рисунок 3.16 Концентрації азоту амонійного по р. Ворскла за десятирічні періоди з 1976-2020 рр.

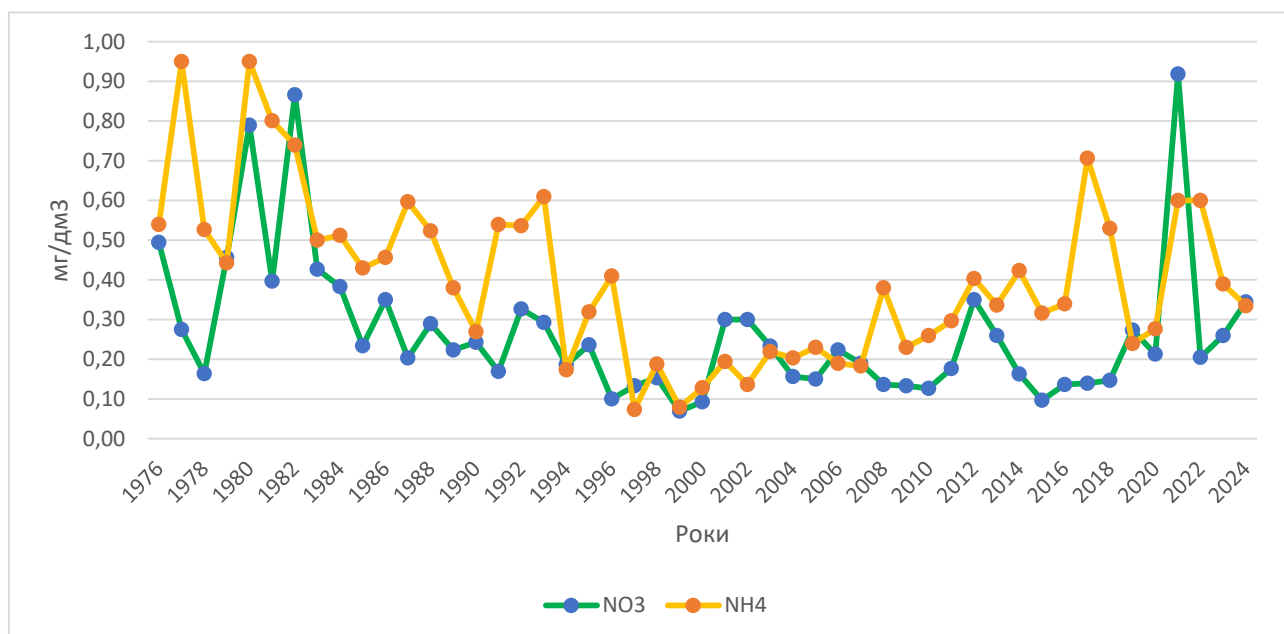


Рисунок 3.18 Середньорічні концентрації нітратів та азотного амонію в р. Ворскла з 1976-2024 рр.

відносно стабільно без різких коливань до 2024 року в межах 0,07 мг/дм³ у 1999 р. до 0,92 в 2021 р.. Рівні середньорічних концентрацій нітратів можна представити у вигляді графіку на рисунку 3.17.

Додатково до роботи було визначено зони, вразливі до (накопичення) нітратів, згідно методики Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, і отримали, що по річці Ворскла домінують точкові джерела забруднення біогенними елементами ($\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$) (рис. 3.18).

Згідно даного графіку, ми бачимо, що домінує NH_4^+ над NO_3^- , але наприклад в 1982, 2001-2002, 2021 рр. домінували дифузні джерела забруднення ($\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$), а в 1994, 1998, 2007 та 2021 рр. був рівномірний вплив різних джерел ($\text{NH}_4^+ \sim \text{NO}_3^-$). В загальному ми бачимо, що відбувається переважання точкових джерел забруднення, які пов'язані із скидами неочищених стічних вод ($\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$).

Вміст загального фосфору протягом років зазнавав різких коливань від до 0,166 мг/дм³ у 1996 році до 1,211 мг/дм³ у 2001 році. Що стосується фосфатів, то їхній середній вміст у воді за рік змінювався від 0,060 мг/дм³ у 1972 р. до 0,456

мг/дм³ у 2022 р. Його значення постійно перевищують ГДК для рибогосподарського використання - 0,2 мг/дм³ [73].

Кремній є постійним хімічним компонентом у воді. Форми сполук, у яких знаходиться кремній різноманітні і змінюються від рівнів рН і мінералізації. ГДК кремнію для господарсько – питного значення складає 10 мг/дм³. Концентрації кремнію по річці Ворскла є відносно стійкими, і не перевищують свою норму (див. у табл. 3.3.2). Але з 1991 р. по 1997 р. відбулося збільшення його концентрацій вище ГДК, і вони становили від 11,1 мг/дм³ у 1997 р. до 21,6 мг/дм³ у 1991 р. Якщо не враховувати ці роки, то коливання кремнію з 1961 р. по 2024 р. становить 1,6 мг/дм³ у 1973 р. та 11,6 у 1987 р.

У водному середовищі присутні різноманітні органічні речовини, що входять до складу рослинних і тваринних організмів. Крім природних джерел, органічні сполуки надходять у поверхневі води разом із дощовою та талою водою, а також зі скидами промислових об'єктів та комунальних підприємств.

Одним із головних показників, який характеризує вміст органічних речовин, є наявність або нестача розчиненого кисню у воді. Чим сильніше забруднення органічними домішками, тим більше кисню витрачається на їх окиснення та розкладання, через що його вміст у воді зменшується.

Для оцінки вмісту органічної речовини у р. Ворскла використано показники біхроматного окиснення (до 1978 р. використовували показник перманганатного окиснення) та п'яти добового біохімічного споживання кисню (БСК₅). Величина БСК₅ не має перевищувати 3 мгО/дм³ [73]. Показники біхроматного та перманганатного окиснення характеризують загальний вміст органіки у воді. Підвищення цих показників свідчить про зростання органічного забруднення та зниження природної здатності водоїми до самоочищення. Кислотність води (рН) хоч і має непрямий вплив на визначення вмісту органічних, але дає можливість охарактеризувати її зміну.

Згідно дослідження з 1961 – 1978 рр. по перманганатному окисненню відбуваються часті коливання від 7,1 мгО/дм³ у 1963 р. до 14,5 мгО/дм³ у 1968 р. (табл. 3.3.2). Проаналізувавши один десятирічний період (1961-1970 рр.) та один

восьмирічний (1981-1978 рр.) отримали такі середні значення: 1961 – 1970 рр. – 10,2 мгО/дм³, 1970 – 1978 рр. – 10,9 мгО/дм³, що свідчить про погіршення якості води.

Аналізуючи біхроматне окиснення, маємо такі річні коливання: 50,3 мгО/дм³ у 2022 р. (перевищивши гранично допустимі концентрації у 30

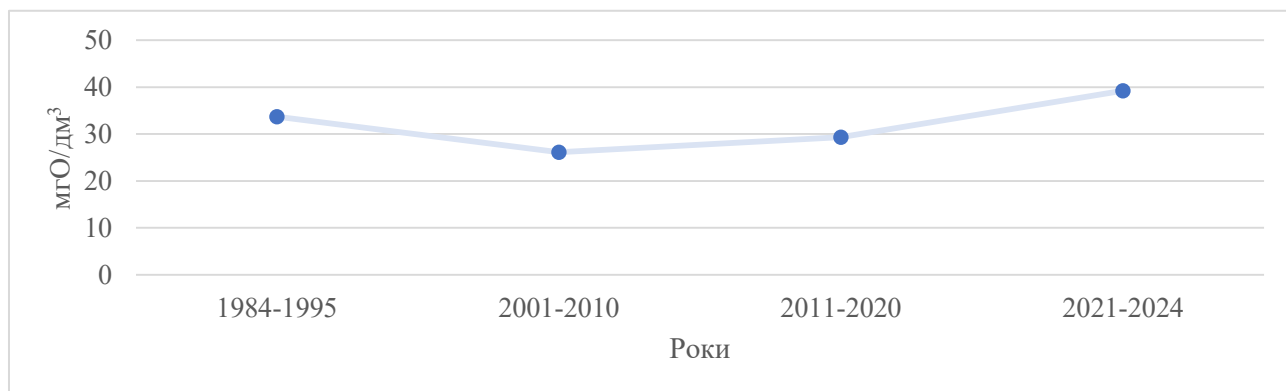


Рисунок 3.19 Показники змін біхроматної окислюваності з 1984 –

2024 рр. по р. Ворскла

мгО₂/дм³) [73] та 20,4 мгО/дм³ у 1985 р. Для розуміння ситуації, приведемо усереднені дані за кожні десять років з 1985 – 2024 рр. За дванадцяти річний період з 1984 – 1995 рр. складає – 33,7 мгО/дм³; за 2001 – 2010 рр. – 26,1 мгО/дм³; 2011-2020 рр. – 29,3 мгО/дм³; за 2021-2024 рр. маємо показники у 39,2 мгО/дм³. Після короткочасного покращення якості води, яке спостерігалось з 2001 по 2010 рр., з 2011 року по 2024 рр. відбувається її поступове погіршення (рис. 3.19). У 1984 – 1995 рр. та 2021 – 2024 рр. відбувається перевищення ГДК, що говорить про наявність органічного забруднення.

На відмінну від БСК₅, рН характеризуються значно меншим коливанням по роках, і він відзначається відносною стабільністю по роках. По БСК₅ відзначаються постійні річні коливання від 4,9 мгО/дм³ у 1977 р. до 1,3 мгО/дм³ у 2007 р., які часто перевищують ГДК у 3 мгО/дм³ (рис. 3.20).

Кисневий режим у воді річок залежить від температури, атмосферного тиску та вмісту розчинених речовин. Обмін киснем між водою та атмосферою є динамічним і складається з інвазії (надходження кисню з повітря) та евазі (вихід кисню з води до атмосфери при перенасиченні). Обидва ці процеси посилюються при турбулентності у водних масах і при впливі на них вітру. Надлишок кисню у воді може відбутися через фотосинтез рослин, які наявні у водоймі. Якщо у воді недостатньо кисню, це означає про несприятливі умови для інвазії, зниження інтенсивності фотосинтезу та значні втрати кисню на деструкцію органіки. Вміст кисню у водних екосистемах визначається кисневим балансом, який формується внутрішніми (споживання кисню на дихання та деструкцію) та зовнішніми (надходження кисню зі стоком) процесами [77,73].

Аналіз кисневих умов у річці Ворскла з 1976 по 2024 рр. показує коливання по роках від 8,2 мгО/дм³ у 1977 р. до 12,9 мгО/дм³ у 1999 р. Якщо

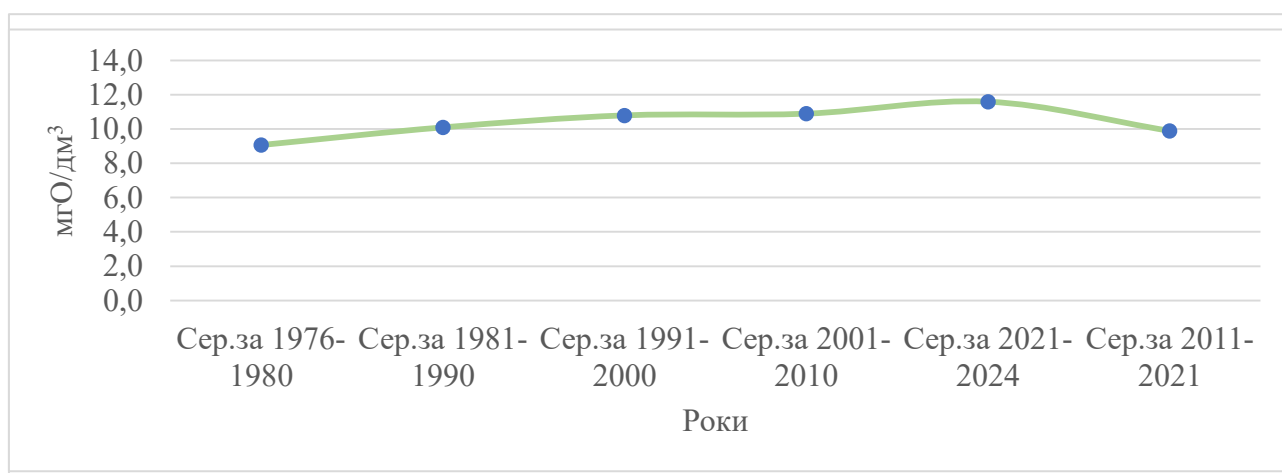


Рисунок 3.21 Зміна кисневого режиму по р. Ворскла за десятирічні періоди з 1976 - 2024 рр.

слідувати гранично допустимим концентраціям (ГДК) кисню у воді, то для об'єктів питного водопостачання воно складає ≥ 4 мг/дм³ [77,73] Всі показники річки відповідають нормам ГДК. Для розуміння ситуації по змінах рівнів кисню у воді, приведемо усереднені дані за кожні десять років з 1976 – 2024 рр. За

п'ятирічний період з 1976 – 1980 рр. складає $9,1 \text{ мгО/дм}^3$; за 1981 – 1990 рр. – $10,1 \text{ мгО/дм}^3$; 1991 - 2000 рр. – $10,8 \text{ мгО/дм}^3$; 2001-2010 рр. – $10,9 \text{ мгО/дм}^3$; 2011 – 2020 рр. – $11,6$. З 2021 по 2024 роки відбувається зниження вмісту рівнів кисню у воді, і маємо середній показник у $9,9 \text{ мгО/дм}^3$ (рис. 3.21)

Важкі метали наведені у таблиці 3.20 і у даній роботі наведені такі речовини як мідь (Cu), залізо загальне (Fe), до 1989 р. хром загальний, з 1990 р. хром шестивалентний (Cr^{6+}). У даній роботі будуть наведені середньорічні концентрації важких металів по роках з 1976 - 2020 рр..

Фізіологічне значення важких металів полягає у впливу на екологічний стан водного середовища і полягає в тому, що вони входять до сполук, які мають специфічні біологічні функції: ферменти, вітаміни та гормони. Саме через це вміст важких металів у воді нормується, якщо їх вміст у воді буде великим, це викличе порушення у біохімічних і біологічних процесів у живих організмах, що викликає часто до хронічних захворювань, інколи навіть до загибелі.

Вміст заліза загального у воді залежить від хімічного вивітрювання гірських порід, що супроводжується їх механічним руйнуванням і розчиненням. Великі концентрації заліза потрапляють у водойми через антропогенну діяльність людини у вигляді стічних вод від підприємств металургії, текстильної, лакофарбової промисловості та разом із сільськогосподарськими стоками. Для водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового призначення, ГДК заліза $0,3 \text{ мг/л}$, $0,1 \text{ мг/дм}^3$ для рибогосподарського призначення. Підвищення вмісту заліза до 1 мг/дм^3 призводить до значної погіршення якості води, аж до повного припинення її використання для питних і технічних потреб [73, 77].

Коливання заліза по р. Ворскла за період дослідження з 1961 – 2020 рр. становить від 0,1 мг/дм³ у 2015 р. до 1,2 мг/дм³ у 1966 р. Якщо проаналізувати середні концентрації за десятирічні періоди, то спостерігаються такі рівні: 1961-1970 рр. – 0,58 мг/дм³, 1971-1980 рр. – 0,18 мг/дм³; 1981-1990 рр. – 0,45 мг/дм³; 1991-2000 рр. – 0,62 мг/дм³; 2001-2010 рр. – 0,22 мг/дм³; 2011 – 2020 рр. – 0,14 мг/дм³ (рис.3.21).

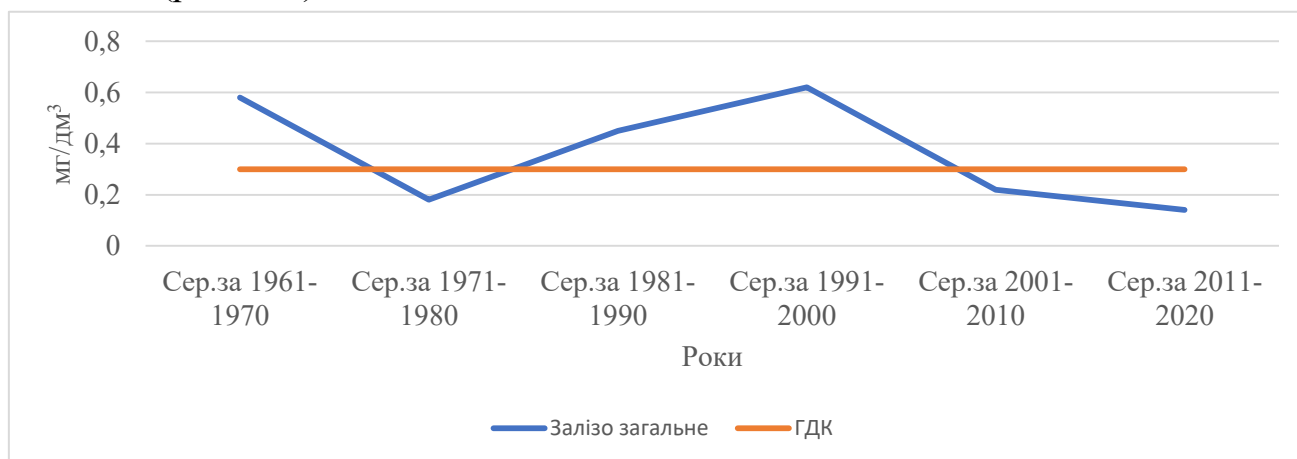


Рисунок 3.21 Зміна концентрації заліза загального в порівнянні до ГДК по р.

Ворскла з 1961-2020 рр.

Порівнюючи досліджувані показники з ГДК для рибогосподарського призначення по усіх десятирічних періодах спостерігається перевищення їх ГДК. Але ця особливість має частково природний характер, і пояснюється близькістю Курської магнітної аномалії. Такі підвищенні рівні заліза характерні для більшості річок Сумської області. Якщо аналізувати їх відповідність ГДК для господарсько-питного та культурно-побутового призначення, з 2001 року відбувається покращення якості води.

Мідь як правило є малопоширеним елементом у водних об'єктах. Переважна її кількість зосереджена у земній корі у вигляді карбонатів, оксидів та силікатів. Основними джерелами потрапляння міді до водних екосистем є гірські породи, стічні води хімічних підприємств та металургії, а також стоки з сільськогосподарських угідь. ГДК міді для всіх видів призначень складає 1 мг/дм³ для питних потреб, і 1 мкг/дм³ для рибогосподарських [77,78,79].

Концентрації міді у досліджуваній період змінювалися від 0,01653 мг/дм³ у 1995 р. до 0,00267 мг/дм³ у 1977 р.. Найбільші концентрації міді були з 1989 р. по 1998 р., і коливалися в межах від 0,00713 мг/дм³ у 1996 р. та 0,01417 мг/дм³ у 1994 р. (рис. 3.22).

Дані її вмісту у 90-тих рр. показують підвищений антропогенний вплив на річку, і відповідають III періоду - розвиток комплексних гідрохімічних досліджень в умовах зростаючого антропогенного навантаження на водні об'єкти з 1970 – початок 2000 рр. за В. Хільчевським [80], але жодних перевищень ГДК для питних потреб населення не спостерігалось. Але фіксується підвищений вміст міді у 16 р. у 90-них рр. для рибогосподарських потреб. За весь час спостереження, цей показник постійно перевищує ГДК.

Хром (Cr⁶⁺) належить до елементів, який в мікроконцентраціях є необхідним для низки живих організмів. Але у великих концентраціях він є небезпечним, якщо його вміст у воді великий, вона розпочинає змінювати колір, смак та іонний склад. Для Cr⁶⁺ ГДК становить 0,05 мг/дм³ [77,78].

Середньорічні концентрації хрому у р. Ворскла з 1989-2020 рр. складають від 0 мг/дм³ у 1994 р. до 0,0061 мг/дм³ у 1999 р. Хром загальний з 1976-1988 рр.

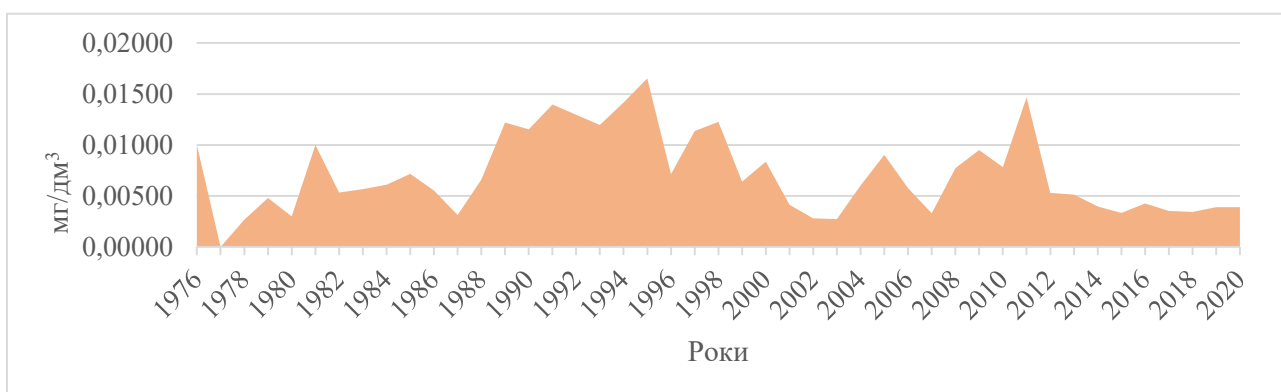


Рисунок 3.22 Середньорічний вміст міді у водах р. Ворскла з 1976-2020 рр. має середні річні коливання концентрацій від 0 мг/дм³ у 1985-1986 рр. до 0,0352 мг/дм³ у 1976 р.. Якщо прослідкувати всі рівні хрому (див. у табл. 3.3.2), то перевищень ГДК не спостерігалось.

Цинк являється необхідним елементом для водних екосистем. У малих дозах, він бере участь у біохімічних процесах, але накопичується водними

організмами, і може бути індикатором забруднення водойми. Цинк потрапляє у воду шляхом надходження туди стічних вод з промислових об'єктів. Токсичний вплив цинку відзначається у погіршенні фотосинтезу фітопланктону. ГДК цинку для водойм становить 1 мг/дм^3 [78].

Коливання середньорічних концентрацій цинку у р. Ворскла з 1976-2020 рр. становить від $0,00233 \text{ мг/дм}^3$ у 1983 р. до $0,08063 \text{ мг/дм}^3$ у 1999 р. Якщо прослідкувати його зміну по роках, то перевищень ГДК не спостерігається.

3.4 Кореляційний аналіз кліматичних змін та гідрологічних й гідрохімічних показників якості води р. Ворскла

Для повного виявлення взаємозалежності між кліматичними, гідрологічними та гідрохімічними показниками одне від одного, було проведено кореляційний аналіз за допомогою формули CORRELATION у програмному середовищі Microsoft office Excel.

Кореляційний аналіз в екологічних дослідженнях дає можливість дослідити взаємозв'язки екологічних явищ і процесів, виявити вплив чинників на результати антропогенної діяльності. Все це позитивно впливає на здійснення управлінських питань, та у прийнятті екологічно обґрунтованих рішень [80].

Головним завданням кореляційного аналізу є:

- 1) визначення форми зв'язку;
- 2) виявлення сили цього зв'язку;
- 3) виявлення чинників, які впливають на цей зв'язок.

Коефіцієнт кореляції набуває значення у межах від 1 до -1, завдяки цій закономірності він відображає не лише тісноту зв'язку, а й його напрям. Додатне значення коефіцієнта варіації означає наявність прямого зв'язку, а від'ємне – зворотного (табл.3.21)

Таблиця 3.21 Величина коефіцієнту кореляції і його зв'язку [80]

Коефіцієнт кореляції	Зв'язок
0,00	Зв'язок відсутній
0,10-0,29	Слабкий

0,30-0,49	Помірний
0,50-0,69	Значний
0,70-0,89	Сильний
0,90-0,99	Дуже сильний
1,00	Зв'язок функціональний

За розрахунками коефіцієнту кореляції у дипломній роботі по кліматичних, гідрологічних та гідрохімічних показниках, було отримано такі дані (табл. 3.22):

Таблиця 3.22 Показники кореляції між кліматичними, гідрологічними та гідрохімічними показниками

Показники Кореляції	Температура повітря	Опади	Азот нітритий	Азот амонійний	Залізо	Купрум	Цинк	Хром	pH	БСК ₅	Фосфати	Фосфор (загальний)	Кремній	O ₂	Рівні	Мінералізація	Температура води	Сульфати	Хлориди	Гідрокарбонати	Нагрій	Кальцій	Магній	Стік
Опади	-0,15		0,12	0,17	-0,13	-0,12	-0,14	0,31	-0,20	0,21	0,18	0,28	-0,04	-0,33	0,38	0,02	-0,10	-0,14	-0,08	-0,05	0,05	0,05	-0,05	0,50
t°(пов.)	-	-0,15	-0,29	-0,37	-0,32	-0,07	0,48	-0,27	-0,15	-0,37	0,09	-0,24	-0,25	0,42	-0,52	0,60	0,89	0,29	0,55	0,41	0,50	0,05	-0,05	-0,45
Рівні	-0,52	0,38	0,32	0,44	0,10	-0,01	-0,56	0,25	0,24	0,36	0,00	0,33	0,10	-0,57	-	-0,50	-0,53	-0,25	-0,49	-0,51	-0,32	-0,38	-0,48	0,77
Стік	-0,45	0,50	0,46	0,38	0,00	-0,01	-0,37	0,30	0,01	0,18	-0,01	0,39	0,20	-0,50	0,77	-0,29	-0,41	-0,26	-0,31	-0,29	-0,14	-0,21	-0,25	-
t°(води)	0,89	-0,10	-0,07	-0,21	-0,63	-0,29	0,34	0,22	-0,20	-0,41	0,91	-0,53	-0,52	0,51	-0,50	0,58	-	0,24	0,49	0,03	0,45	0,34	0,38	-0,66

*Примітки: t°(пов.) – температура повітря; t°(води) – температура води; БСК₅ – біологічне споживання кисню за п'ять діб; O₂ – кисень; pH – кислотність води;

Вплив кліматичних показників на гідрологічні за коефіцієнтом кореляції: до кліматичних показників належать температура повітря та атмосферні опади, до гідрологічних – стік, рівні та температура води. При проведенні розрахунків, було встановлена така закономірність (див. у табл.3.22):

1) за атмосферними опадами значний зв'язок (див. у табл. 3.21) відмічається по стоку, коефіцієнт кореляції становить 0.50, тобто виходить, що при збільшенні кількості опадів, стік також починає збільшуватися. Помірний зв'язок відмічається з рівнями води – 0.38. Це показує певну залежність даного гідрологічного параметра від опадів.

Якщо аналізувати температуру води і опади, то ми відмічаємо обернену кореляцію у -0.10. Даний зв'язок вважається обернено слабким, який говорить про те, що при збільшенні опадів, температура води знижується. Але це зниження в основному мало залежить від опадів, що підкреслює мізерний вплив даного кліматичного показника на цей гідрологічний параметр.

2) по температурі повітря сильний зв'язок наявний з температурою води, і складає 0,89. Це говорить про те, що з підвищенням температури повітря, підвищується і температура самої води. Даний показник показує залежність водної маси від коливань температури повітря протягом сезону.

Аналізуючи вплив температури повітря на рівні води відмічається значна обернена кореляція -0.52. Це означає, що при підвищенні температури, рівні води зменшуються. Це виявляється вагомим показником, який показує, як реагують рівні води у більш теплі та холодні роки, а також на періоди посух.

Спостерігається помірний обернений зв'язок між температурою і стоком (-0,45). При збільшенні температури повітря, стік річки розпочинає зменшуватися через випаровування, яке відбувається під час нагрівання води.

Аналіз взаємозв'язку кліматичних показників з гідрохімічними за коефіцієнтом кореляції: до гідрохімічних показників відносять катіони та аніони, біогенні елементи (нітрити, нітрати, аміак, фосфор, фосфати та кремній), важкі метали (залізо, хром, цинк, мідь) та інші показники такі як кислотність, окислення, БСК₅ та кисень.

1) між атмосферними опадами і гідрохімічними показниками виявлено наступні показники кореляції: хромом – 0,31 – помірний зв'язок. При збільшенні кількості опадів, вміст хрому у воді збільшується. Можливою причиною є змив хрому із поверхні сільськогосподарських угідь, який потім потрапляє до річки. Слабкий зв'язок простежується з аміаком – 0,17, нітритами – 0,12, БСК₅ – 0,21, фосфатами – 0,18 та фосфором загальним. У випадку з аміаком, можливий механізм впливу полягає у змиві або розчиненні органіки у річці. З нітритами можливий їх локальний змив під час зливових опадів, танення снігу або потрапляння зі стічними водами. БСК₅ має слабку взаємодію з опадами, через можливий невеликий вплив органічного забруднення через потрапляння дощової води у річки, яка стікає з схилів або сільськогосподарських угідь. У випадку з фосфатами та фосфором загальним, слабка взаємодія їх з опадами може бути пов'язана зі змивом їх з поверхні під час злив, через що їх вміст у воді непомітно збільшується.

Деякі гідрохімічні показники, наприклад мінералізація, кремній, хлориди, гідрокарбонати, натрій, калій та магній взагалі мають коефіцієнти кореляції які близькі до нульового показника (див. у табл. 3.4.2), і показують відсутність взаємозв'язку з опадами. При збільшенні або зменшенні опадів, їх вміст майже не змінюється.

Слабкий обернений зв'язок наявний з кислотністю та важкими металами: рН - -0,20, залізо і мідь – -0,12 та -0,13 і цинк - -0,14. У випадку з кислотністю, її зміна відбувається через надходження опадів у воду, які мають значення водневого показнику нижчі, ніж у річковій воді, через це спостерігається зменшення цього показника. У всіх важких металах характерне незначне зниження рівнів концентрацій, через розбавлення під час інтенсивних опадів. Найбільший обернений зв'язок з опадами наявний у кисню - -0,33. Можлива причина його зміни – зниження вмісту через зменшення температури води під час опадів та зміна її мутності.

2) між температурою повітря і окремими компонентами гідрохімічного складу існує значний взаємозв'язок: мінералізацією (0,6), хлоридами (0,55) та

натрієм (0,50). При збільшенні температури повітря, спостерігається збільшення концентрацій даних елементів. Основною можливою найімовірнішою причиною збільшення вмісту цих елементів - є нагрівання водойми, через що відбувається зменшення рівнів води (через випаровування) і збільшення концентрації гідрохімічних елементів.

Помірний зв'язок відмічено між температурою поверхні та: цинком (0,48), з розчиненим киснем (0,42), з гідрокарбонатами (0,41) та сульфатами (0,29). Збільшення вмісту цих елементів подібне як із мінералізацією, хлоридами та натрієм.

Відсутній взаємозв'язок спостерігається з міддю (-0,07), фосфатами (0,09), кальцієм (0,05) та магнієм (-0,05). Ці гідрохімічні показники мало залежать від змін та коливань температури повітря.

Слабкий обернений зв'язок наявний з нітритами (-0,29), хромом (-0,27), кремнієм (-0,25), фосфором загальним (-0,24) та кислотністю (-0,15). У випадку з нітритами, їх зменшення концентрації при збільшенні температури повітря пов'язане з використанням рослинами гігрофітів та гідатофітами сполук азоту. Можливе зменшення вмісту шестивалентного хрому у воді з підвищенням температури повітря (відповідно і води) відбувається через його перехід у трьох валентний хром, який являється нерозчинною формою і осідає на дно. Кислотність води знижується через зменшення концентрацій вуглекислого газу у воді, який при збільшенні температури повітря, і відповідно з прогрівом водної поверхні, він вивільняється в атмосферу. У випадку з фосфором загальним та кремнієм, їх зменшення концентрацій при підвищенні температури повітря, можна пояснити використанням цих елементів живими організмами у водному об'єкті, особливо під час теплого періоду року.

Помірний обернений зв'язок наявний з аміаком (-0,37), залізом (-0,37), та БСК₅ (-0,37). Можлива причина зменшення вмісту аміаку у воді з підвищенням температури повітря є біохімічні процеси та використання його водними рослинами. Зміна концентрацій заліза залежить від його форм, тобто при підвищенні температури повітря (і води) відбувається перетворення його на

нерозчинну форму, яка осідає на дно у вигляді твердого осаду, який потім може мігрувати за течією. Можливі зміни у зниженнях БСК₅ відбуваються через зниження розчинності кисню у теплій воді.

Вплив гідрологічних показників на гідрохімічні за коефіцієнтом кореляції:

1) взаємозв'язок між рівнями води та нітритами (0,32), аміаком (0,44), БСК₅ (0,36) та фосфором загальним (0,33) відмічено найбільшу кореляції, що відповідає помірному зв'язку. Підвищення вмісту аміаку та нітритів відбувається разом із збільшенням рівнів води, особливо коли річка виходить з берегів, і затоплює сільськогосподарські угіддя та поля, які можуть містити залишки азотних добрив. Подібне відбувається із БСК₅, де в результаті підвищення рівня води, у річку розпочинає надходити велика кількість органіки з територій, які потрапили під воду. Вміст фосфору у воді збільшується через вимивання його із затоплених територій, які мали забруднення фосфором.

Слабкий зв'язок між рівнями води має вміст заліза (0,1), хрому (0,25) та кремнію (0,1). Незначні збільшення вмісту цих елементів може відбуватися через посилення ерозійних процесів під час високих рівнів води у річці, або їх змивання до водойми поверхневим стоком. Також їхнє підвищення може бути пов'язане із підійманням цих сполук із дна, в результаті повеней або великих рівнів води.

Відсутність зв'язку між рівнями води відзначається між вмістом міді (-0,01) та фосфатів (0,00). Це означає, що рівні води не впливають на їхню концентрацію у річковій воді, а відбувається вплив зовсім інших факторів. Невеликий обернений взаємозв'язок наявний між вмістом сульфатів (-0,25), що говорить про зменшення концентрацій цього іона.

Помірний обернений зв'язок проявляється між вмістом хлоридів (-0,49), натрію (-0,32), кальцію (-0,38) та магнію. А у решти гідрохімічних показників у таких як: мінералізація та цинк наявний значний зв'язок (див. табл. 3.4.2) з показниками більше 0,50. Це говорить про те, що високі рівні води призводять до розбавлення іонів та катіонів та деяких хімічних елементів у воді, паралельно зменшуючи і мінералізацію води.

2) за стоком води здебільшого спостерігається обернена кореляція (табл. 3.4.2), і для більшості показників вона має помірний та слабкий зв'язок. Аналізуючи більш детально, то помірний зв'язок мають нітрити (0,46), аміак (0,38), хром (0,30), фосфор загальний (0,39) та кремній (0,20). Це свідчить про те, що у річку Ворскла ці речовини потрапляють переважно внаслідок антропогенного забруднення через поверхневий стік.

Відсутність зв'язку між стоком води відмічено між вмістом заліза (0,00), міді (-0,01) та фосфатів (-0,01). Це говорить про те, що стік води не впливає на рівні концентрацій цих сполук. Отже, можна припустити те, що їх коливання залежить від внутрішніх біогеохімічних процесів у водоймі.

Слабкий обернений кореляційний зв'язок фіксується із мінералізацією (-0,29), сульфатами (-0,26), гідрокарбонатами (-0,29), натрієм (-0,14) кальцієм (-0,21) та магнієм (-0,25). Лише між цинком і водним стоком існує помірний зв'язок (-0,37), що свідчить про те, що при збільшенні стоку, а відповідно і збільшенні рівнів води (коефіцієнт кореляції між рівнем і стоком складає 0,77, що є сильним зв'язком (табл.3.4.2)) відбувається розбавлення всіх цих компонентів, через що їх концентрації зменшуються.

3) по температурі води спостерігається дуже сильний зв'язок з фосфатами (0,91). Це говорить нам про те, що у річці відбувається внутрішнє (ендогенне) забруднення. Тобто, з великою ймовірністю річка вже забруднена великою кількістю фосфатів. У теплий період року під час підвищення температури у воді, відбувається прискорення хімічних та біологічних процесів, які пришвидшують мінералізацію органічних речовин, які містяться у донних відкладах. В умовах дефіциту кисню, який збільшується у теплій воді через його меншу розчинність, розпочинають руйнуватися хімічні зв'язки, які утримують фосфати у мулі. Через це відбувається їх мимовільне виділення з донних відкладів назад у воду, і потім відбувається евтрофікація води у річці.

Значний зв'язок по коефіцієнту кореляції наявний з киснем (0,51) та мінералізацією (0,58). Помірний показник зв'язку мають хлориди (0,49), натрій

(0,45), кальцій (0,34), магній (0,38) та цинк (0,34). Слабкі зв'язки присутні у сульфатах (0,29) та у хрому (0,22).

У випадку з киснем відбувається збільшенням його вмісту під час фотосинтезу рослин у теплий період року. Підвищення температури води призводить до збільшення загальної мінералізації, оскільки теплі умови у воді розпочинають посилювати розчинення мінералів, при цьому паралельно відбувається випаровування і зниження рівнів води, що дозволяє більше концентрувати розчинених солей. Під час теплого періоду, відбувається інтенсивніше геохімічні та біохімічні процеси, вивільняють сульфати, кальцій, магній і натрій, а також відбувається вивільнення важких металів (цинку та хрому) із донних відкладів.

Відсутній зв'язок між температурою води і вмістом нітритів (коефіцієнт кореляції -0,07). Обернена кореляція із значними зв'язками між фосфором (-0,53), кремнієм (-0,52) та залізом (-0,63). Помірний зв'язок - аміаком (-0,21), міддю (-0,29), кислотністю (-0,20) та БСК₅ (-0,41). При збільшенні температури, відбувається зменшення концентрацій цих елементів у воді. Фосфор, кремній та залізо зменшують свою концентрацію через біологічне поглинання та перетворення їх на осад. Для міді, аміаку та БСК₅ такі значення говорять про інтенсивні біологічні процеси у теплий період року, що провокує зниження їх концентрацій у воді.

Після узагальнення кореляційних даних взаємозв'язків між кліматичними, гідрологічними та гідрохімічними показниками можна показати у вигляді графіка (рис. 3.23).

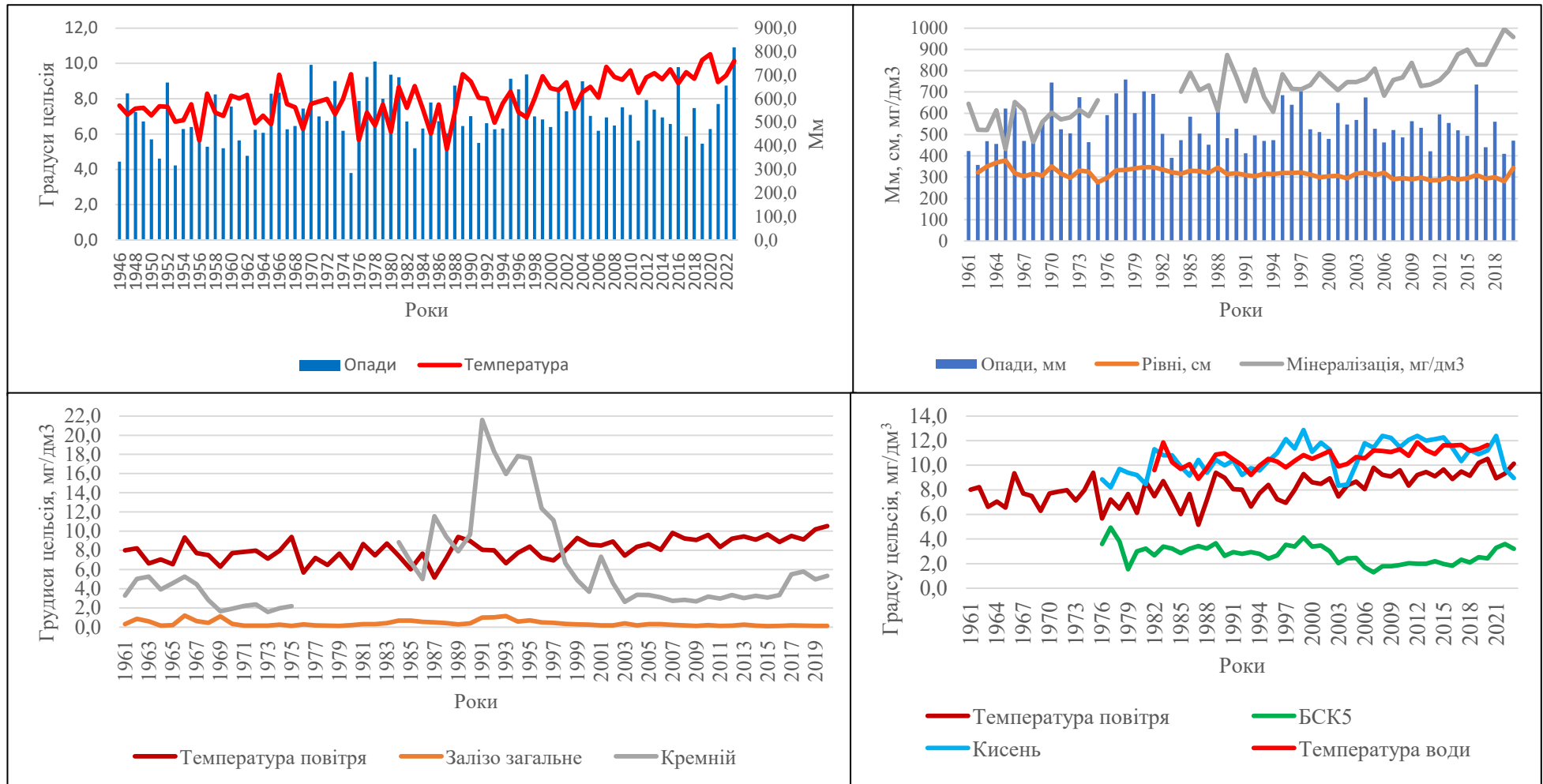


Рисунок 3.23 Взаємозв'язок кліматичних показників із гідрологічними та гідрохімічними

ВИСНОВКИ

1. Було здійснено збір кліматичної, гідрологічної та гідрохімічної інформації;

2. Проведений аналіз кліматичних змін у басейні річки Ворскла показав: збільшення середньорічної температури на $1,2^{\circ}\text{C}$: зменшення річної кількості опадів у верхній частині на 48,5 мм та їх збільшення на 17,4 мм у середній та нижній частині разом із їхнім перерозподілом по сезонах;

3. Встановлений значний взаємозв'язок гідрохімічних та гідрологічних показників між собою показав: при збільшенні рівнів води відбувається зменшення мінералізації, вмісту важких металів та збільшення біогенних речовин у воді, і навпаки; підвищення температури води провокує збільшення вмісту кисню (особливо фосфатів) у воді та до зменшення концентрацій заліза.

4. Аналіз впливу змін клімату на гідрологічні та гідрохімічні показники показав: збільшення температури повітря та зменшення кількості опадів, призводить до падіння рівнів і стоку, через що відбувається збільшення вмісту важких металів, підвищення рівнів мінералізації та до скорочення органічних речовин

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Water and Climate Change. *Unatied Nations*. 2023. URL: <https://www.unwater.org/water-facts/water-and-climate-change> (дата звернення 24.04.2025)

2 Dmytro Diadin, Yuliya Vystavna Long-term meteorological data and isotopic composition in precipitation, surface water and groundwater revealed hydrologic sensitivity to climate change in East Ukraine. *Taylor & Francis*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/10256016.2020.1732369>

3 Данильченко О.С. *Природні та антропогенні причини екологічного стану річки Ворскли та шляхи його оптимізації*: матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції «АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВКІЛЛЯ» (Суми, 25-27 травня 2021 р.). Суми, 2021. С. 21-27

4 Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА ЇХ МОЖЛИВІ НАСЛІДКИ У ФОРМУВАННІ ЯКОСТІ ВОД (НА ПРИКЛАДІ РІЧОК ПСЕЛ ТА ВОРСКЛА). Вісник Одеського державного екологічного університету. 2017. №22. URL: <http://bulletin.odeku.edu.ua/wp-content/uploads/2017/12/10-LOBODA-PILIPYUK-15.pdf>

5 Степова О.В., Рома В.В. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА КИСНЕВИЙ РЕЖИМ РІЧКИ ПСЕЛ. ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії. 2018. №2. С.113-119.

6 Людмила Циганюк Водна і продовольча безпека: які основні ризики варто враховувати, щоб запобігти колапсу? *Офіс сталих рішень*. URL: <https://ukraine-oss.com/vodna-i-prodovolcha-bezpeka-yaki-osnovni-ryzyky-varto-vrahovuvaty-shhob-zapobigty-kolapsu/>

7 Горбач В.В. Глобальні зміни клімату та шляхи їх вирішення. *Прикладна економіка: від теорії до практики*: матеріали Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції (м. Луцьк, 27-28 березня 2023). Луцьк, Волинський інститут ім. В. Липинського ПрАТ «ВНЗ «МАУП» , 2023. С.100-103.

8 Тесленко А.О. Парниковий ефект, причина та наслідки. 2021. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/94-1.pdf>

9 Авер'янов В.С., Скобельський Р.Є Дослідження вихлопних газів автотранспорту. *Актуальні задачі сучасних технологій*: Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів (м. Тернопіль, 16-17 листопада 2017). Тернопіль. 2017. С.9-10.

10 Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona and other Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*. 2014. Cambridge University Press. P.739-811

11 Höök, M., & Tang, X. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change – A review. *ScienceDirect*. 2013. Volume 52. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.046>

12 Парниковий ефект та парникові гази, основні джерела та поглиначі парникових газів. *КНУ імені Тараса Шевченка*. URL: https://anchem.knu.ua/books/zuy/clim_1.htm

13 Метеорологія і кліматологія / за ред. Степаненка С.М.. Одеса, 2008. 533 с.

14 Парниковий ефект. *LibreText*. 2022. URL: https://ukrayinska.libretexts.org/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%B6%D0%BD%D0%B0_%D0%BE%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%B0/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0_%D1%96_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%BE_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8E/10%3A_%D0%90%D1%82%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D0%B8/10.16%3A_%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%B5%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82

15 Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар: Протокол від 16.09.1987 р. №995-215 / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_215#Text (дата звернення 03.10.2025)

16 До Міжнародного дня захисту озонового шару: чи є зараз діра над Антарктикою? ДУ Національний антарктичний науковий центр. 2025. URL: <http://uac.gov.ua/do-mizhnarodnogo-dnya-zaxistu-ozonovogo-sharu-chi-ye-zaraz-dira-nad-antarktikoyu/>

17 Монреальський протокол: майже 40 років найуспішнішій глобальній угоді у сфері захисту довкілля. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. 2023. URL: <https://mepr.gov.ua/monrealskyj-protokol-majzhe-40-rokiv-najuspishnishij-globalnij-ugodi-u-sferi-zahystu-dovkillya/> (дата звернення 03.10.2025)

18 Lan, X., Tans, P. and K.W. Thoning Trends in globally-averaged CO₂ determined from NOAA. *Global Monitoring Laboratory measurements*. 2025. URL: <https://doi.org/10.15138/9N0H-ZH07>

19 Паризька угода: угода від 12.12.2015 р. №995-61 / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text (дата звернення 03.10.2025)

20 Daisuke Murakami, Pavel V. Shevchenko, Tomoko Matsui and other Climate-economy projections under shared socioeconomic pathways and net-zero scenarios. *Arxiv*. 2025. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.11721>

21 R.K. Pachauri and L.A. Meyer Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*. 2014. Geneva. 151 pp.

22 Екстремальна спека виявляє вразливість енергосистеми Європи на тлі зростання попиту на кондиціонування. *Зелена трансформація України*. 2025. URL: <https://greentransform.org.ua/ekstremalna-speka-vyavlyaye-vrazlyvist-energosityemy-yevropy-na-tli-zrostannya-popytu-na-kondytsionuvannya/>

23 Плисти чи тонути? Уроки з виживання від країн, які скоро можуть піти під воду. *Екодія*. 2020. URL: https://ecoaction.org.ua/plysty-chy-tonuty.html?utm_source

24 Коротков М. До кінця сторіччя коралові рифи можуть повністю зникнути. *EcoTechnology*. 2020. URL: <https://ecotech.news/ecology/828-doslidzhennya-do-kintsya-storichchya-koralovi-rifi-mozhut-povnistyu-zniknuti.html>

25 Collapse of critical Atlantic current is no longer low-likelihood, study finds. *The Guardian*. 2025. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2025/aug/28/collapse-critical-atlantic-current-amoc-no-longer-low-likelihood-study>

26 Simone Fant AMOC collapse is closer than expected: the consequences. *Renewable Matter*. 2024. URL: <https://www.renewablematter.eu/en/amoc-collapse-consequences>

27 Wilson L., New S., Daron J., Golding N. Climate Change Impacts for Ukraine. *Met Office*. 2021. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/2_Vplyv-zminy-klimatu-v-Ukrayini.pdf

28 Гопкало В. Зелений щит від глобального потепління. *Товариство лісівників України*. URL: <https://tlu.kiev.ua/pro-nas/novini-zakhodi/novina/article/zelenii-shchit-vid-globalnogo-poteplinnja.html?>

29 Як зміни клімату впливають на площі основних сільськогосподарських культур в Україні. *Національна академія наук України*. 2021. URL: <https://old.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=7830>

30 Climate fact sheet – Ukraine. *Climate Centre*. 2024. URL: https://www.climatecentre.org/wp-content/uploads/RCCC-Country-profiles-Ukraine_2024_final.pdf

31 Світлана Краковська, Лідія Криштоп Узагальнена оцінка впливу змін клімату в Україні, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2024. 84 с.

32 How is Today's Warming Different from the Past? *Earth Observatory*. 2010. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page3.php>

33 В.Копитко Віра Балабух: В Україну переселятимуться "кліматичні біженці" з Африки і Азії. *РБК Україна*. 2024. URL: <https://www.rbc.ua/rus/stylar/interv-yu-klimatologom-viroyu-balabuh-1706691768.html>

34 2024 is the first year to exceed 1.5°C above pre-industrial level. *Copernicus*. 2025. URL: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2024-first-year-exceed-15degc-above-pre-industrial-level>

35 Адаменко О. Зміна клімату: що відбувається і чим це загрожує Україні. *Екодія*. 2025. URL: <https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-shcho-vidbuvaietsiachym-zahrozhuie.html>

36 Ukraine: Reframing the Narrative of Climate, Environmental Degradation and Conflict. *International Rescue Committee*. 2023. URL: <https://www.rescue.org/report/ukraine-reframing-narrative-climate-environmental-degradation-and-conflict>

37 Climate damage caused by Russian War in Ukraine in three years: The key numbers. *Planetary Security Initiative*. 2025. URL: <https://www.planetarysecurityinitiative.org/news/climate-damage-caused-russian-war-ukraine-three-years-key-numbers>

38 Нове дослідження Світового банку аналізує вплив зміни клімату в Україні та закликає до дій для підвищення стійкості в сільському господарстві. *World bank group*. 2022. URL: <https://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2022/02/09/new-world-bank-study-analyzes-climate-change-impact-in-ukraine>

39 Viktor I. Vyshnevskyi Climate change in Ukraine and its consequences. *Journal of Landscape Ecology*. 2025. 18(4). P.150-174

40 Ромащенко М.І., Гусев Ю.В., Шатковський А.П. та ін. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво. *Журнал «Меліорація та водне господарство»*. 2020. Вип.1. С.5-22

41 Demydov O., Blyzniuk R., Pirysh A. et al. Drought resistance of soft spring wheat varieties of different ecological and geographical origins in the Forest Steppe of Ukraine. *Plant and Soil Science*. 2023. Pub. 14(3). P.84-96

42 Писаранко В.М., Писаренко П.В., Писаренко В.В. та ін. Посухи в контексті змін клімату в Україні. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. Вип.№1. С.134-146

43 Markova N., Smirnova I., Zadorozhnyi Y. et al. Irrigation systems as a factor in increasing productivity in agricultural regions of Ukraine. *Scientific Horizons*. 28(4). P.107-119

44 Ромащенко М.І., Яцюк М.В., Сайдак Р.В. та інші. Реконструкція та модернізація міжгосподарських зрошувальних систем – основа підвищення енергоефективності водоподачі на зрошення. *Журнал «Меліорація та водне господарство»*. 2022. Вип. №1. URL: <https://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/325>

45 Romashchenko M., Bohaienko V., Matiash T. et al. Conceptual principles of water resources management in irrigated agriculture. *IAHS*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.5194/piahs-385-111-2024>

46 Kucher A., Krupin V., Rudenko D. et al. Sustainable and Efficient Water Management for Resilient Regional Development: The Case of Ukraine. *MDPI*. 2023. 13(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071367>

47 WWF-Україна вперше представив механізм попередження та управління посухами для суббасейнів річки Тиса, а також річок Прут та Сірет. *Всесвітній фонд природи Україна*. 2024. URL: <https://wwf.ua/?14327416%2FWWF-Ukraine-vpershe-predstavyyv-mekhanizm-poperedzhennia-ta-upravlinnia-posukhamy>

48 Петрович О., Шутяк С., Болдарева С. та ін. Природоорієнтовані рішення водному, лісовому та аграрному секторах для відновлення України у повоєнний період та подальшого сталого розвитку з урахуванням зміни клімату. *Збірник матеріалів проєкту INSURE*. Київ. 2022. 88 с.

49 Ukraine. Climate Change Adaptation Communication (First Adaptation Communication) submitted by Ukraine to the UNFCCC. 27 May 2024. 45 p. URL: <https://unfccc.int/sites/default/files/202505/Ukraine%201st%20Adaptation%20Communication.pdf> (дата звернення: 22.10.2025).

50 Sophie Lambroschini Water in the War in Ukraine: between mobilization and collapse. *La Vie des Idées*. 2023. URL: <https://laviedesidees.fr/Water-in-the-War-in-Ukraine-between-mobilization-and-collapse>

51 O. Vasyliuk, E. Simonov The thirsty peninsula: How much water will Crimea need in the future? *Ukraine War Environmental Consequences Work Group*. 2024. URL: <https://uwecworkgroup.info/the-thirsty-peninsula-how-much-water-will-crimea-need-in-the-future/>

52 Україна ділиться досвідом кризового управління у сфері водопостачання на Дунайській водній конференції. *Міністерство розвитку громад та територій України*. 2025. URL: <https://mindev.gov.ua/news/ukraina-dilytsia-dosvidom-kryzovoho-upravlinnia-u-sferi-vodopostachannia-na-dunaiskii-vodnii-konferentsii> (дата звернення 22.10.2025)

53 Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету міністрів України від 20.10.2021 р. №1363-р / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (дата звернення 22.10.2025)

54 Snizhko S., Didovets Y., Schevchenko O. et al Southern Bug River: water security and climate changes perspectives for post-war city of Mykolaiv, Ukraine. *Frontiersin*. 2024. Volume 6. DOI: <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1447378>

55 Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України. *Центр екологічних ініціатив «Екодія»*. 2021. 68 с.

56 Khilchevskiy V., Sherstyuk N., Zabokrytska M. Researches of the chemical composition of surface water in Ukraine. *ResearchGate*. 2020. 29(2). DOI: https://www.researchgate.net/publication/342878497_Researches_of_the_chemical_composition_of_surface_water_in_Ukraine_1920-2020_review

57 Данильченко О.С., Басов А.О Зміна водності річки Ворскла за даними гідрологічного поста Чернеччина у період з 1979 по 2019 роки. *Слобожанський науковий вісник*. 2023. Вип. №1. С.20-26

58 Хільчевський В. К. Ворскла (річка). *Велика українська енциклопедія*. 2023. URL: [https://vue.gov.ua/Ворскла \(річка\)](https://vue.gov.ua/Ворскла_(річка)) (дата звернення: 04.11.2025).

59 Данильченко О.С. *Природні та антропогенні причини екологічного стану річки Ворскли та шляхи його оптимізації*: матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції «АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВКІЛЛЯ» (Суми, 25-27 травня 2021 р.). Суми, 2021. С. 21-27

60 Винников Ю.Л , Харченко М.О., Ягольник А.М., Листопад С.М. Природні та антропогенні чинники зсувних процесів у межах схилів лісового плато. *Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво*. 2022. 1(58). С.82-91

61 Khilchevskiy V. K., Kurylo S. M., Sherstyuk N. P Chemical composition of different types of natural waters in Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. Vol. 27 No.1. PP.68-80

62 Гідрохімія річок лівобережного лісостепу України: навчальний посібник / Хільчевський В.К., Винарчук О.О., Гончар О.М. та ін. за ред. В.К. Хільчевський та В.А. Сташука. Київ : Ніка Центр, 2014. 230 с.

63

64 Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І Вплив сучасних змін у співвідношенні сніго-дошового живлення річок на структурі водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли). *Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія*. 2019. Вип. №4 С.40-52

65 Регіональний офіс водних ресурсів у Полтавській області Режими роботи водних об'єктів і водогосподарських систем. *Державне агентство водних ресурсів України*. URL: <https://poltavavodgosp.gov.ua/rezhymy-roboty-vodnykh-ob-ektiv-i-vodohospodarskykh-system> (дата звернення 05.11.2025)

66 Тягній Л.М., Степова О.В. Аналіз джерел та видів забрудненн р. Ворскла та її притоків (в межах Полтавської області). *Екологія. Людина*.

Суспільство: Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2021. С.77-79

67 Nedilska U., Krachan T et all. Ecological aspects of climate change impact on tree species in forest ecosystems. *Ukrainian journal of forest and wood science*. Vol. №4. 2024. PP.90-107

68 Шацький національний природний парк Інвазивні види. *Шацький національний природний парк*. URL: <https://shnp.forest.gov.ua/invazyvni-vydy> (дата звернення 05.11.25)

69 Open-Meteo Historical Weather API. *Open-Meteo*. 2025. URL: <https://open-meteo.com/en/docs/historical-weather-api>

70 Кравченко І., Ладика М.М Кліматичні реалії сьогодення та їх вплив на Україну і світ. *Екологія – філософія існування людства* : матеріали XI Міжнародної науковопрактичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених (Київ, 23-24 квітня 2025 р.). Київ, 2025. С.78-80

71 Регіональний офіс водних ресурсів у Полтавській області Щотижнева інформація щодо водогосподарської ситуації у зоні діяльності Регіонального офісу водних ресурсів у Полтавській області. *Державне агентство водних ресурсів України*. 2025. URL: <https://poltavavodgosp.gov.ua/diialnist/vod-stan> (дата звернення 09.11.2025)

72 Вишневецький В.І., Сташук В.А., Сакевич А.М. Водогосподарський комплекс у басейні Дніпра. Київ : Інтерпрес ЛТД, 2011. 188 с.

73 Данильченко О.С. Річкові басейни сумської області: геоекологічний аналіз : монографія. Суми : СумДПУ імені А. С . Макаренка, 2019. 271 с.

74 Лобода Н.С., Пилип'юк В.В. Зміни клімату та їх можливі наслідки у формуванні якості вод (на прикладі річок Псел та Ворскли). *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. Вип.№22. С.69-79

75 Khilchevskiy V. K., Sherstyuk N. P., Zabokrytska M. R., Researches of the chemical composition of surface water in Ukraine, 1920-2020 (review). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2020. 29(2). PP.304-326

76 Про затвердження Методики визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів від 15.04.2021 р. №244 / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0776-21#Text> (дата звернення 11.11.2025)

77 Гідроекологічний стан басейну річки Рось / Хільчевський В.К., Курило С.М., Дубняк С.С., та ін. ; За ред. В.К. Хільчевського. Київ : Ніка – Центр. 2009. 116 с.

78 Іванова В.П. Концентрування та вилучення важких металів із води : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 21.06.01. Київ, 2019. 235 с.

79 Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення: Наказ Міністерства Охорони здоров'я України від 02.05.2022 р. / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text> (дата звернення 12.11.2025)

80 Боголюбов В.М., Гайченко В.А., Колесніченко О.В. Статистичні методи в екологічних дослідженнях : науково-методичний посібник для підготовки курсових і дипломних робіт студентами напряму 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Київ : ЦП Компринт, Київ. 2015. 101 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1

RCP4.5 – середній сценарій викидів парникових газів, який передбачає, що викиди до 2040 року досягнуть свого піку, і потім стабілізуються. Енергетичне навантаження (радіаційне форсування) до 2100 року становитиме $4,5 \text{ МВт/м}^2$, а концентрація вуглекислого газу в атмосфері становитиме 538 ppm, а глобальна температура підвищиться на $2\text{-}3^\circ\text{C}$.

RCP8.5 – високий сценарій викидів. Даний сценарій передбачає постійні викиди парникових газів, і енергетичне навантаження (радіаційне форсування) становитиме $8,5 \text{ МВт/м}^2$. Зростання рівнів вуглекислого газу в атмосфері становитиме 936 ppm, а глобальна температура підвищиться на $3\text{-}5^\circ\text{C}$.

ДОДАТОК 2

РТК4.5 – середній сценарій викидів парникових газів, який передбачає, що викиди до 2040 року досягнуть свого піку, і потім стабілізуються. Енергетичне навантаження (радіаційне форсування) до 2100 року становитиме $4,5 \text{ МВт/м}^2$, а концентрація вуглекислого газу в атмосфері становитиме 538 ppm, а глобальна температура підвищиться на $2\text{-}3^\circ\text{C}$.

РТК8.5 – високий сценарій викидів. Даний сценарій передбачає постійні викиди парникових газів, і енергетичне навантаження (радіаційне форсування) становитиме $8,5 \text{ МВт/м}^2$. Зростання рівнів вуглекислого газу в атмосфері становитиме 936 ppm, а глобальна температура підвищиться на $3\text{-}5^\circ\text{C}$.

ДОДАТОК 3

API історичної погоди на сайту OpenMeteo базується на наборах даних повторного аналізу, які інтерполують спостереження з метеостанцій, літаків, буїв, радарів та супутників, і заповнюють прогалини математичними моделями. Це дозволяє отримувати детальну історичну інформацію навіть для віддалених місць. Для більшої точності використовують високу просторову здатність до 9 км, особливо біля узбережжя морів та гір. Для дослідження кліматичних змін використовується ERA5 або ERA5-Land. Завдяки даному набору, забезпечується узгодженість даних і запобігаються зміни, які можуть виникати через впровадження різних оновлень моделі погоди.

ДОДАТОК 4

Таблиця 4. Етапи розвитку гідрохімічних досліджень та системи моніторингу поверхневих вод України [80]

Період	Роки	Характеристика водогосподарської діяльності	Динаміка гідрохімічних досліджень і розвитку системи моніторингу
I період: початок систематичних гідрохімічних досліджень поверхневих вод	1920-1950 рр.	Створення гідрометеорологічної служби в Україні (1921 р.). Початок будівництва першого водосховища на річці Дніпро для Дніпровської гідроелектростанції в м. Запоріжжя (1927 р.).	З'являються перші публікації з гідрохімії. Розпочато регулярні спостереження за хімічним складом води на гідрометеорологічних постах на Дніпрі та Південному Бузі (1930-ті). Видаються перші «Гідрологічні щорічники». Публікуються гідрохімічні дослідження для великих проєктів (зокрема, Дніпровська ГЕС).
II період: розширення гідрохімічних досліджень для потреб водного та енергетичного будівництва	1950-1970-ті рр.	Реалізація масштабних гідроенергетичних і водогосподарських проєктів, створення каскаду водосховищ на Дніпрі (1950–1974) та інших річках; розбудова зрошувальних систем на півдні України (Ингулецький канал та інші), Північнокримського каналу; осушувальні роботи на Поліссі.	Дослідження гідрохімічного режиму річок, на яких створювалися водосховища, з прогнозуванням впливу на водні ресурси країни. Збільшується кількість постів спостереження за хімічним складом води на великих і середніх річках. Розвиваються дослідження гідрохімії водосховищ

			(Інститут гідробіології НАН України), формується гідрохімічне районування території України (для малих річок). У 1967 р. видається журнал «Гідрохімічні бюлетені».
III період: розвиток комплексних гідрохімічних досліджень в умовах зростаючого антропогенного навантаження на водні об'єкти	1970-початок 2000-них рр.	Зростання водоспоживання і скидів стічних вод. Історичний максимум водозабору в Україні зафіксовано 1990 р. - 35,6 км ³ , а водовідведення - 20,3 км ³ . Будівництво Дністровського водосховища (1981-1987). Аварія на Чорнобильській АЕС (1986). Формування нових напрямів у гідрохімічному профілі.	Створення системи гідрохімічного моніторингу водних об'єктів у межах ОГСС (1973). Розроблено критерії оцінки якості вод за санітарно-гігієнічними показниками (ГДК). У 1970-1980-х роках функціонувало 284 пости гідрохімічного моніторингу. З 1979 р. уперше видається щорічник «Дані про якість води». Після аварії на ЧАЕС розпочато дослідження радіоекологічного стану вод. У цей період також з'являються перші навчальні посібники з гідрохімії (Київський університет ім. Т. Шевченка).
IV період: реформування гідрохімічних досліджень відповідно до вимог Водної	Після початку 2000-них рр.	У 1991- 2000 рр. в Україні спостерігалось різке падіння економічної активності, після чого почалося поступове	Після 2014 р. (підписання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС) система моніторингу реформується

<p>рамкової директиви Європейського Союзу</p>		<p>зростання. У 2000 р. ВВП становив 40% від рівня 1990 р., а у 2013 р. - близько 70%. Зменшилися масштаби водогосподарських проєктів і водозабору: у 2013 р. водозабір - 13,6 км³, водовідведення - 7,7 км³. Відбулося істотне скорочення кількості гідрохімічних підрозділів.</p>	<p>відповідно до Водної рамкової директиви ЄС і європейського законодавства. Державний моніторинг поверхневих вод здійснюється за біологічними, гідроморфологічними, хімічними та фізико-хімічними показниками. З 2020 р. моніторинг проводиться більш ніж на 9000 водних об'єктах, із визначенням понад 100 показників. У 2019 р. гідрометеорологічні підрозділи ДСНС України контролювали поверхневі води на 327 постах у 56 басейнах; Держводагентство - на 436 постах.</p>
---	--	---	--