

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Пилип'юк Віктор Вікторович

УДК 556.5

ГІДРОЛОГО – ГІДРОХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ЯКІСТЬ ВОД
РІЧОК ПСЕЛ ТА ВОРСКЛА

11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси та гідрохімія

ДИСЕРТАЦІЯ
на здобуття наукового ступеня
кандидата географічних наук

Науковий керівник:
Лобода Наталія Степанівна
доктор географічних наук,
професор

Одеса – 2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РІЧОК ПСЕЛ ТА ВОРСКЛА.....	9
1.1 Географічне положення та рельєф.....	9
1.2 Клімат.....	11
1.3 Ґрунти та рослинність.....	14
1.4 Гідробіологічні показники якості вод.....	16
1.5 Гідрографічна характеристика.....	18
1.6 Підземні води та карст.....	21
1.7 Гідрологічна вивченість.....	22
1.8 Господарська діяльність.....	24
1.9 Оцінка екологічного стану за рівнем використання вод у транскордонній зоні Росія – Україна.....	27
Висновки до розділу 1.....	40
2. ОЦІНКА ЗМІН КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ ТА ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ.....	42
2.1 Річний стік.....	42
2.2 Підземна складова річного стоку.....	51
Висновки до розділу 2.....	60
3. ОЦІНКА ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ «КЛІМАТ-СТІК» З ВИКОРИСТАННЯМ СЦЕНАРІЇВ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ.....	62
3.1 Теоретичні основи методу водно-теплогового балансу та його реалізація для України.....	63
3.2 Визначення природних водних ресурсів річок Псел та Ворскла на основі моделі «клімат-стік».....	73
3.3 Оцінка впливу підстильної поверхні.....	75

3.4 Оцінка можливих змін водних ресурсів за сценарієм глобального потепління А1В.....	81
Висновки до розділу 3.....	93
4. ОЦІНКА ГІДРОХІМІЧНОГО ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧОК.....	95
4.1 Огляд досліджень з гідрохімічного та гідроекологічного стану вод за літературними джерелами.....	95
4.2 Екологічна оцінка якості річкових вод.....	104
4.3 Оцінка зміни якості вод за методикою ІЗВ по довжині річок у різні за водністю роки.....	114
4.4 Оцінка зміни якості вод по довжині річок Псел та Ворскла у різні за водністю роки за критеріями шкідливості	118
4.5 Особливості гідрохімічного складу та оцінка якості води річок Псел та Ворскла по сезонах.....	124
4.6 Оцінка здатності річок Псел та Ворскла до самоочищення.....	137
Висновки до розділу 4.....	151
ВИСНОВКИ.....	155
Список використаних джерел.....	159
ДОДАТОК А.....	170
ДОДАТОК Б.....	172
ДОДАТОК В.....	174
ДОДАТОК Д.....	176
ДОДАТОК Ж.....	179
ДОДАТОК З.....	181
ДОДАТОК І.....	184
ДОДАТОК К.....	193
ДОДАТОК Л.....	204
ДОДАТОК М.....	213
ДОДАТОК Н.....	223
ДОДАТОК О.....	232

ВСТУП

Актуальність теми обумовлена необхідністю визначення змін гідрологічного, гідрохімічного та гідроекологічного стану водних об'єктів України в умовах антропогенного впливу та глобального потепління з метою оптимізації управління водними ресурсами. Наукові дослідження відповідають Закону України «Про Основні засади (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2020 року» (Відомості Верховної ради України, 2011, № 26, ст. 218) де відзначається, що одними з основних задач у сфері забезпечення інтеграції екологічної політики в процес соціально – економічного розвитку України «є підготовка та впровадження секторальних стратегій щодо ... якості води та управління водними ресурсами ...» «та у сфері зміни клімату з урахуванням ключових напрямків щодо запобігання зміні клімату, а також адаптації до змін клімату».

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Окремі розділи дисертації увійшли складовими частинами до таких науково – дослідних робіт, що виконувались на кафедрі гідроекології та водних досліджень: кафедральної НДР «Оцінка та передбачення наслідків антропогенного впливу на водні ресурси річок України» (№ д/р 0108U005027, 2011-2012 рр.); міжкафедральної НДР кафедри гідроекології та водних досліджень і кафедри теоретичної метеорології та метеорологічних прогнозів ОДЕКУ «Посушливість клімату та наслідки її впливу на гідрологічний та гідроекологічний стан водних об'єктів України» (№ д/р 0113U000968, 2011-2014 рр.); кафедральної НДР «Гідроекологічний стан річок та водойм України в умовах антропогенного впливу» (№ д/р 0113U007292, 2013 – 2017 рр.)

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є установлення змін гідрологічного, гідрохімічного та гідроекологічного стану річок Псел та Ворскла в умовах глобального потепління.

Для досягнення мети були сформульовані та вирішені такі задачі:

- установити зміни антропогенного навантаження на водні ресурси річок у транскордонній зоні та по довжині річок;
- виявити тенденції змін кліматичних чинників та характеристик стоку, що відбулися за минулі два десятиріччя на основі даних гідрометеорологічних спостережень;
- надати оцінки змін водних ресурсів у перспективі за сценаріями глобального потепління з використанням моделі «клімат-стік»;
- установити особливості гідрохімічного режиму та надати оцінки гідроекологічного стану вод річок в останні десятиріччя;

оцінити самоочисну здатність річок.

Методи дослідження:

- методи визначення антропогенного навантаження на водні ресурси річок;
- статистичні методи (розрахунки статистичних параметрів стоку, регресійний аналіз, сумісний аналіз складових просторової дисперсії статистичних параметрів);
- модель «клімат - стік», яка базується на застосуванні метеорологічної інформації у розрахунках природного стоку;
- методи оцінки якості вод на основі гідрохімічних показників;
- методи розрахунків самоочищення.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в установленні основних тенденцій змін кліматичних чинників та водних ресурсів на основі даних спостережень та кліматичних сценаріїв, а також виявленні особливостей формування гідрохімічного режиму та якості вод у минулі два десятиріччя.

Вперше для водозборів річок Псел та Ворскла:

- встановлено зміни антропогенного навантаження у транскордонній зоні між Російською Федерацією та Україною за кількісними

показниками використання водних ресурсів та оцінена динаміка цих змін по довжині річок;

- розроблено та обґрунтовано методику розрахунків перехідних коефіцієнтів від норм річного кліматичного стоку до природного для річок із нестабільним підземним живленням;
- обґрунтовано вибір кліматичних сценаріїв, які найкращим чином описують зміни кліматичних чинників та стоку за ретроспективний період (1951 – 1988 рр.);
- надано порівняльну оцінку зміни водних ресурсів до та після 1989 року (як початку значущих змін клімату в Україні) на основі моделі «клімат - стік» з використанням сценаріїв змін глобального клімату М5 та М10;
- запропонований методичний підхід до визначення концентрацій забруднюючої речовини по довжині річки на базі математичного опису процесу самоочищення вод із застосуванням взаємної кореляційної функції для установалення часу добігання вод з верхнього створу до нижнього.

Удосконалено: методичні підходи до оцінки впливу чинників підстильної поверхні на норми річного кліматичного стоку при використанні моделі «клімат-стік».

Дістало подальшого розвитку:

- установалення тенденцій змін кліматичних чинників та характеристик стоку у різні фази його формування, а також змін підземної складової річного стоку за минулі два десятиріччя на основі даних спостережень;
- виявлення основних забруднюючих речовин та динаміки їх змін по роках, сезонах і довжині річок;
- оцінки якості вод за різними методиками у період після початку суттєвих змін клімату (з 1990 р.) на основі даних гідрохімічних спостережень;

- оцінки здатності річок до самоочищення на їх різних ділянках за різними показниками;

установлення ролі абіотичних чинників екосистем в умовах кліматичних змін.

Практичне значення отриманих результатів полягає в обґрунтуванні методики визначення водних ресурсів за моделлю «клімат-стік»; наданні оцінок змін водних ресурсів досліджуваних річок у XXI сторіччі за сценаріями глобального потепління A1B та A2; виявленні тенденцій змін характеристик стоку у період прояву глобального потепління на території України (з 1989 р.); обґрунтуванні вибору розрахункового сценарію; установленні особливостей гідрохімічного та екологічного стану річок Псел та Ворскла у минулі два десятиріччя; виявленні можливих наслідків змін клімату на гідрологічний, гідрохімічний та гідроекологічний режим річок; розробленні методики розрахунків концентрацій забруднюючих речовин по довжині річки в процесі самоочищення.

Особистий внесок здобувача. Результати досліджень належать особисто автору. Більша частина публікацій написана у співавторстві з науковим керівником, якому належить теоретичне підґрунтя досліджень, а здобувачу – їх практична реалізація.

Апробація дисертаційного дослідження та публікації. Основні положення та окремі результати, отримані під час написання дисертації, доповідалися на Наукових конференціях молодих вчених ОДЕКУ (м. Одеса, 2010 – 2014 рр.), V Міжнародній науковій конференції студентів, магістрів та аспірантів «Регіональні екологічні проблеми» (м. Одеса, 2012 р.), Міжнародній науковій конференції «Україна: географія цілей та можливостей» (м. Київ, 2012 р.), II Міжнародній конференції «Молодь у вирішенні екологічних та соціально – економічних проблем сьогодення» (м. Одеса, 2013 р.), Міжнародній науковій конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Одеса, 2014 р.), VI Всеукраїнській конференції з міжнародною участю

«Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.), Міжнародній науковій конференції молодих вчених «Сучасний стан регіональних екологічних проблем та шляхи їх вирішення» (м. Одеса, 2014 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 20 наукових публікацій, в тому числі 4 статті у фахових наукових виданнях, рекомендованих ДАК України, 3 статті у зарубіжних наукових виданнях, 13 тез доповідей.

Структура та обсяг роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури (101 джерело) та 12 додатків. Загальний обсяг роботи - 253 сторінки. Основна частина дисертації викладена на 158 сторінках, має 52 таблиці та ілюстрована 49 рисунками.

РОЗДІЛ 1

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РІЧОК ПСЕЛ ТА ВОРСКЛА

1.1 Географічне положення та рельєф

Водозбори річок Псел та Ворскла відносяться до лівобережної України і є лівобережними притоками р. Дніпро [2]. Розглянуті річки є трансграничними, оскільки їх витoki знаходяться у межах Російської федерації. У межах України знаходиться 72% від загальної площі водозбору р. Псел та 86% площі водозбору р. Ворскла (табл.1.1). За адміністративним картуванням водозбори розглядуваних річок розташовуються у межах Курської та Білгородської областей Російської Федерації та у межах Сумської й Полтавської областей України.

Таблиця 1.1

**Характеристики довжини та площ водозборів трансграничних річок
Псел та Ворскла**

№ п/п	Назва річки	Довжина, км		Довжина, %	Площа, тис. км ²		Площа, %
		загальна	у межах України	у межах України	загальна	у межах України	у межах України
1	Псел	719	520	72,3	22,8	16,27	71,4
2	Ворскла	455	317	69,7	14,7	12,59	85,6

Головними одиницями геологічної структури є Воронезький кристалічний масив та Дніпровсько-Донецька низовина, яка знаходиться між

Воронезьким масивом та Українським кристалічним щитом, відділяючись від них системами глибоких розломів [31].

Основною геоморфологічною одиницею розглядуваної території є полігенна рівнина України, а саме південній захід Східно - Європейської платформи. Річки Псел та Ворскла беруть початок на південно-західних відгалуженнях Середньоруської височини (рис.1.1). Середня течія цих річок знаходиться у межах Полтавської височини [34], а нижня – у межах Середньодніпровської (лівобережної) терасової рівнини. Полтавська височина та Середньодніпровська рівнина є складовими такого геоморфологічного утворення як Придніпровська низовина (за Ю.Г. Грубріним). Середньоруська височина успадковує структуру Воронезького кристалічного масиву, розташованого на території Росії. Висоти тут рідко перевищують 220-230 м БС, поступово зменшуючись у південно-західному напрямку, де височина переходить у Придніпровську низовину. Тут переважає горбистий рельєф з численними ерозійними формами, глибокими короткими ярами на схилах річкових долин.

Згідно із фізико-географічним районуванням водозбори належать до Лівобережно-Дніпровської провінції лісостепової зони України [34]. Південна межа лісостепової зони (границя зі степом) проходить вздовж лінії: Велика Михайлівка - Ширяєво - Первомайськ - Новоукраїнка - Кіровоград - Знам'янка - гирло Ворскли - Кобеляки - Нові Санжари - Красноград - Балаклея і по долині р. Оскіл та виходить за кордони України. Можна зазначити, що розглядувані водозбори практично цілком розташовані у лісостеповій зоні. Загальною рисою літогенної основи лісостепу є поширення лесових порід, що стало передумовою розвитку яружно-балкового рельєфу.

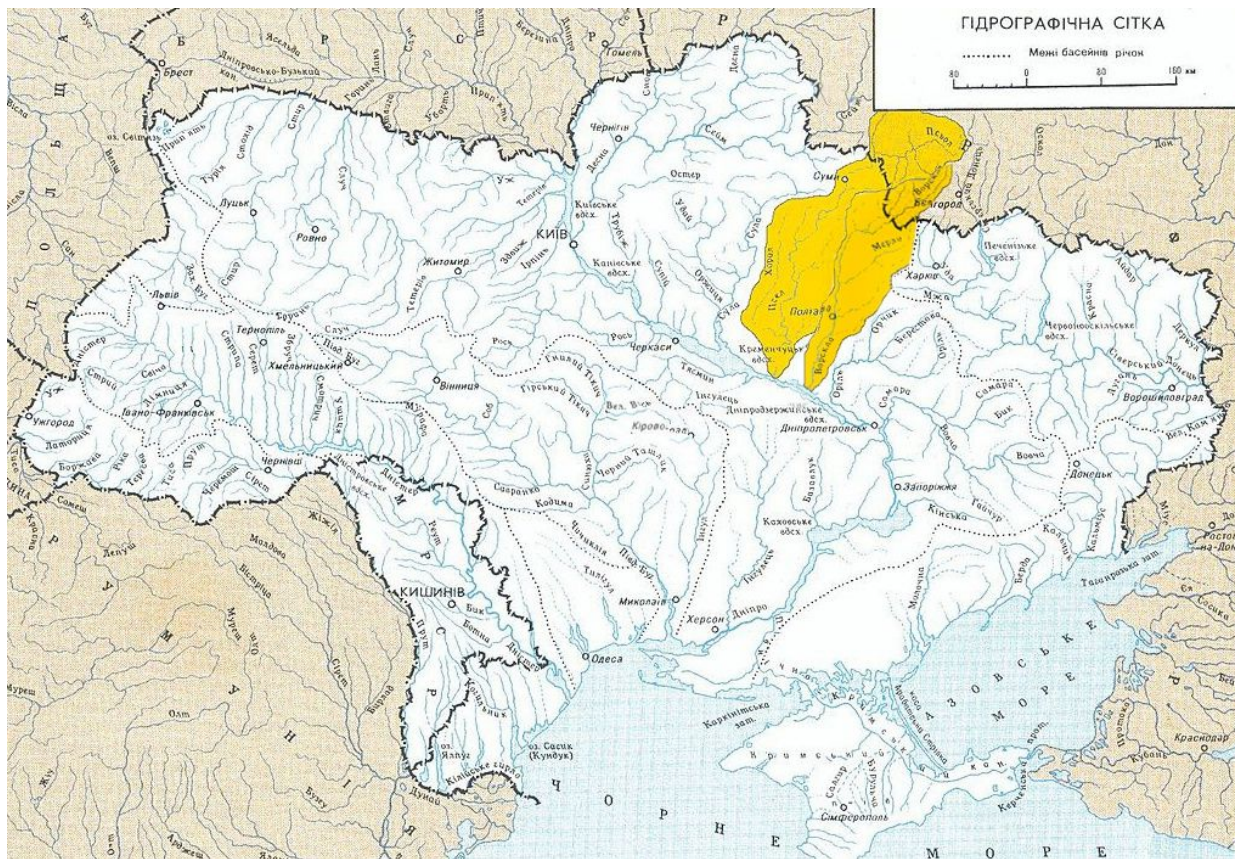


Рис. 1.1. Географічне положення басейну річок Псел та Ворскла
(жовтим кольором означені границі водозбору річок)

1.2 Клімат

Процеси циркуляції повітряних мас над досліджуваною територією пов'язані з проходженням циклонів та антициклонів, що рухаються з Атлантики, Арктики та Азії. Басейн Дніпра знаходиться, в основному, під впливом Азорського баричного максимуму, який сприяє надходженню із заходу відносно вологого повітря, та сезонного Сибірського антициклону, гребінь якого може приносити по осі підвищеного тиску сухе (взимку холодне, а влітку - перегріте) повітря пустель Закаспію [13].

Дослідження впливу великомасштабних атмосферних процесів на коливання річних опадів, середніх багаторічних температур повітря та характеристик стоку України було виконано Н.С. Лободою на основі вивчення статистичної структури гідрометеорологічних полів [40] та кореляційних зв'язків між характеристиками гідрометеорологічних процесів й індексами атмосферної циркуляції [42].

Установлено, що вплив Північноатлантичного коливання (ПАК) на зміни гідрометеорологічних характеристик є більш значущим для річок західної України ніж для східної. Виявлено, що на півночі та північному сході України особливості коливань стоку обумовлюються Скандинавською телеконекцією [94]. Коефіцієнти кореляції між величинами річного стоку та індексами Скандинавського коливання досягають значення 0,45 (р. Сіверський Донець - м. Зміїв, р. Десна – м. Чернігів).

Кліматичні умови лісостепу визначаються, насамперед, досить високим припливом сонячного тепла. Сумарна радіація за рік становить $418 \cdot 10^3$ - $460 \cdot 10^3$ кДж. Значна частина одержаного тепла витрачається на випаровування з поверхні суші. Витрати радіаційного тепла на випаровування досягають 121 кДж. Річний радіаційний баланс на розглядуваній території становить 167 - 188 кДж. Тривалість сонячного сяйва у верхній течії річок змінюється від 1800 до 1990 годин, а у середній та нижній – від 1900 до 2000 годин. Характерною ознакою клімату тут виступає нестабільність зволоження: більш вологі роки чергуються з посушливими, можливе формування суховіїв. Як вже зазначалось, водозбори, що розглядаються, знаходяться на сході України, де вплив північно-атлантичного переносу повітряних мас зменшується, через що зростає континентальність клімату. Згідно із кліматичним районуванням ця територія відноситься до північної кліматичної області [32]. При розгляді агрокліматичного районування України (за В. Поповим) територія дослідження відноситься до східного лісостепу, де коефіцієнти зволоження становлять 1.2 – 1.7, число днів з середніми добовими температурами від

+5°C до +10°C знаходиться у межах 80-105, а число днів з температурами понад +15°C змінюється від 110 до 125.

Одним із основних показників температурного режиму є середня місячна температура повітря, яка характеризує загальний температурний фон території. Річний хід температури повітря майже співпадає з річним ходом надходження сонячної радіації. Середня місячна температура повітря у січні змінюється від мінус 8 °C на північному сході до мінус 6 °C - у гирлах річок. Середня місячна температура повітря у липні зростає у напрямку з півночі на південь від +19°C у м. Сумах до +20°C - у м. Полтаві. Абсолютний максимум температури повітря за рік становить +38 °C (м. Суми). Середнє число днів з відлигою за зимовий сезон (грудень-лютий) змінюється від 30 біля витоків до 45 у гирлах річок. Абсолютний мінімум температури повітря за рік дорівнює -36°C (м. Суми). Середнє число днів з температурою мінус 10°C і нижче знаходиться у межах 50 на північному заході до 35 - на південному сході. Середнє число днів з мінімальною температурою повітря -25°C і нижче змінюється від 5 до 2 у південному напрямку. Середня тривалість безморозного періоду становить 160 – 190 днів, збільшуючись у південному напрямку.

Кількість річних опадів у межах Української території досліджуваних водозборів змінюється від 600 мм на півночі до 550 мм - на півдні. У вологому 1978 році кількість річних опадів у м. Полтава досягала 720 мм, а у посушливому 1975 році становила лише 280 мм, що свідчить про їх значну мінливість у часі.

Зимою на території водозборів річок Псел та Ворскла утворюється стійкій сніговий покрив. Середня дата його утворення припадає на другу половину грудня місяця, а середня дата його руйнування – на березень. Найменше число днів із сніговим покривом у м. Полтава дорівнює 34, а найбільше 143. Відсутність стійкого снігового покриву в окремі зими обумовлена довгим та інтенсивним потеплінням. Також можуть бути зими з відсутністю стійкого снігового покриву, на їх долю припадає 5% [75]. Зими з

великою кількістю потеплінь характеризуються меншими висотами снігового покриву, ніж у холодні роки. Проте, зазвичай, у теплі зими опадів випадає, як правило, більше. Висота снігового покриву за територією розподіляється нерівномірно та змінюється на протязі зими. У кінці грудня висота снігового покриву в середньому складає 0.10 м. У січні висота снігового покриву дорівнює 0.20 м. У лютому спостерігається незначне його зменшення. До періоду весняного сніготанення висота снігового покриву набуває максимуму, за винятком зим із значним потеплінням. В окремі роки висота снігового покриву може бути значно більше за середні величини (до 0.53 м). Щільність снігового покриву постійно змінюється у часі та просторі й багато у чому залежить від погоди. До моменту сніготанення середня щільність снігу дорівнює $0.20 \text{ г/см}^3 - 0.26 \text{ г/см}^3$, а запаси води у снігу зазвичай максимальні й дорівнюють 0.50 м. Тривалість періоду сніготанення розраховується як кількість днів між датою початку сніготанення та датою сходу стійкого снігового покриву. Цей період в розглядуваних районах дещо розтягнутий у зв'язку з частим поверненням холоду. Тривалість періоду сніготанення залежить від товщі та щільності снігового покриву. Середня тривалість періоду сніготанення 16 – 20 діб, у роки з теплою весною танення відбувається за 4 – 8 діб, а у роки з тривалою весною сніг сходить на протязі місяцю. Максимальна інтенсивність сніготанення досягає 0.30 м шару снігу за декаду, а за добу може досягнути 0.10 – 0.13 см [75].

1.3 Ґрунти та рослинність

Згідно із ґрунтово-геологічним районуванням за М. Полупановим [34] у межах розглядуваної території знаходиться лісостепова зона опідзолених, вилужених і типових чорноземів. На цих чорноземах розміщується 70 – 80% сільськогосподарських угідь. У середній та нижній течії річок орні землі

становлять 86 – 90%. Частка багаторічних насаджень у загальній площі сільгоспугідь складає 1 – 2%, сіножаті 5.1 – 7.5%, пасовища 11 – 15% у верхній течії та 5 – 10% у нижній течії річок. Чорноземи сформувалися на відкладах лесового комплексу в сприятливих кліматичних умовах (достатньо теплих та зволжених) й відрізняються підвищеним вмістом гумусу. У верхній течії вміст гумусу становить 2 – 3%, у нижній – 3 – 4%. Ерозією охоплено 15 – 20% від орних земель. Показник стійкості ґрунтів (СГ) показує, що екологічна стійкість у басейнах цих річок знижена, а значення СГ змінюються від 0.6 до 1 у верхній течії річок до 0.4 – 0.6 у нижній течії річок. Стійкість ґрунтів залежить від суми активних температур, яка постійно зростає через потепління, від крутизни схилів, їх кам'янистості та механічного складу, вмісту гумусу, водного режиму території, реакції рН, лісистості, розораності, рівня господарської діяльності. Ранжування в балах суми кожного і-го показника цих характеристик за їх максимальною інтенсивністю (І) дозволяє оцінити стійкість ґрунту за формулою Б.І. Кочурова [35].

Лісистість розглянутих водозборів зменшується від витoku до гирла. У верхній частині водозборів вона досягає 15 - 20%, а у нижній течії – 5 – 10%. Серед хвойних порід дерев переважає сосна звичайна, серед широколистяних порід - граб звичайний та черешні лісові [12].

За лісогосподарським районуванням території України, схема якого була розроблена ще у 1975 році, водозбори річок Псел та Ворскла знаходяться у Лісостеповій Лівобережній області.

За торфово-болотним районуванням водозбори належать Лісостеповому Лівобережному району із середньою заболоченістю, що становить 3,2% та заторфованістю, яка змінюється у межах 2 – 3% [93].

Заболоченість російської частини водозборів дещо менша і складає 1%. Значна частина боліт зв'язана з долинами річок. Розміри окремих болотних масивів різні. Середня глибина торф'яних покладів 1.5 – 2 м, максимальна досягає 10 – 13 м. Переважає середнє та добре розкладений торф (ступінь

розкладання 25 – 60%). Рідше зустрічається торф, який слабо розклався (з ступенем розкладання 5 – 20%). До складу боліт входять три класи: евтрофні (низинні), мезотрофні (перехідні) та оліготрофні (верхові) болота.

Евтрофні болота знаходяться у заплавах річок, рідше знаходяться на вододілах. Дуже часто вони займають значні частини заплав чи тільки їх притерасні частини, де зустрічаються у комплексі із заболоченими луками. Трав'яні болота розвиваються в умовах сильного зволоження проточними водами, та, як правило, підлягають дії алювіальних або делювіальних відкладень. У їхньому рослинному покриві переважають групи осоки здутої, осоки стрункої, осоки островидної, осоки пузирчастої, очерету, манника водного, хвоща топ'яного, вахти болотної та інше.

Зустрічаються яружно-балочні болота з наявністю делювіальних наносів до 1 м та більше. Дуже рідкі болота на пісчаній терасі у міжделювіальних котловинах. Площа окремих масивів зазвичай невелика. Середня глибина торфу дорівнює 1.6 м, найбільша – 4.5 м. Опідзоленість торфу становить 25%. Вона є дещо високою у зв'язку із знаходженням у торф'яній товщі прошарків делювіального і алювіального походження.

1.4. Гідробіологічні показники якості вод

Фітопланктон є сукупністю найпростіших рослин, що вільно плавають у товщі води [62]. Перш за все, це одноклітинні мікроскопічні водорості — представники відділів Cyanophyta, Bacillariophyta, Dinophyta та Chlorophyta. Представники фітопланктону є найголовнішими продуцентами у водоймі. Вони асимілюють сонячну радіацію та перетворюють її в органічну речовину в процесі фотосинтезу. Від розвитку фітопланктону залежить продуктивність водойми в цілому. За показниками видового багатства та первинної продукції фітопланктону оцінюється якість води у водоймі та рівень її евтрофікації.

При масовому розвитку певних водоростей можуть спостерігатись так звані «цвітіння». Наприклад, види роду *Anabaena* (Cyanophyta) при своєму масовому розвитку викликають загибель риби.

За індексом сапробності (показником насичення води органічними речовинами та продуктами їх розпаду), які для річок Псел та Ворскла становлять 2.12 та 1.84, відповідно, якість води за індикаторними видами фітопланктону характеризується як бета – мезосапробна «помірно насичена органічними речовинами» [29].

Зоопланктон є частиною планктону, представленого тваринними організмами, які пасивно переносяться течіями. До зоопланктону відносяться одноклітинні організми, дрібні ракоподібні, личинкові стадії тварин. Ці організми живляться фітопланктоном або дрібнішими представниками зоопланктону. У течії річки Псел найбільшу частку в чисельності зоопланктону складають веслоногі ракоподібні, що пояснюється впливом водосховищ. В напівпроточних ділянках за чисельністю домінують гіллястовусі, а в заплавних озерах, як правило, коловертки. Основу чисельності зоопланктону Ворскли складають веслоногі ракоподібні або коловертки [30].

Бентос являє собою сукупність організмів, що мешкають на дні водойм. Поділяється на фітобентос (водорості, квіткові рослини) і зообентос (донні тварини). До його складу входять організми різних трофічних груп: продуценти (водорості, квіткові рослини, хвощі); детритофаги, що споживають рештки відмерлих тварин та рослин; хижаки, що споживають менших тварин; редуценти, що беруть участь в розкладенні детриту до мінеральних речовин.

Для прісноводного бентосу звичайні діатомові водорості, личинки одноденок, волохокрильців і хірономід, олігохети, перловиці, ракоподібні та різні види двостулкових молюсків. Бентос бере участь у формуванні відкладень органічних речовин на дні водойм — сапропелю. На різних ґрунтах склад бентосу може сильно відрізнятись. Збіднення бентосної фауни

свідчить про несприятливий екологічний стан річок. На території р. Псел таким місцем є місто Суми. Характер бентосних спільнот відрізняється на зарегульованих та незарегульованих ділянках. На зарегульованих ділянках ґрунти відрізняються значним замуленням, має місце замулений пісок, мули і детрит, спостерігається відмерла рослинність і скупчення нитчастих водоростей. Знахідки рівноногих ракоподібних і легеневих молюсків на тлі збідненого комплексу бентосних видів свідчать про несприятливий кисневий режим ділянок, стік на яких регулюється. Річка Ворскла, яка зарегульована в меншій мірі ніж р. Псел, має більш різноманітний бентос. Більш збагачені біотопи характерні для ділянок річки зі швидкістю течії 0.1 – 0.3 м/с, піщано-мулистими ґрунтами. Найбільш бідні біотопи мулів знаходяться на ділянках з дуже повільною течією.

1.5 Гідрографічна характеристика

Річкова мережа розглядуваних річок помірно розвинута, середня щільність становить 0.27 км/км² для р. Псел та 0.21 км/км² - для р. Ворскла [10].

Загальна кількість річок у межах водозбору р. Псел становить 1730, р. Ворскла – 711. Кількість малих річок дорівнює 1330 та 545, відповідно. Довжиною річок менше за 10 км характеризується 1251 річка з водозбору р. Псел та 492 річки з водозбору Ворскли (Додаток А, табл.А.1). Сумарна довжина малих річок становить 3885 км та 2389 км, відповідно.

Всі ці річки відносяться до річок розчленованих підвищених рівнин. Кожна з них має водозбір, покитий мережею балок і ярів. Долини річок по більшості широкі, з повільними схилами, верхів'я тимчасових водотоків відносяться до яружного типу [90].

Річка Псел має асиметричну долину: лівий берег пологий, із заплавою, невисокими і широкими надзаплавними терасами; правий - високий і крутий. Найвища відмітка становить 217 м над рівнем моря. Витік річки знаходиться в Росії на межі Курської та Білгородської областей біля села Пагорби. Свій початок річка бере на західних схилах Середньоруської височини. Долина річки у верхній частині (до м. Суми) вузька, глибока, з крутими схилами. Нижче її ширина у середньому становить 10-15 км, досягаючи 20 км в пониззі. Заплава є асиметричною; її правий берег високий (30-70 м), лівий - пологий [7]. Старе річище було розчленовано протоками, в середній та нижній течії річка місцями заболочена. Течія спокійна, її швидкість у середньому наближається до 2 км/г. Ухил річки становить 0.23 м/км. Русло є сильно звивистим, шириною до 30-100 м. Глибина річки досягає 2-4 метрів, багато сомових ям. Водночас у верхній та середній течії часто зустрічаються мілководні ділянки. Дно піщане, на розливах мулисте. Уздовж річки розташовані численні піщані пляжі.

Витік річки Ворскла знаходиться на західних схилах Середньоруської височини біля села Покровка (Івнянського району Белгородської області, Росія). По території України річка тече в межах Сумської та Полтавської областей по Придніпровській низовині і впадає в Дніпро (Дніпродзержинське водосховище) на відстані 514 км від гирла останнього біля села Світлогірське (Кобеляцький район Полтавської області, Україна).

Долина річки Ворскла трапецієвидна, шириною до 10-12 км. Заплава є асиметричною; правий берег високий - місцями до 80 м, крутий майже на всьому протязі, лівий - пологий, місцями заболочений. Течія спокійна, швидкість місцями сягає 2 км/г. Ухил річки – 0.3 м/км. Русло у верхній і середній течії дуже звивисте, шириною 35-50 м, в нижній течії русло випрямляється, ширина річки сягає 100-150 м. Глибина змінюється у межах 2-4 м, в той же час в верхній і середній течії часто зустрічаються мілководні ділянки. Дно піщане, на розливах мулисте. Численні піщані пляжі.

Озера та запруды на річках Псел та Ворскла розташовані на території водозборів не рівномірно. Більшість запруд мають невеликі площі (табл.1.2). Озера, які розташовані на території водозборів річок знаходяться у безпосередній близькості від їх русел.

Таблиця 1.2

**Загальні дані про кількість і площу озер та запруд у басейнах річок
Псел та Ворскла**

Басейн річки	Озера		Запруды	
	Кількість	Загальна площа, км ²	Кількість	Загальна площа, км ²
Псел	745	15,4	464	25,6
Ворскла	451	22,8	235	10,4

Розмір та форма озер різні. Більшість з них мають невелику ширину та витягнуті у довжину. Глибина водойм влітку зазвичай становить 3 – 5 м, мінімальна – 0.5 м та максимальна – 12.5 м. Більша кількість озер замулена, дно інших водойм - піщане. Береги чи круті, чи похилі, вкриті трав'яною, чагарниковою та рідше деревною рослинністю. Іноді береги піщані, оголені. Більша частина озер відноситься до замкнутих водойм та сполучається з річкою лише під час паводків, менша частина має постійне сполучення з річкою чи іншими водоймищами.

Більшість запруд мають невеликі площі. Невеликі запруды площею у декілька гектарів споруджені на сухих балках, у ярах чи у верхів'ях річок. Більш значущі запруды площею у десятки та сотні гектарів розташовані каскадом по 2 – 3 запруды. Площа таких каскадів може досягати до 8 км² та більше, складатися з великих запруд площею 1 – 7 км² кожна.

Більша частина великих запруд розглянутої території є водоймами, які наповняються виключно поверхневими, талими та дощовими водами. У період весняного водопілля розміри запруд збільшуються, улітку запруди пересихають та міліють, але повністю. Невеликі та мілкі запруди характеризуються площею дзеркала в декілька гектарів та глибиною 0.5 – 1.0 м, живляться як поверхневими, так і підземними водами, улітку значно міліють унаслідок великих втрат на випаровування, частково висихають, а іноді повністю пересихають. Значна кількість запруд замулюється та заростає водною рослинністю.

1.6 Підземні води та карст

Вся досліджувана територія знаходиться у межах Дніпровсько – Донецького артезіанського басейну, що має потужну товщу осадових відкладів, у яких зосереджено кілька водоносних горизонтів [14; 69; 79]. У цьому артезіанському басейні зосереджена майже половина всіх експлуатаційних запасів підземних вод України. Водоносними горизонтами підземних вод в області є водонасичені шари осадових пухких порід (переважно пісків) неогенового і палеогенового віку та біла крейда й піски крейдового віку. Міжпластові води розкриваються за допомогою артезіанських свердловин для централізованого водопостачання населення у містах та селах, а також для водопостачання промислових та сільськогосподарських підприємств.

Гідрогеологічні умови характеризують здатність підземного басейну річок до акумуляції та подальшого спрацювання запасів води. Підземні води є постійним джерелом живлення річок, визначаючи у маловодні періоди їхній режим стоку. Підземний стік у річці залежить від кількості водоносних горизонтів, що беруть участь у живленні річки, їхньої водомісткості та

водовіддачі. Кількість водоносних горизонтів, що прорізаються річкою, визначається глибиною врізання її русла у підстильну поверхню. Як вже зазначалось, підземні води можуть бути практично безнапірними та напірними (артезіанськими). Останні виклинюються у русло річки зазвичай лише на окремих ділянках у вигляді джерел із значним дебітом, проте для середніх річок напірне живлення становить незначну частину у формуванні меженного стоку.

Верхня течія річок Псел та Ворскла знаходиться у крейдіано-мергельній товщі верхньої крейди. Середня течія відноситься до району з розвитком соляного карсту.

Породи верхньої крейди широко розповсюджені та представлені білими та світло-сірими видами крейди і є щільними й тріщинуватими. Карстові явища сприяють дренажу території. Питання про вплив крейדיаних порід на втрати і перерозподіл поверхневого стоку не достатньо вивчені і існують лише припущення про розподіл зон поглинання та розвантаження карстових порід.

У кристалічному фундаменті установлена наявність соленосних товщ. Соляні ядра розташовані на різних глибинах і в окремих випадках виходять на денну поверхню, де підлягають вилуговуванню річковим стоком та атмосферними опадами. Соляні купола, які залягають поблизу поверхні, мало поширюються по горизонталі, тому інфільтраційні води не викликали розвитку глибинного карсту. Проте соляні купола можуть впливати на засолення і підвищення мінералізації ґрунтових вод [75].

1.7 Гідрологічна вивченість

Загальна кількість гідрологічних постів на річці Псел - 12, а на річці Ворскла – 9 (Додаток Б, табл.Б.1). До водозборів з площею менше 100 км²

відноситься лише 1 (р. Ворскла –с. Яковлеве). Кількість водозборів із різною площею водозборів в басейнах річок Псел та Ворскла наводиться в табл.1.3.

Таблиця 1.3

Розподіл водозборів за площею

Річка	Загальна кількість	Діапазон площ, км ²						
		$0 < F \leq 10$	$10 < F \leq 100$	$100 < F \leq 1000$	$1000 < F \leq 2000$	$2000 < F \leq 5000$	$5000 < F \leq 10000$	$F > 10000$
Псел	12	-	-	4 (33%)	2 (17%)	1 (8%)	2 (17%)	3 (25%)
Ворскла	9	-	1 (11%)	2 (22%)	3 (34%)	-	2 (22%)	1 (11%)

Значна частина створів спостережень знаходиться у межах Російської Федерації, гідрологічна інформація по яких відсутня, починаючи з 1980 року. На території України кількість гідрологічних постів скоротилася у останні десятиріччя. До закритих на сьогодні гідрологічних постів відносяться р. Псел - с. Яреськи, р. Ворскла – с. Березівка, р. Ворскла – м. Полтава. Станом на 2013 рік дані по стоку р. Ворскла існують лише для створів с. Чернеччина, м. Кобеляки та для притоки р. Мерла – м. Богодухів. На річці Псел ведуться гідрологічні спостереження у створах м. Суми, м. Гадяч та с. Запсілля, а також у створах приток - р. Говтва - с. Михнівка та р. Хорол – м. Миргород. Карта – схема діючих та закритих постів наведена на рис. 1.2. Середня висота водозборів коливається у межах 160-220 м, лісистість змінюється від 2 до 12 %, найбільші значення заболоченості не перевищують 3% (табл. 1.4).



Ри.1.2. Карта-схема розташування гідрологічних постів
1 – границя між Україною та Російською Федерацією

1.8 Господарська діяльність

Водозбори річок Псел та Ворскла знаходяться у Східному районі нафтогазоносної провінції, яка ще має назву Дніпровсько-Донецької нафтогазоносної області [34]. Ця область пов'язана з верхньопалеозойськими (меншою мірою – з мезозойськими) осадовими відкладами Дніпровсько-Донецької западини. Вона поширюється на території Сумської, Полтавської областей. Нафта і газ тут розташовані переважно на глибинах 3.0 – 3.5 км, хоч окремі родовища на Сумщині залягають вже на глибинах 80 – 110 м, а на Радченківській площі (Полтавська обл.) сировина вуглеводню зустрічається навіть на глибині 15 – 20 м від поверхні.

Основні гідрографічні характеристики річок Псел та Ворскла

№ п/п	Річка - пост	Відстань від витоку, км	Середній похил, ‰	Площа водозбору, км ²	Середня висота водозбору, м	Середній похил водозбору, ‰	Заболоченість, %	Лісистість, %	Розораність, %
1	Псел - Обоянь	59	1.2	1100	220	-	2	4	70
2	Псел-Крупець	162	0.5	4700	200	-	2	4	-
3	Псел-Суми	272	0.4	7770	190	-	1	6	-
4	Псел-Гадяч	414	0.3	11300	180	-	1	9	-
5	Псел-Запсілля	702	0.2	21800	160	-	3	8	-
6	Хорол-Петрівка Роменська	86	0.7	722	160	24	<1	2	60
7	Хорол-Миргород	171	0.4	1740	130	-	1	5	60
8	Говтва-Михнівка	89	1.0	1560	140	-	2	2	60
9	Ворскла- Яковлеве	8,5	2.6	56	220	52	2	4	60
10	Ворскла- Чернеччина	209	0.5	5790	170	-	1	9	-
11	Ворскла- Кобеляки	417	0.3	13500	140	-	3	10	-
12	Мерло-Богодухів	31	3.2	309	180	43	<1	10	60
13	Ворсклиця - Березівка	91	0.7	1460	170	-	<1	12	-

Геологічні умови дозволяють вести пошукові бурові роботи по добичі нафти та газу на глибинах 3.5 – 5.0 км. Вже у середині 80-х років минулого

сторіччя [66] тут було розвідано 56 нафтогазоносних площ, на яких відкрито 50 родовищ нафти (серед них виділяють нафтогазоносні родовища у Полтавській і Сумській областях). Найбільшим за розмірами запасів нафти та газу є Машівське родовище Полтавщини (Додаток В, табл. В.1). Сьогодні головною проблемою у Східному нафтогазоносному районі залишається обмеженість виявлених запасів сировини, хоч за цим показником, як і за рівнем сучасного видобутку нафти і газу, район займає провідні позиції у державі (досить згадати, що станом на 1996 р. одна лише Сумська область давала майже половину загальнодержавного видобутку нафти).

Слід згадати, що досліджувані річки беруть початок у межах Курської магнітної аномалії, де відбувається добича залізної руди. Найзначніше родовище залізної руди за назвою «Яківлевське» знаходиться у басейні р. Ворскла на території Російської Федерації. Окрім того, у нижній течії цієї ж річки знаходиться Кременчуцьке залізрудне родовище (Кривбас), там же добуваються і марганцеві руди. Марганець є другим за значенням після заліза чорним металом, що у сплавах із залізом та кремнієм використовується для виробництва сталі.

Під водокористуванням слід розуміти використання водних об'єктів з метою задоволення потреб населення, промисловості, сільського господарства, транспорту та інших галузей виробництва, включаючи право на забір води, скидання стічних вод та інше [89]. Стічна вода є водою, що утворилася в процесі господарсько-побутової та виробничої діяльності (окрім шахтних, кар'єрних та дренажних вод), а також вода відведена із забудованих територій, де вона утворилася внаслідок випадання атмосферних опадів.

За обсягами водокористування у басейнах досліджуваних річок головне місце займає промисловість, на яку припадає 45% загального водоспоживання. Майже 83% усієї забраної води в промисловості використовує енергетика, чорна металургія та хімічна промисловість, які є найбільш водомісткими галузями (Додаток Д, табл. Д.1). Промислові

технологічні процеси потребують великої кількості прісної води. У сільському господарстві використовується до 40% загального водоспоживання, а на комунальні потреби спрямовується близько 10%. Наприклад, за даними 2001 року найбільший об'єм вилучення води припадав на промислове об'єднання "Хімпром". Значна кількість скидних вод надходить до русел річок недостатньо очищеними (Додаток Д, табл. Д.2).

Істотне значення в системі водопостачання та водовикористання мають також водосховища і ставки. На території досліджуваних водозборів знаходиться значна кількість штучних водойм (табл.1.5). Загальна кількість водойм на водозборі р. Псел становить 686, на водозборі р.Ворскла -703. Загальний об'єм водосховищ та ставків сягає 13% від середньої багаторічної величини стоку для кожного з водозборів. За кількістю та об'ємом водосховищ річка Псел є у більшій мірі зарегульованою ніж Ворскла.

1.9 Оцінка екологічного стану за рівнем використання вод у транскордонній зоні Росія - Україна

Річки Псел та Ворскла знаходяться у транскордонній зоні Росія – Україна. Верхня частина р. Псел знаходиться у межах Курської області Росії, р. Ворскла – Білгородської. Загальна кількість гідрологічних постів, які знаходяться на водозборі р. Псел, дорівнює 12, з них у межах Росії – 2. З 9 гідрологічних постів, діючих у межах водозбору р. Ворскла, на території Росії знаходяться 3.

Відомості про водосховища і ставки

Басейн річки	Площа водозбору, км ²	Водосховища				Ставки		
		кількість	Площа водного дзеркала, тис. га	об'єм, млн. м ³		кількість	Площа водного дзеркала, тис. га	об'єм, млн. м ³
				загальний	корисний			
Псел	16270	41	4.62	105	79.8	645	5.54	97.2
у т.ч. Грунь	1090	2	0.10	2.76	2.48	61	0.51	6.81
Грунь-Ташань	1870	2	0.19	3.60	1.50	108	0.51	9.20
Хорол	3870	8	1.00	26.4	22.5	244	1.60	24.7
Говтва	1680	3	0.30	6.21	5.23	120	0.50	7.90
Ворскла	12590	29	2.69	64.0	56.2	674	4.53	57.5
у т.ч. Ворсклиця	1480	1	0.05	1.70	1.50	36	0.18	4.39
Мерла	2030	4	0.71	19.4	18.2	108	0.90	10.1
Коломак	1650	5	0.28	7.42	5.98	64	0.46	6.04

Відстань за довжиною річки Псел між ближчими водозборами, розташованими на обох сторонах межі, дорівнює 108 км, а на р. Ворскла – 93 км. При переході з території Росії до України площа водозбору збільшується у 1.6 рази для р. Псел та в 3.9 рази – для р. Ворскла. Об'єм річного стоку зростає у 1.56 раз для р. Псел та у 2.9 раз – для р. Ворскла.

За даними звіту міжнародної програми «Экологическое оздоровление Днепра», яка розпочалася у 1995 році, основну частину хімічних речовин, які

переносяться через границю між державами, складають сульфати, хлориди, азот мінеральний, фосфор та залізо (табл.1.6).

Таблиця 1.6

Перенос забруднюючих речовин через межу Росія - Україна (т/рік)

Показники	Псел	Ворскла
Зважені речовини	8168	2556
Сульфати	47142	16004
Хлориди	20962	15192
ХСК	12446	2820
БСК ₅	1459	445.5
Нафтопродукти	30,87	14.50
Феноли	0,774	0.510
СПАР	49,62	4.535
Азот мін.	604,1	188.8
Фосфор загальний	267,7	62.74
Залізо загальне	95,89	54.82
Мідь	2,506	0.486
Цинк	11,73	1.376
Cr ⁶⁺	1,122	0.200

Установлено [91], що води річок Псел та Ворскла використовуються для господарсько – питного водопостачання. Цей вид споживання води на території України у 7 разів перевищує об’єми споживання на території Росії (табл. 1.7; 1.8). Головним споживачем для р. Псел є промисловість.

Використання води

Країна	Господарсько- питне водопостачання, (млн. м ³)	Підприємство , (млн. м ³)	Зрошення, (млн. м ³)	Сільськогосподарсь ке водопостачання, (млн. м ³)
р. Псел				
Росія	5.16	2.01	-	4.61
Україна	35.30	22.50	0.319	13.34
р. Ворскла				
Росія	3.12	2.9	-	2.26
Україна	34.68	9.47	-	7.268

Таблиця 1.8

Скид стічної води до поверхневих водотоків

Країна	Усього, (млн. м ³)	Забруднені води, (млн. м ³)	Очищена за нормативами вода, (млн. м ³)
р. Псел			
Росія	14.55	0.02	0.88
Україна	74.54	7.449	57.50
р. Ворскла			
Росія	12.64	0.67	-
Україна	33.98	2.941	30.74

На території Росії використана вода скидається у поверхневі водотоки майже неочищеною (табл.1.7). На території України очищається 77% скидної води, для р. Псел та приблизно 90% - для р. Ворскла. Значна кількість води

скидається до р. Псел промисловим об'єднанням «Химпром», яке розташоване у м. Суми. На річці Ворскла головним споживачем води є підприємства нафтогазовидобувної промисловості (м. Ахтирка) [63]. Місто Полтава, яке є обласним центром, має ще більший антропогенний вплив на екологічний стан річок: тверді відходи промислових підприємств складають 122 млн. т за рік[3].

На території Росії у поймі р. Ворскла розташоване шламосховище гірничорудної промисловості з площею 14 км², яке забруднює навколишню територію, викликає засолення та заболочування прилеглих земель, сприяє надходженню забруднюючих речовин до алювіального водоносного горизонту, який безпосередньо зв'язаний з р. Дніпро. У межах Полтавської області запроваджено 366 полігонів для складування побутових відходів.

На основі даних про використання водних ресурсів був визначений ступінь антропогенного впливу на водні об'єкти за показниками антропогенного навантаження для російської і української частин водозборів річок Псел та Ворскла.

Основні інформаційні характеристики формування екологічного стану річок є величини споживання та скиду води (табл. 1.9), а також величини стоку, які перетворюються у кількісні показники, названі характеристиками антропогенного навантаження [90]:

а) показник використання стоку річки (g_{pc} , %):

$$g_{pc} = \frac{W_3 + W_e}{W_\phi + W_c} 100\% ; \quad (1.1)$$

б) показник безповоротного водовикористання (g_{bc} , %):

$$g_{bc} = \frac{W_3 + W_e + W_c}{W_\phi} 100\% ; \quad (1.2)$$

Відомості про використання водних ресурсів

Види використання	Об'єми використаних вод, млн. м ³			
	Росія		Україна	
	р. Псел	р. Ворскла	р. Псел	р. Ворскла
Об'єм води, який забирається з річки (W _з)	26.01	21.25	88.09	61.93
Об'єм втрат річкового стоку за рахунок забору підземних вод (W _в)	12.04	10.2	67.06	52.65
Фактичний об'єм річкового стоку річки (W _ф)	492	171	1600	1020
Об'єм скиду води у річкову систему (W _с)	14.55	12.67	74.54	33.98
Об'єм скиду забрудненої води у річкову систему (W _{зв})	0.02	0.67	7.44	2.94

в) показник надходження стічних вод до річної системи (g_{нс}, %):

$$g_{нс} = \frac{W_c}{W_\phi} 100\%; \quad (1.3)$$

г) показник скиду забрудненої води до річки ($g_{сб}$, %):

$$g_{сб} = \frac{W_{зв}}{W_{ф}} 100\%, \quad (1.4)$$

де $W_з$ – об'єм води, яка забирається з річки (млн. м³);

$W_в$ – об'єм витрат річного стоку завдяки відбору підземних вод, які гідравлічно зв'язані з річковою системою (млн. м³);

$W_{ф}$ – фактичний об'єм стоку річки (млн. м³);

$W_с$ – об'єм скиду води до річної системи (млн. м³);

$W_{зв}$ – об'єм скиду забрудненої води (млн. м³).

Розглянуті первинні показники(g_i) трансформують у прості оціночні бали за допомогою спеціальної шкали (табл. 1.10) та на їх основі вираховується складний бал використання водних ресурсів [90]:

$$K_{pc} = \sum_{i=1}^n f_i I_i \quad (1.5)$$

де K_{pc} – комплексний показник використання водних ресурсів;

f_i – ваговий коефіцієнт, який відображає внесок того чи іншого виду використання водних ресурсів на екологічний стан річки;

I_i – значення окремих показників використання водних ресурсів стоку річок.

За окремими характеристиками річки, розраховується комплексний показник, потім за шкалою складних балів установлюється стан використання її водних ресурсів (табл. 1.11).

**Шкала критеріїв оцінки стану річки за ступенем використання її
водних ресурсів [92]**

Показник	Градації простих балів				
	1	2	3	4	5
Використання стоку річки (g_{pc})	>20	20-16	15-11	10-6	<6
Безповоротного водоспоживання (g_{bc})	>25	25-20	19-15	14-10	<10
Надходження стічних вод у річкову мережу (g_{nc})	>75	75-50	49-16	15-6	<6
Скиду забруднених вод (g_{cb})	>10	10-6	5-3	2-1	<1
Оцінка в балах (прості бали)	-5	-3	-1	1	3
Якісна характеристика стану	а)	б)	в)	г)	д)

Таблиця 1.11

**Шкала комплексної оцінки стану використання водних ресурсів
річок[92]**

Характеристика	Клас стану використання				
	1	2	3	4	5
Градації комплексного показника	> 2.2	2.2 - 0.8	0.8 – (-2.2)	(-2.2) – (-3.2)	<-3.2
Якісна характеристика стану використання водних ресурсів	д)	г)	в)	б)	а)

Примітка: якісна характеристика стану використання водних ресурсів у таблицях 1.10 та 1.11 визначається таким чином: а) – катастрофічний, б) – дуже незадовільний, в) – незадовільний, г) – задовільний, д) – добрий.

У відповідності до виразів (1.1 – 1.4), були оцінені показники антропогенного навантаження для російської та української частин водозборів за даними для багаторічного періоду.

На основі показників антропогенного навантаження виконана оцінка показників екологічного стану річок Псел і Ворскла. При цьому ступінь впливу антропогенного навантаження розраховувався з використанням інформації про водокористування та стік річок з російської та української частин водозборів.

Для оцінки екологічного стану р. Псел використовувалися дані про водність річки, засновані на вимірі стоку в створах: р. Псел - с. Крупець, р. Псел - м. Суми, р. Псел - с. Запсілля.

Екологічний стан р. Псел в створі с. Крупець (Росія) оцінюється як задовільний та добрий (табл.1.12).

Таблиця 1.12

Оцінка екологічного стану р. Псел - в створі с. Крупець на основі характеристик антропогенного навантаження

Характеристика використання водних ресурсів	Кількісна та якісна характеристика стану			Зважені коефіцієнти f_i
	g_i , %	Y_i , бали	стан	
Використання стоку	7.5	1	задовільний	0.1
Безповоротне водоспоживання	4.78	3	добрий	0.2
Надходження стічних вод	2.95	3	добрий	0.3
Скидання забруднених вод	0.004	3	добрий	0.4

Надалі за рахунок збільшення водності від с. Крупець до м. Суми екологічний стан р. Псел поліпшується (табл.1.13). Однак антропогенне навантаження на території України продовжує зростати за рахунок скидання стічних вод (табл.1.14). Збільшення припливу води в міру зростання водозбірної площі уповільнює процес забруднення та екологічний стан річки залишається «переважно добрим».

Таблиця 1.13

**Оцінка екологічного стану р. Псел - в створі м. Суми на основі
характеристик антропогенного навантаження**

Характеристика використання водних ресурсів	Кількісна та якісна характеристика стану			Зважені коефіцієнти f_i
	g_i , %	Y_i , бали	стан	
Використання стоку	4.86	3	добрий	0.1
Безповоротне водоспоживання	3.5	3	добрий	0.2
Надходження стічних вод	1.89	3	добрий	0.3
Скидання забруднених вод	0.003	3	добрий	0.4

Для оцінки екологічного стану р. Ворскла використовувалися дані про водність річки, які були засновані на вимірі стоку у створах: р. Ворскла - с. Козинка, р. Ворскла - с. Чернеччина, р. Ворскла - м. Кобеляки.

Екологічний стан р. Ворскла, який визначався за кількісними показниками антропогенного навантаження, виявився значно гіршим ніж для р. Псел. Найбільшим за величиною є показник використання стоку ріки $g_{рс}$, який для російської частини водозбору р. Ворскла приймає найбільше

значення - 17,2%. На відміну від р. Псел значний об'єм скидних вод надходить до річки Ворскла неочищеним (особливо в російській частині водозбору).

Таблиця 1.14

**Оцінка екологічного стану р. Псел - в створі с. Запсілля на основі
характеристик антропогенного навантаження**

Характеристика використання водних ресурсів	Кількісна та якісна характеристика стану			Зважені коефіцієнти f_i
	$g_i, \%$	Y_i , бали	стан	
Використання стоку	7,42	1	задовільний	0,1
Безповоротне водоспоживання	3,85	3	добрий	0,2
Надходження стічних вод	3,56	3	добрий	0,3
Скидання забруднених вод	0,36	3	добрий	0,4

Екологічний стан р. Ворскла в створі с. Козинка (Росія) оцінюється як «дуже незадовільний» та «задовільний» (табл.1.15). Надалі за рахунок збільшення водності від с. Козинка до с. Чернеччина екологічний стан р. Ворскла поліпшується (табл.1.16). На території України стан річки стає «переважно добрим» (табл.1.17).

**Оцінка екологічного стану р. Ворскла - в створі с. Козинка на основі
характеристик антропогенного навантаження**

Характеристика використання водних ресурсів	Кількісна та якісна характеристика стану			Зважені коефіцієнти f_i
	g_i , %	Y_i , бали	стан	
Використання стоку	17,12	-3	дуже незадовільний	0,1
Безповоротне водоспоживання	10,98	1	задовільний	0,2
Надходження стічних вод	7,41	1	задовільний	0,3
Скидання забруднених вод	0,39	3	добрий	0,4

Таблиця 1.16

**Оцінка екологічного стану р. Ворскла - в створі с. Чернеччина на основі
характеристик антропогенного навантаження**

Характеристика використання водних ресурсів	Кількісна та якісна характеристика стану			Зважені коефіцієнти f_i
	g_i , %	Y_i , бали	стан	
Використання стоку	9.87	1	задовільний	0.1
Безповоротне водоспоживання	6.14	3	добрий	0.2

Продовження таблиці 1.16

Надходження стічних вод	4.14	3	добрий	0.3
Скидання забруднених вод	0.22	3	добрий	0.4

Таблиця 1.17

**Оцінка екологічного стану р. Ворскла - в створі м. Кобеляки на
основі характеристик антропогенного навантаження**

Характеристика використання водних ресурсів	Кількісна та якісна характеристика стану			Зважені коефіцієнти f_i
	$g_i, \%$	Y_i , бали	стан	
Використання стоку	9.6	1	задовільний	0.1
Безповоротне водоспоживання	6.77	3	добрий	0.2
Надходження стічних вод	2.85	3	добрий	0.3
Скидання забруднених вод	0.25	3	добрий	0.4

Комплексний показник використання стоку річок

K_{pc}	Псел			Ворскла		
	Крупець	Суми	Запсілля	Козинка	Чернечина	Кобеляки
	2,8	3	2,8	1,4	2,8	2,8
Якісна характеристика стану використання водних ресурсів	д) - добрий	д) - добрий	д) - добрий	г) - задовільний	д) - добрий	д) - добрий

Висновки до розділу 1

1. Водозбори розглянутих річок знаходяться у лісостеповій природній зоні і належать до Лівобережно-Дніпровської провінції. За кліматичним районуванням досліджувана територія відноситься до Північної кліматичної області, яка характеризується більш вираженим континентальним кліматом у порівнянні із Правобережжям. Серед ґрунтів переважають опідзолені, вилужені і типові чорноземи. Вся досліджувана територія знаходиться у межах Дніпровсько – Донецького артезіанського басейну, що має потужну товщу осадових відкладів, у яких зосереджена значна кількість водоносних горизонтів. Територія досить добре вивчена у гідрологічному відношенні: кількість водозборів, що охоплені гідрологічним

постам, на обох річках перевищує 65%. Заболоченість водозборів не перевищує 3%, лісистість може досягати 12%.

2. На території досліджуваних водозборів побудована значна кількість штучних водойм, при цьому на р. Псел кількість водосховищ та площа їх водного дзеркала і об'єму переважає відповідні характеристики для р. Ворскла. Водозбори річок знаходяться у промислово - розвинutih районах, де знаходяться центри видобутку та оброблення нафти і нафтопродуктів, Криворізько-Кременчуцький залізорудний басейн. На Російській частині водозборів знаходяться підприємства Курської залізорудної аномалії і відбувається транскордонний переніс забруднюючих речовин від Російської Федерації до України. На основі даних про використання водних ресурсів визначений ступінь антропогенного впливу на водні об'єкти за показниками антропогенного навантаження для російської і української частин водозборів річок Псел та Ворскла. Установлений істотний вплив використання стоку на екологічний стан р. Ворскла в межах російської частини водозбору. Він поліпшується при переході в українську частину водозбору. Екологічний стан р. Псел по довжині річки практично не змінюється, залишаючись «добрим».

РОЗДІЛ 2

ОЦІНКА ЗМІН КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ ТА ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЗА
ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

2.1 Річний стік

Річний стік є інтегральною характеристикою водних ресурсів [92]. За гідрологічним районуванням водозбори річок Псел та Ворскла знаходяться у зоні у Лівобережно-Дніпровській області достатньої водності [27]. Згідно ландшафтно-гідрологічному районуванню В.В. Гребіня [22], розглядувані річки відносяться до Лісостепової недостатньо зволоженої ландшафтно-гідрологічної зони, а саме Лівобережно - Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції. Те, що різні автори по різному характеризують водність річок, свідчить про наявність на розглядуваній території перехідної зони від області достатньої водності до недостатньої. Водний режим річок характеризується вираженим весняним водопіллям і низькою меженню. Суттєво меншими є витрати зимового сезону у порівнянні із витратами літньо - осінньої межени. На сезон весна припадає 65-70% річного стоку. Внесок підземного живлення у середні за водністю роки досягає близько 30%. В.В. Гребінем встановлено, що починаючи з 1989р. роль підземної складової на річках Лівобережно - Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції зросла до 40-50%, а роль весняного водопілля зменшилася. Весняний сезон триває з березня по травень (III-V), літній – з червня по серпень (VI-VIII), осінній – з вересня по листопад (IX-XI), зимовий – з грудня по лютий (XII-II). Стійкий сніговий покрив утворюється у грудні. Скресання річок відбувається у березні та на початку квітня. Весняне водопілля триває з початку березня до середини травня. На літній сезон припадає приблизно 5% річного стоку, на осінній – 7% та на зимовий – 8-10%.

У роботі розглянуті ряди річного стоку тривалістю від початку спостережень до 2010 рр., статистичні параметри яких визначалися за методом моментів [37]. Установлено, що середні багаторічні величини річного стоку \bar{Y} зменшуються з північного сходу на південний захід (табл.2.1). Коефіцієнт варіації C_V річного стоку менший за 0,5. Осереднене у межах досліджуваної території відношення коефіцієнту

Таблиця 2.1

Статистичні параметри річного стоку, розраховані за методом моментів

Річка – пост	n , років	\bar{Y} , мм	$\varepsilon_{\bar{Y}}$, %	C_V	ε_{C_V} , %	C_S	$\frac{C_S}{C_V}$	σ_{C_S / C_V}	$r(1)$	$\sigma_{r(1)}$
р.Псел – м. Суми	61	99	3.71	0.29	9.37	0.22	0.76	1.08	0.19	0.12
р.Псел- м.Гадяч	52	96	4.16	0.30	10.2	0.13	0.45	1.13	0.38	0.12
р.Псел- с.Запсілля	70	76	4.06	0.34	8.87	0.66	2.00	0.86	0.31	0.11
Р.Хорол- м.Миргород	34	68	7.72	0,45	13.0	0,21	0.47	0.93	0.10	0.17
р.Ворскла- с.Чернетчин а	53	86	6.18	0.45	10.4	0.91	2.02	0.75	0.46	0.11
р. Ворскла- с.Кобеляки	40	81	4.90	0.31	11.6	0.21	0.68	1.25	0.54	0.11
р.Мерла- м.Богодухів	51	82	6.02	0.43	10.6	0.64	1.49	0.80	0.18	0.14
Середні значення				0.37		1.12	1.12		0.31	

асиметрії до коефіцієнту варіації $\frac{C_s}{C_v}$ становить 1,1, а коефіцієнт автокореляції $r(1) = 0,31$. Найменш тісний лінійний зв'язок між суміжними членами ряду, який характеризується коефіцієнтом автокореляції $r(1)$, установлений для ряду річного стоку р. Хорол – с. Миргород. Точність визначення середнього багаторічного значення річного стоку та коефіцієнту варіації знаходиться у допустимих межах (для середнього багаторічного значення $\pm 10\%$, для коефіцієнту варіації - $\pm 15\%$). У багатьох створах відношення $\frac{C_s}{C_v}$ та $r(1)$ визначаються з незадовільною точністю, тобто значення цих параметрів є меншими подвоєної похибки його визначення ($A < 2\sigma_A$) [39]

З метою обґрунтування способу узагальнення статистичних параметрів у просторі був застосований метод сумісного аналізу даних за С.М.Крицьким та М.Ф. Менкелем [38]. Сутність методу зводиться до визначення географічної й випадкової складових загальної просторової дисперсії розглядуваного статистичного параметра A :

$$\sigma_{II}^2 = \sigma_I^2 + \sigma_B^2, \quad (2.1)$$

де σ_{II}^2 - повна просторова дисперсія розглядуваного параметра A ; σ_I^2 - географічна складова просторової дисперсії розглядуваного параметра A ; σ_B^2 - випадкова складова просторової дисперсії розглядуваного параметра A .

Повна просторова дисперсія параметра A оцінюється за формулою

$$\sigma_{II}^2 = \frac{\sum_{j=1}^k (A_j - A_{CEP})^2}{k-1}, \quad (2.2)$$

де k - число об'єктів (водозборів), об'єднаних в одну групу; j - порядковий номер розглядуваного об'єкту (водозбору); A_j - індивідуальна оцінка параметра (на окремому j -му водозборі); A_{CEP} - осереднена в межах виділеної групи оцінка параметра A .

Випадкова складова просторової дисперсії параметра визначається як осереднена за групою виділених об'єктів дисперсія індивідуальної оцінки параметра

$$\sigma_B^2 = \frac{\sum_{j=1}^k \sigma_{A_j}^2}{k}, \quad (2.3)$$

де σ_{A_j} - середнє квадратичне відхилення індивідуальної оцінки параметра A_j .

Географічна складова знаходиться зворотним розрахунком з формули (2.1):

$$\sigma_\Gamma^2 = \sigma_\Pi^2 - \sigma_B^2. \quad (2.4)$$

Якщо виконується умова

$$\frac{\sigma_B^2}{\sigma_\Pi^2} > \frac{\sigma_\Gamma^2}{\sigma_\Pi^2}, \quad (2.5)$$

то можна зробити висновок, що просторовий розподіл досліджуваного параметра в більшій мірі визначається випадковими властивостями поєднаних вибірок і в меншій - зміною фізико-географічних умов формування стоку на території. Таким чином, при виконанні умови (2.5) приймається рішення, що вибіркові оцінки параметрів можуть бути осереднені в межах досліджуваної території.

Необхідно підкреслити, що якість об'єднання тим вища, чим менший внесок географічної складової у повну просторову дисперсію параметра. Географічна складова є, власне кажучи, оцінкою статистичної неоднорідності вихідного матеріалу. Якість об'єднання, як правило, визнається високою, коли внесок випадкової складової у просторову дисперсію більше або дорівнює 70%, тобто $\frac{\sigma_B^2}{\sigma_{II}^2} \cdot 100 \geq 70\%$ [37]. Коли похибки оцінок вибірових

параметрів досить великі, географічна складова дисперсії, обчислена зворотним розрахунком за (2.4), може приймати від'ємні значення. У цьому випадку внесок випадкової складової у повну просторову дисперсію параметра може бути прийнятий рівним 100%, а географічної – 0,00%.

Середнє квадратичне відхилення осередненої у просторі оцінки статистичного параметра розраховується за співвідношенням [37]

$$\sigma_{CEP} = \sqrt{\frac{\sigma_B^2}{k} + \sigma_I^2} \quad . \quad (2.6)$$

Величина σ_{CEP} , поряд з умовою (2.5), також є критерієм якості об'єднання. Осереднена оцінка параметра визнається статистично достовірною, коли виконується умова

$$A_{CEP} > 2\sigma_{CEP} \quad . \quad (2.7)$$

Виконані дослідження показали, що середні арифметичні значення річного стоку та коефіцієнт варіації не можуть бути осередненими у межах досліджуваної території, оскільки внесок географічної складової у просторову дисперсію цих параметрів дорівнює або перевищує 70%. При цьому відношення C_S / C_V та коефіцієнт автокореляції можуть бути

районованими, оскільки внесок випадкової складової у повну дисперсію цих параметрів досягає 100% (табл.2.2).

Таблиця 2.2

Результати застосування методу сумісного аналізу до статистичних параметрів річного стоку, які визначаються із малим ступенем достовірності

Статистичний параметр A	Осереднене значення параметру $A_{\text{сер}}$	Внесок випадкової складової у загальну просторову дисперсію, %	Середня квадратична похибка визначення осередненого параметру σ_A
C_S / C_V	1.12	100	0.271
$r(1)$	0.31	100	0.136

Досліджувана територія за характером коливань річного стоку відноситься до східної (Лівобережної) частини України [4].

Аналіз різницевих інтегральних кривих річного стоку (рис.2.1) показав, що коливання стоку на р. Псел та р. Ворскла відбуваються синхронно. З початку 50-х років минулого сторіччя до 1978 р. спостерігалася маловодна фаза, з 1979р. до 1988р. – багатоводна. З 1989р. коливання стоку перейшли у маловодну фазу, яка продовжується у сучасності.

Важливо, що коливання середніх річних температур повітря знаходяться у додатній фазі, починаючи з 1989 року (рис.2.2). Коливання опадів перейшли у зволожену фазу (додатну) ще у 1975 році (рис.2.3). На досліджуваній території у останні десятиріччя у коливаннях кліматичних чинників формування річного стоку виявлені тенденції до зростання середніх річних температур повітря та сумарних опадів (рис.2.4,2.5).

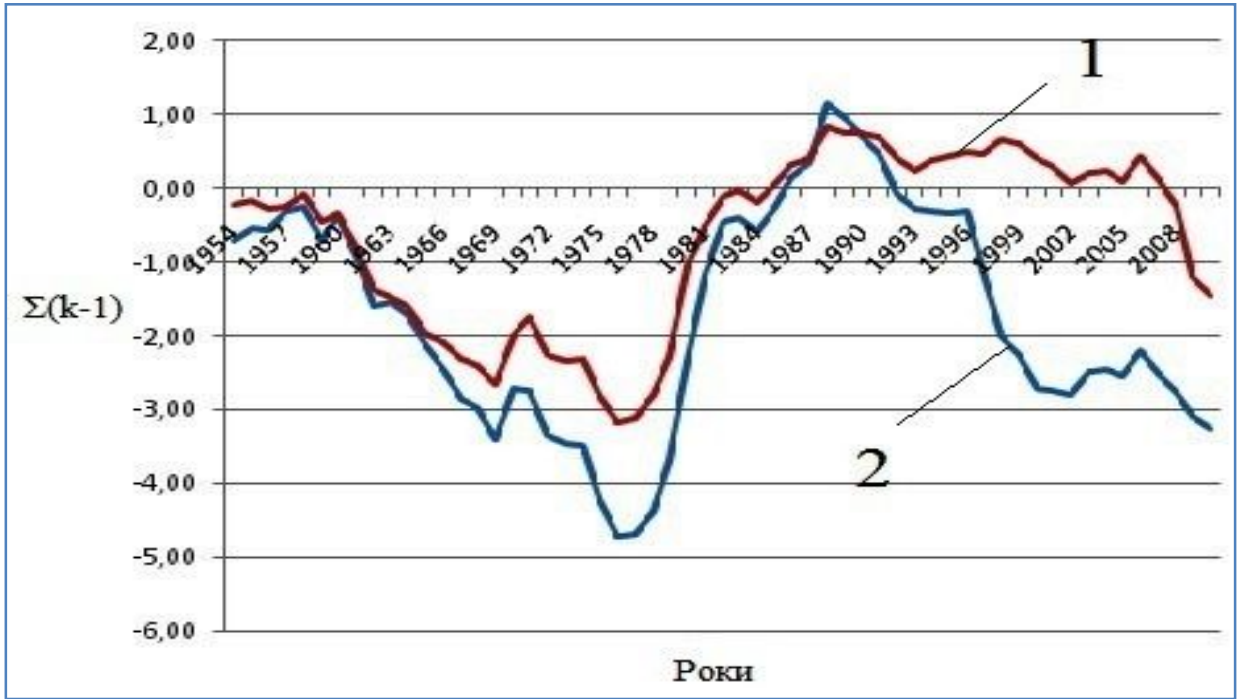


Рис. 2.1. Суміщені різницеві інтегральні криві річного стоку водозборів р. Псел – с. Запсілля (1) та р. Ворскла - с. Чернеччина (2)

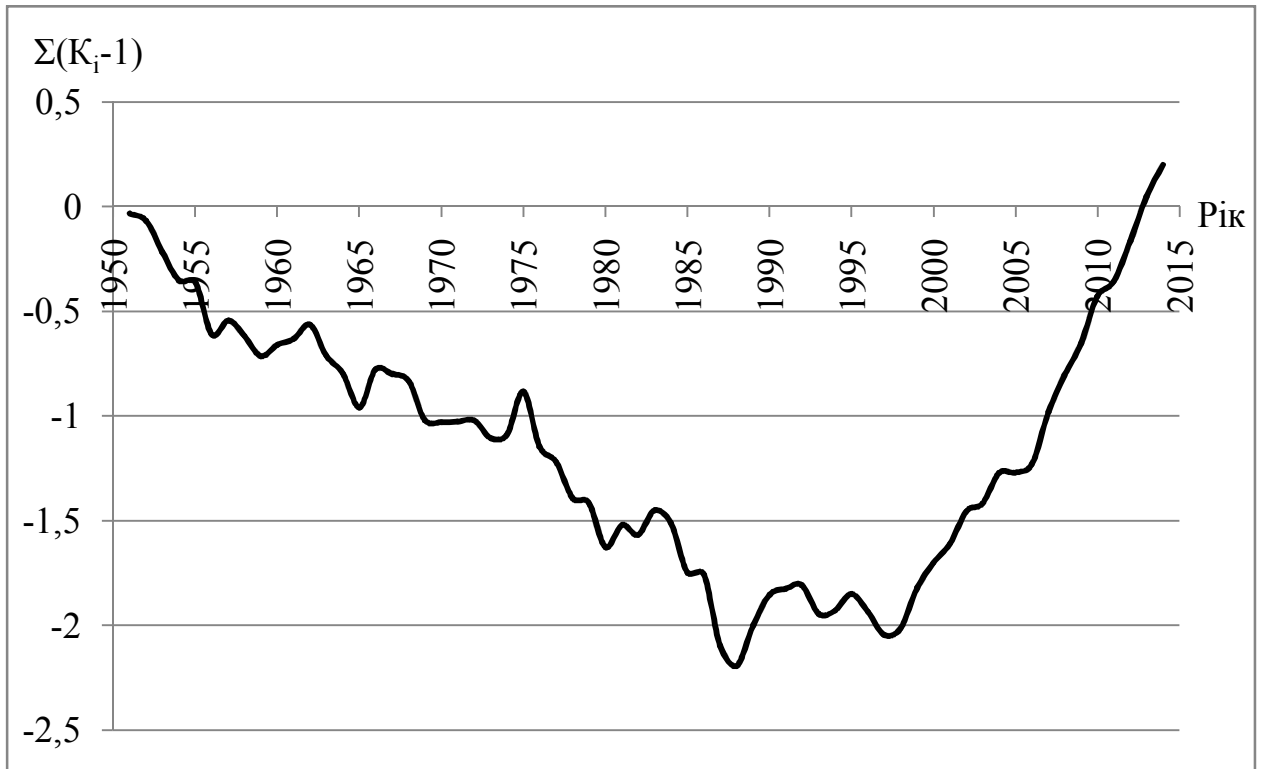


Рис. 2.2. Різницева інтегральна крива середніх річних температур повітря, м. Полтава, 1951-2015 рр.

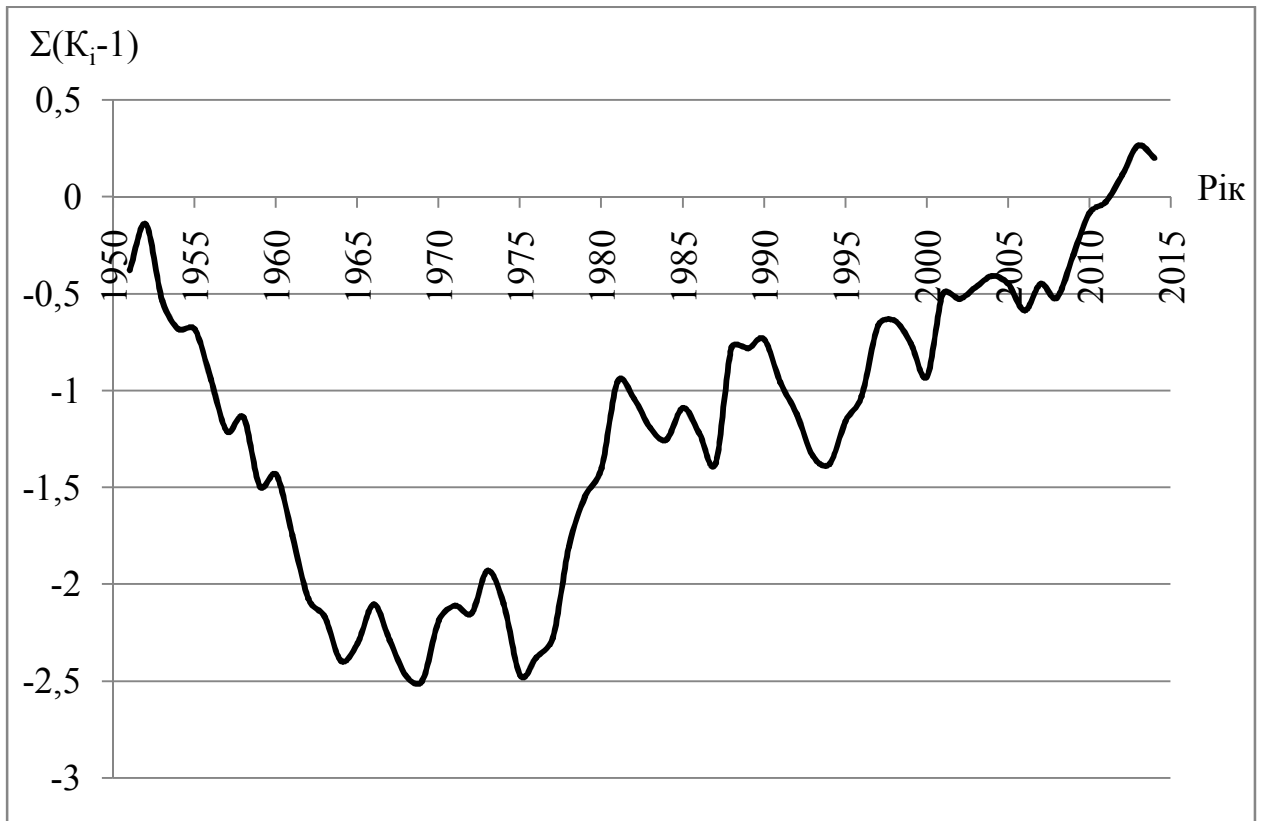


Рис. 2.3. Різницева інтегральна крива середніх річних сум опадів, м. Полтава, 1951-2015 рр.

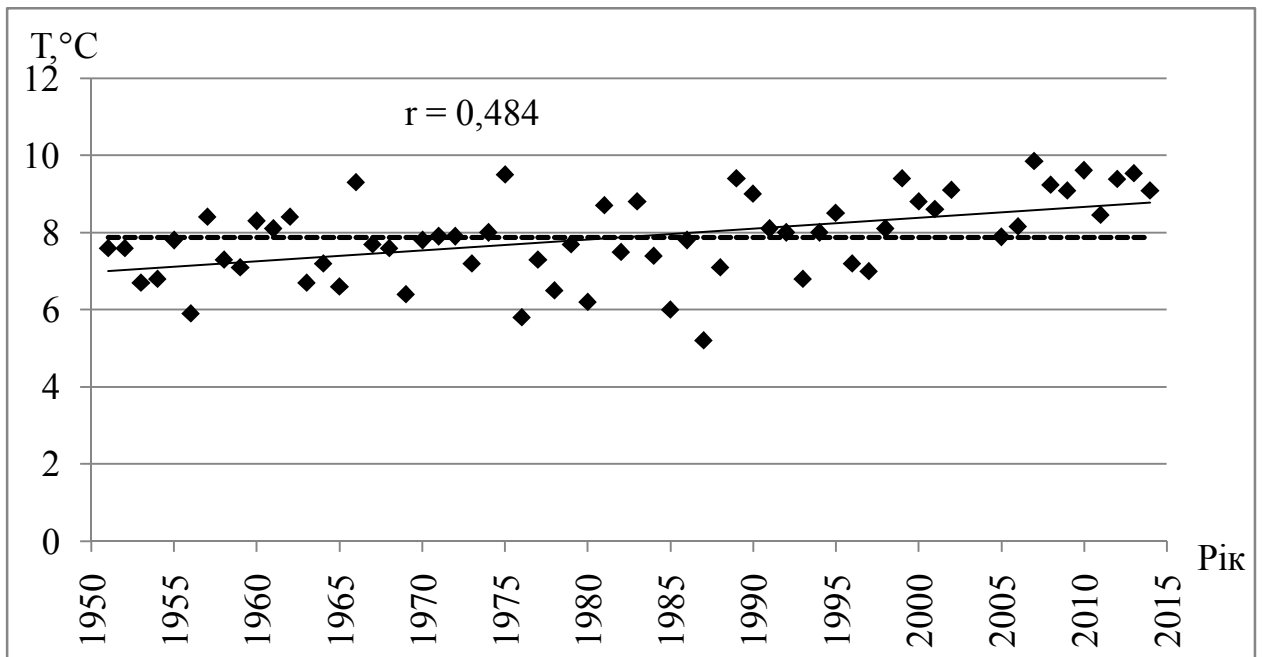


Рис. 2.4. Хронологічний хід середніх річних температур повітря, м. Полтава (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренде)

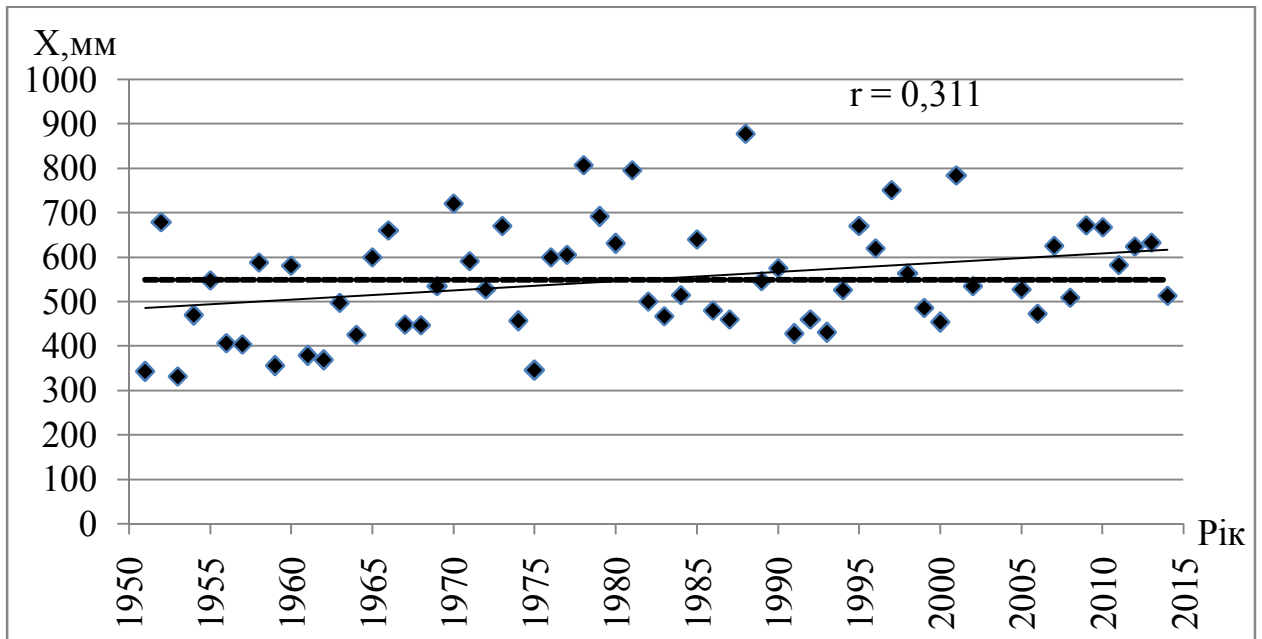


Рис. 2.5 . Хронологічний хід сум річних опадів (метеостанція м. Полтава)
(---- середнє багаторічне значення, — лінія тренде)

Установлено, що зростання температур повітря більш інтенсивно проходить у холодний період, проте середні температури продовжують знаходитися у області від’ємних значень (додаток Ж, рис.Ж.1). Збільшення температур теплого періоду набуло інтенсивності лише на початку сторіччя (додаток Ж, рис.Ж.2). Опади холодного періоду практично не змінилися (додаток Ж, рис.Ж.3), але установлена тенденція до зростання опадів у теплий період (додаток Ж, рис.Ж.4). Таким чином, перехід річного стоку у маловодну фазу його коливань пов’язується, насамперед, із зростанням температур повітря теплого сезону і відповідним збільшенням втрат на випаровування з поверхні суші та водної поверхні. У цілому середня багаторічна величина річного стоку після 1989р. зменшилася на 11,1% у створі р. Псел - м. Суми та 22,6% у створі р. Ворскла –с. Чернеччина.

2.2 Підземна складова річного стоку

За гідрогеологічним районуванням досліджувані річки знаходяться у Дніпровському артезіанському басейні пластових вод [34]. Розглядувані річки отримують живлення з водоносних горизонтів крейдяних палеогенових відкладень, глибина залягання яких перевищує 40 м. Живлення цих водоносних горизонтів відбувається на вододілах, а розвантаження підземних вод – в руслах річок. Вище за горизонт палеогенових відкладень розташовані водоносні горизонти у відкладах харківської серії та в буцацьких відкладах, де області «живлення, циркуляції і розвантаження» співпадають. Буцацько-канівський водоносний горизонт залягає на поверхні мергельно-крейдяної товщі верхньої крейди й перекривається київськими глинами. Часто води буцацько-канівських і мергельно-крейдяних порід утворюють єдиний водоносний комплекс. Неглибоке залягання, високі напори, порівняно високі дебети свердловин, у більшості випадків «добра» якість підземних вод визначають широке використання підземних вод для сільськогосподарського й промислового водопостачання.

Водні ресурси, згідно генетичному підходу А.М. Бефані [4] і О.В. Попова (1968) можна розглядати як суму двох складових: поверхневу і підземну. Для оцінки підземної складової річного стоку використовувалася формула А.М. Бефані, основою якої є відомості про норми інфільтрації річних опадів у водоносні горизонти, показники гідрогеологічної будови водозборів, а також відомості про площі водозборів [4]. Згідно дослідженням А.М. Бефані (1957), річка одержує стійке підземне живлення, коли її русло дренує основні водоносні горизонти зони активного водообміну. Стабілізація підземного живлення настає при площі F_{2kp} , яка має назву «другої критичної». При площі водозбору менше другої критичної ($F < F_{2kp}$) спостерігається залежність надходження підземних вод в русло від площі

водозбору. Із збільшенням площі водозбору зростає його врізання у підстильну поверхню, що супроводжується дренаванням більшої кількості водоносних горизонтів, а, отже, і збільшенням підземного живлення річок.

Формула А.М. Бефані для визначення норм підземного припливу в річки має наступний вигляд

$$\bar{Y}_{ПДЗ} = \varphi U_0, \quad (2.8)$$

де U_0 - річна норма просочування (інфільтрації) опадів в підземні (грунтові) води.

Вплив площі водозбору і його гідрогеологічних особливостей на підземний стік враховується за допомогою редуційного множника наступного вигляду

$$\varphi = th \left(a_{\Gamma} n_3 \sqrt[3]{\frac{F}{F_{1kp}}} - 1 \right), \quad (2.9)$$

де a_{Γ} - гідрогеологічний параметр, рівний відношенню потужності всіх потоків підземних вод зони дренавання по вертикалі до максимальної глибини дренавання; n_3 - показник інтенсивності наростання підземного припливу; F - площа водозбору, км²; F_{1kp} - перша критична площа (площа водозбору, при якій річка починає отримувати підземне живлення), км².

Параметр a_{Γ} прийнятий рівним 0.25 [34]. Перша критична площа може бути розрахованою за формулою

$$F_{1kp} = \frac{1}{\rho^2}, \quad (2.10)$$

де ρ - коефіцієнт щільності річкової мережі [34].

Для річок Псел та Ворскла Б.М. Доброумовим і Б.С. Устюжаніним [26] була розроблена наступна емпірична залежність середнього багаторічного підземного припливу $\bar{Q}_{ПДЗ}$ від площі водозбору F

$$\bar{Q}_{ПДЗ} = aF^b, \quad \text{при} \quad F < F_{2кр} \quad (2.11)$$

де $a = 0,00010$, $b = 1,24$ - для верхньої течії річок Псел і Ворскла;
 $a = 0,000008$, $b = 1,48$ - для нижньої течії; $F_{2кр}$ - друга критична площа, яка прийнята авторами [26] рівною 2000 км^2 .

Результати розрахунків за формулами (2.8) та (2.11) дозволяють зробити висновки про відповідність обох підходів (табл.2.3).

Отримані норми підземного припливу в річки відображають природні умови формування підземного стоку, оскільки визначаються параметрами, не пов'язаними з водогосподарськими перетвореннями. Найбільша величина норми підземного припливу відповідає створу р. Ворскла – м. Кобеляки (27 мм) з площею водозбору - 13500 км^2 , як найменша – створу р. Мерла – м. Богодухів (13 мм) з площею водозбору – 309 км^2 .

Серед методів визначення підземного живлення річок найбільше розповсюдження отримали методи розчленовування гідрографів сумарного стоку річок. Під сумарним або загальним стоком надалі розглядається річний стік, утворений як поверхневою, так і підземною складовими припливу води в русла. Зазвичай використовується комплексний гідролого - геологічний метод генетичного розчленовування гідрографів загального стоку річок, розроблений і теоретично обґрунтований Б.І. Куделіним [73]. Різний характер гідравлічного зв'язку підземних водоносних горизонтів і річкових вод, режим підземного припливу в річку з водоносних горизонтів, обумовлює різні схеми розчленовування гідрографів загального стоку річок.

**Середні багаторічні величини річного підземного припливу $\bar{Q}_{\text{підз}}$,
визначені різними методами**

Річка – пост	F , км ²	$\bar{Q}_{\text{підз}}$, м ³ /с (2.11)	$\bar{Y}_{\text{підз}}$, мм (2.11)	$\bar{Y}_{\text{підз}}$, мм (А.М. Бефані)	δ , %
р. Псел – м. Суми	7770	6.67	27	26	3.8
р. Псел – м. Гадяч	11300	10.6	30	28	7.1
р. Псел- с. Запсілля	21800	24.0	35	30	-16.7
р. Хорол– м. Миргород	1740	1.04	19	22	-13.6
р. Говтва- с. Михнівка	1560	0.91	18	22	-18.2
р. Ворскла- м. Кобеляки	13500	13.2	31	27	14.8
р. Ворскла– м. Полтава	9370	8.41	28	25	12
р. Ворскла– с. Чернеччина	5790	4.62	25	25	0
р. Ворскліця– с. Березівка	1450	13.2	25	24	4.2
р. Мерла– м. Богодухів	309	0.122	12	13	-7.7
Середнє	$\pm \delta$, %				9.81

Об'єм підземного припливу води в річки, визначений на основі розчленування гідрографів стоку, характеризує річний приплив підземних

вод зони дренування, який відноситься до водозбірної площі річкового басейну, розташованої вище створу вимірювання. Підземний приплив виражається в одиницях об'єму (або модулях стоку, чи міліметрах шару стоку, або у вигляді коефіцієнтів підземного стоку) [5]. Використовуючи цей метод, можна прослідити за змінами підземної складової річного стоку, які відбуваються у часі.

Для оцінки підземного припливу використовувалися гідрографи стоку за характерні по водності річок роки. До багатоводних були віднесені роки, річний стік яких мав забезпеченість P менше 25%; до середніх за водністю – роки, стік яких мав забезпеченість, що знаходилася на відрізку $25\% \leq P \leq 75\%$. Як маловодні, приймалися роки із забезпеченістю річного стоку, що перевищує 75%. Для окремих років були побудовані гідрографи, розчленовування яких дозволило виділити поверхневу та підземну складові [7].

Отримані результати (Додаток 3, табл.3.3, табл.2.4) дозволяють зробити висновок про значне зростання підземної складової стоку в останні два десятиріччя у порівнянні з даними минулих років, особливо у середні за водністю та маловодні роки. Це може бути пояснено збільшенням температур повітря холодного періоду (XI- III), які з кінця XX-го сторіччя (з 1989р.) почали істотно зростати, досягаючи в окремі роки додатних значень. Збільшення температур повітря в холодний період року, зсув дат переходу температур повітря через 0°C на більш ранні терміни навесні і більш пізні – восени, зменшення глибини промерзання ґрунтів і збільшення числа відлиг зумовили збільшення втрат поверхневого талого стоку на інфільтрацію і сприяли поповненню запасів підземних вод [8;58]. Незважаючи на зростання температур повітря теплого періоду і відповідне збільшення втрат стоку на випаровування з поверхні суші виявлена загальна тенденція до збільшення меженного стоку. Навіть для річок з площею водозборів значно меншою F_{2kp} відзначається значний приріст підземного припливу, що пояснюється

збільшенням числа верхніх водоносних горизонтів, розташованих близько до поверхні і дренованих річкою.

Таблиця 2.4

**Поверхнева $Y_{пов}$ та підземна $Y_{підз}$ складові річного стоку Y_R в створі
р. Псел – м. Суми, отримані на основі розчленовування гідрографів**

Рік	Забезпеченість річного стоку %	Y_R , мм %	$Y_{підз}$, мм %	$Y_{пов}$, мм %
1968	56 Середній за водністю	101 100%	43.1 42.7%	57.9 57.3%
1973	50 Середній за водністю	85 100%	47.6 55.7%	37.7 44.3%
1999	48 Середній за водністю	82 100%	63.9 77.9%	18.1 22.1%
1979	8 Багатоводний	99 100%	43.9 44.3%	55.1 55.7%
1980	1 Багатоводний	157 100%	92.5 58.9%	64.5 41.1%
1988	9 Багатоводний	152 100%	85.7 56.4%	66.3 43.6%
2006	12 Багатоводний	110 100%	65.1 59.2%	44.9 40.8%

Продовження таблиці 2.4

1972	93 Маловодний	59 100%	41.2 69.8%	17.8 30.2%
1975	92 Маловодний	55 100%	34.3 62.3%	20.7 37.7%
2007	80 Маловодний	65 100%	51.8 79.7%	13.2 20.3%

Таблиця 2.5

**Порівняння середніх багаторічних значень максимальних витрат води
весняного водопілля**

Річка - пост	\bar{Q}_{\max} , до 1989р. м ³ /с	\bar{Q}_{\max} , 1989-2010рр. м ³ /с	$\delta = \frac{Q_{\max \text{ до } 1989} - Q_{\max}}{Q_{\max \text{ до } 1989}} * 100\%$, %
р. Псел- с. Запсілля	323.3	162.6	-49.7
р. Хорол- м. Миргород	70.9	20.49	-71.1
р. Ворскла- с. Соколка	250.5	112.3	-55.2
р. Ворскла- м. Кобеляки	233.4	121.6	-47.9

Отримані дані підтверджують гіпотезу про збільшення підземного припливу в річки і зменшення максимальних витрат води в період весняного водопілля при одночасному збільшенні стоку зимової та літньої межени [4; 22; 58]. За В.В. Гребінем, для річок Лівобережно-Дніпровської лісостепової

зони за період з 1981 року до початку XXI століття виявлено збільшення зимового стоку в 1.5 рази в порівнянні з даними до 1980р; зниження весняного стоку в – 0.81 разів; збільшення літнього і осіннього стоку - в 1.55 і 1.76 раз, відповідно [58]. Порівняння середніх величин максимальних витрат води за період до та після 1989р., виконане нами по окремих річках досліджуваної території (табл.2.5), показало зменшення максимального стоку весняної повені на 47 - 71%.

Хронологічний хід середніх добових та місячних мінімумів стоку у зимову та літньо - осінню межінь показує тенденцію до їх збільшення (рис.2.6, Додаток 3, рис.3.1 – 3.7). У багатоводні роки зростання мінімального стоку проявляється у меншій мірі, оскільки саме у ці роки не спостерігається відлиг і втрати на інфільтрацію не змінюються. За умови виключення дуже багатоводних років ($P < 5\%$), коефіцієнти кореляції виділених у часі тенденцій зростають. Порівняння характеристик мінімального стоку до та після 1989р. показує, що вони зросли у середньому на 30% (табл.2.6).

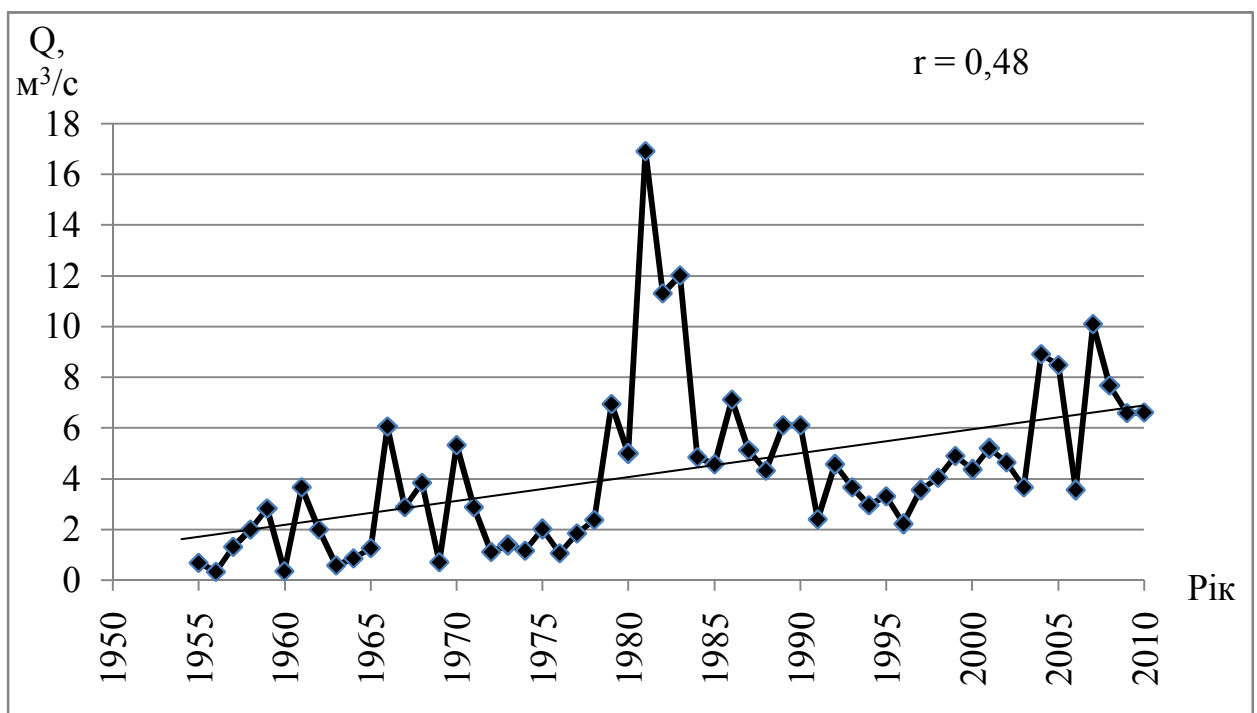


Рис.2.6 - Хронологічний графік середніх добових мінімумів стоку у зимову межінь у створі р. Ворскла – с. Чернеччина.

**Порівняння середніх багаторічних значень мінімальних витрат води
весняного водопілля р. Ворскла - с. Чернеччина**

Сезон	$\bar{Q}_{\min, \text{доб}},$ до 1989р. $\text{м}^3/\text{с}$	$\bar{Q}_{\min, \text{доб}},$ після 1989р. $\text{м}^3/\text{с}$	$\delta,$ %	$\bar{Q}_{\min, \text{міс}},$ до 1989р. $\text{м}^3/\text{с}$	$\bar{Q}_{\min, \text{міс}},$ після 1989р. $\text{м}^3/\text{с}$	$\delta,$ %
Зимовий	3.79	5.17	36	5.26	7.03	41
Літньо- осінній	2.60	3.67	34	3.54	4.42	25

Про зміни підземного живлення можна зробити висновок на базі даних про мінімальні витрати води (30-ти добові $\tilde{Y}_{\text{ПДЗ.30}}$ і місячні мінімуми $\tilde{Y}_{\text{ПДЗ.М}}$ (Додаток 3, табл.3.1 та 3.2). Підземний приплив, за А.М.Бефані [4], може визначатися як напівсума значень мінімального стоку літньої та зимової межені. Справедливість такого зв'язку підтверджується порівнянням характеристик підземного стоку, розрахованих на основі даних про мінімальний стік, та визначених на основі розчленування гідрографів (Додаток 3, табл.3.4, рис.3.9). Визначені за мінімальним стоком величини підземного стоку також підтверджують тенденцію до зростання підземної складової (рис.2.7).

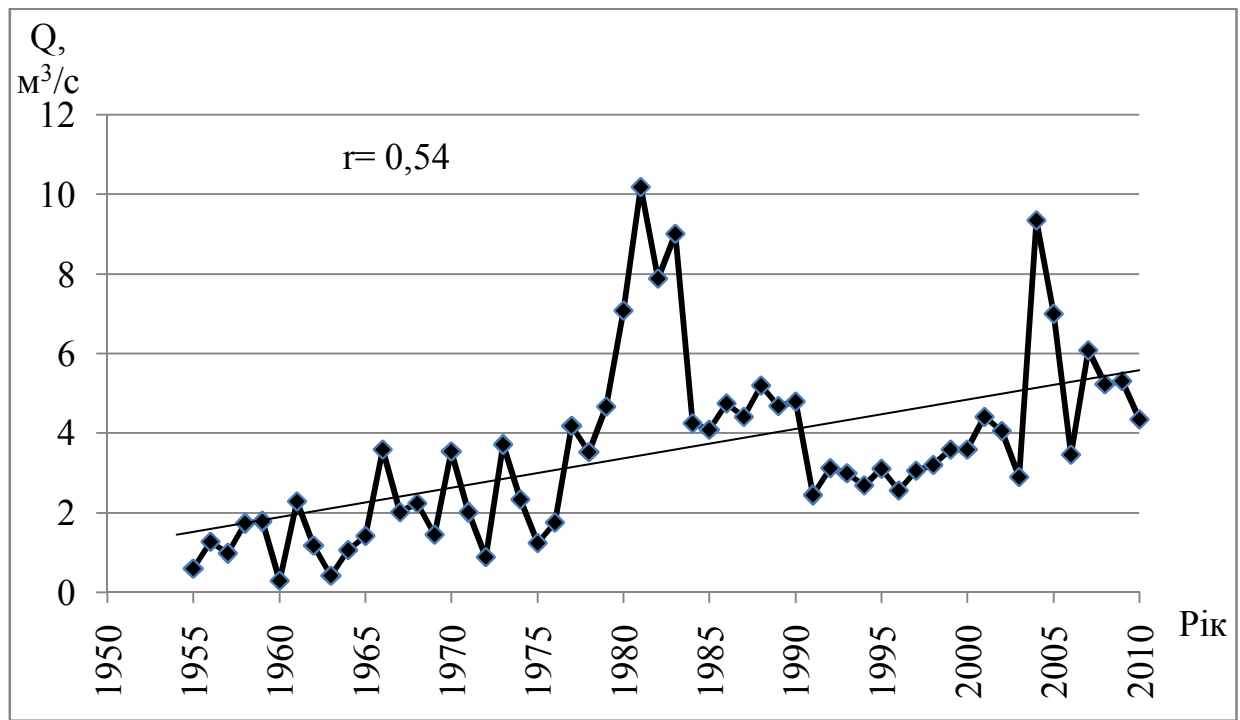


Рис. 2.7 – Хронологічний графік підземного стоку у створі р. Ворскла – с. Чернеччина.

Висновки до розділу 2

1. Водозбори річок Псел та Ворскла на українській частині території достатньо повно висвітлені гідрологічними даними. Установлено, що середні багаторічні значення річного стоку і коефіцієнти варіації визначаються за даними спостережень з достатньою точністю, а відношення коефіцієнтів варіації до коефіцієнтів асиметрії – з великими похибками. На основі методу сумісного аналізу даних обґрунтовано необхідність осереднення цих статистичних характеристик, оскільки випадкова складова їх просторової дисперсії становить 100%.

2. Річні температури повітря та температури теплового і холодного періодів у останні десятиріччя (починаючи з 1989р.) мають стійку тенденцію до зростання. Оподи холодного періоду практично не змінилися, а у

коливаннях сум опадів теплого періоду виявлений статистично значущий тренд, що свідчить про їх збільшення. Зростання середніх температур теплого періоду сприяє збільшенню втрат на випаровування з поверхні суші. Зростання середніх температур холодного періоду обумовлює формування відлиг, зменшення глибини промерзання ґрунтів і відповідне зростання втрат на інфільтрацію, що призводить до зменшення максимальних витрат весняного водопілля.

3. Порівняльний аналіз даних про характеристики максимального та мінімального стоку, виконаний за даними до та після 1989 року, показав, що відбувається зменшення середніх значень максимального стоку і зростання характеристик мінімального стоку зимової та літньої - осінньої межень. Розчленування гідрографів стоку та виділення поверхневої й підземної складових річного стоку у роки різної водності показало, що підземний стік зростає у середні та маловодні роки на 20-30%, а у багатоводні такі зміни є несуттєвими. Аналіз різницевих інтегральних кривих річного стоку показав, що після 1989 року коливання стоку річок Псел та Ворскла перейшли у маловодну фазу.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ «КЛІМАТ-СТІК» З ВИКОРИСТАННЯМ СЦЕНАРІЇВ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

З метою передбачення стану водних ресурсів при змінах глобального клімату доцільно використовувати математичні моделі розрахунків стоку, які базуються на метеорологічних даних. Такі моделі називаються моделями типу «клімат-стік». На вході у ці моделі використовуються метеорологічні дані. При оцінці наслідків глобального потепління у них використовуються не ретроспективні, а сценарні матеріали[83].

В Одеському державному екологічному університеті під керівництвом Є.Д. Гопченка і Н.С. Лободи розроблено метод розрахунків характеристик річного стоку річок України при відсутності або недостатності даних спостережень, а також при їх значній трансформації водогосподарською діяльністю[39]. Цей метод увійшов до складу проекту нових Державних будівельних норм України «Визначення розрахункових гідрологічних характеристик» і є результатом математичного моделювання за моделлю «клімат – стік». Він дозволяє виконувати оцінки водних ресурсів України у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах, а також при змінах глобального клімату [17].

Модель «клімат – стік» складається з двох частин. Перша частина дозволяє виконувати оцінку природного річного стоку на основі метеорологічних даних, друга – оцінку побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку. На вході у першу частину моделі використовуються метеорологічні дані, у другу – природний або непорушений водогосподарською діяльністю річний стік та кількісні показники водогосподарських перетворень. Математичною базою першої частини є рівняння водно-теплогового балансу водозбору, другої – рівняння водогосподарського балансу водозбору, представлене у стохастичній

(ймовірнісній) формі. Нами розглянута лише перша частина моделі, в якій розрахунки природного річного стоку виконуються за метеорологічними даними.

Для визначення природного річного стоку за моделлю «клімат – стік» необхідні дані про такі метеорологічні характеристики як середні місячні температури повітря, суми опадів, дефіцит насичення повітря вологою. Основним розрахунковим рівнянням є рівняння водно-теплогового балансу, яке містить у собі кліматичні чинники формування стоку – максимально можливе випаровування та суми опадів. Стік, розрахований за метеорологічними даними на базі рівняння водно-теплогового балансу, отримав назву «кліматичного»[17]. Норми річного кліматичного стоку ототожнюються із зональним річним стоком.

3.1 Теоретичні основи методу водно-теплогового балансу та його реалізація для України

Базисом моделей розрахунків стоку за метеорологічними даними є модель «клімат – стік». Найпростішою з таких моделей є рівняння водного балансу за багаторічний період [11]

$$\bar{X} = \bar{E} + \bar{Y}, \quad (3.1)$$

де \bar{X} , \bar{E} , \bar{Y} - річні норми опадів, випаровування з поверхні суші та стоку, відповідно.

У випадку оцінки норми річного стоку на основі рівняння водного балансу за багаторічний період задача зводиться до визначення норми випаровування з поверхні суші, яке розраховується з великими похибками

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}, \quad (3.2)$$

Структура водного балансу ділянки суші тісно зв'язана з її тепловим балансом, тобто з надходженням і перетворенням поверхнею та діяльним шаром ґрунту тепла сонячної радіації. Ця обставина обумовила потребу розглядати задачу визначення складових водного балансу разом з теплоенергетичним балансом земної поверхні. Перспективи сумісного вирішення водного та теплоенергетичного балансів поверхні суші розглядалися багатьма авторами (Е.М. Ольдекопом, 1911р., М.А. Велікановим, 1928р., М.І. Будико, 1958р.). Як найбільш оптимальний, був визнаний підхід, запропонований В.С. Мезенцевим [61]. Процес теплообміну в будь-якій точці простору і за будь-який проміжок часу представлений ним у вигляді складових надходження й витрат енергії

$$R^+ + P^+ + B_1 - B_2 = LE + P^- + I_H - LC, \quad (3.3)$$

де R^+ - додатна (прихідна) частина радіаційного балансу;

P^+ - додатна складова турбулентного теплообміну або тепло, що приходить на ділянку суші у зв'язку з рухом повітря, тобто адвективне тепло;

$(B_1 - B_2)$ - зміна запасів тепла в діяльному шарі ґрунту (теплообмін у ґрунті ΔB);

L - «приховане» тепло пароутворення;

LE - витрата тепла на випаровування;

P^- - витрата тепла на нагрівання повітря (від'ємна частина турбулентного теплообміну);

I_H - довгохвильове випромінювання земної поверхні у нічні часи доби;

LC - витрата тепла на конденсацію.

Додатна складова R^+ радіаційного балансу визначається як різниця між короткохвильовою радіацією R_K , що надходить до земної поверхні в

денні часи діб, та довгохвильовим випромінюванням земної поверхні I_D

$$R^+ = R_K - I_D, \quad (3.4)$$

де I_D - баланс довгохвильового випромінювання (випромінювання земної поверхні за мінусом противипромінювання атмосфери) у денні та частково сутінкові години доби.

Ліва (прихідна) частина рівності (3.3) розглядається як граничні ресурси енергії, які забезпечують процес випаровування у визначених кліматичних умовах й називаються «теплоенергетичними ресурсами клімату» [59,61]

$$LE_m = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2), \quad (3.5)$$

де E_m - так званий «теплоенергетичний еквівалент», тобто шар води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}. \quad (3.6)$$

Таким чином, теплоенергетичний еквівалент E_m - це величина, яка за своїм фізичним змістом близька до величини E_0 - випаровуваності або максимально можливого випаровування.

Величина E_0 визначалася багатьма авторами як верхня межа випаровування, але інтерпретувалася по-різному: «випар зі зволоженої поверхні» (М.І. Будико); «випар з водної поверхні при тому ж комплексі метеорологічних умов, що й над сушею» (Н.А.Багров); «випар з поверхні

полів, вкритих рослинністю, коли вологість ґрунту близька до найменшої польової вологоємності» (А.Р.Константинов). На відміну від інших авторів, В.С. Мезенцеву [69] вдалося надати однозначний фізичний зміст поняттю «випаровуваність».

Права чи витратна частина рівняння теплового балансу позначається як «сумарний теплообмін» T , обумовлений нагріванням приземного повітря за рахунок турбулентного обміну й нічного ефективного випромінювання земної поверхні (без противипромінювання атмосфери). Тоді вираз (3.3) можна представити у вигляді

$$LE_m = LE + T, \quad (3.7)$$

Теоретичні границі зміни складових рівняння (3.7) визначаються таким чином:

$$LE_m \geq LE \geq 0; \quad (3.8)$$

$$LE_m \geq T \geq 0. \quad (3.9)$$

Іншими словами, витрати тепла на фактичне випаровування та сумарний теплообмін завжди менше теплоенергетичних ресурсів клімату, тому що в природі завжди спостерігається витрата тепла.

Рівняння водного та теплового балансів містять у собі загальну складову – випаровування з поверхні суші. Для визначення стоку необхідно, насамперед, обчислити випаровування. Рівняння водного балансу для ділянки суші було представлено В.С. Мезенцевим таким чином [61]

$$H = E + Y, \quad (3.10)$$

де H - характеристика зволоження території.

Під характеристикою зволоження H розуміють опади X , які випадають за розрахунковий період, зміни $(w_1 - w_2)$ запасів води в ґрунті й у водоносних горизонтах $(Y_{П1} - Y_{П2})$

$$H = X + w_1 - w_2 + Y_{П1} - Y_{П2}. \quad (3.11)$$

Введення характеристики теплоенергетичних ресурсів досягається діленням лівої і правої частин рівняння (3.9) на величину E_m

$$\frac{H}{E_m} = \frac{E}{E_m} + \frac{Y}{E_m}. \quad (3.12)$$

Відношення у рівнянні (3.12) позначаються як $\beta_H, \beta_E, \beta_Y$, відповідно. Отже вираз (3.12) можна записати у вигляді

$$\beta_H = \beta_E + \beta_Y. \quad (3.13)$$

Співвідношення β_H для багаторічного періоду, коли $w_1 - w_2 = 0$, записується як $\beta_X = \frac{X}{E_m}$.

Граничні умови складових рівняння (3.13) є такими

$$0 \leq \beta_E \leq 1 \text{ при } 0 \leq \beta_H \leq \infty \text{ та } 0 \leq \beta_Y \leq \beta_H \leq \infty. \quad (3.14)$$

Після диференціювання рівняння (3.13) за величиною співвідношення ресурсів води і тепла β_H , В.С. Мезенцев одержав рівняння такого виду

$$\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_H} + \frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_H} = 1. \quad (3.15)$$

Наближене розв'язання виразу (3.15) надане В.С. Мезенцевим у такій редакції

$$\beta_E = (1 + \beta_H^{-n})^{-\frac{1}{n}}, \quad (3.16)$$

де n - параметр, що інтегрує вплив фізико-географічних умов формування стоку.

З урахуванням позначень виразу (3.12), прийдемо до рівняння вигляду

$$E = E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (3.17)$$

Відповідно рівняння водного балансу (3.10) набуде вигляду

$$H = Y + E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (3.18)$$

Рівняння (3.18) містить складову, яка входить у тепловий баланс земної поверхні, E - випаровування з поверхні суші (3.17), у зв'язку з чим вираз (3.18) називають рівнянням водно-теплого балансу.

Балансове співвідношення (3.18), виражене відносно величини стоку Y можна представити у такий спосіб [59,61]

$$Y = H - E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (3.19)$$

У випадку, коли розрахунковий шар земної поверхні дорівнює глибині залягання ґрунтових вод, чи при глибокому заляганні ґрунтових вод (що характерно для степової та пустельної зон), рівняння (3.11) та (3.19) записуються у виді [60]

$$H = X + w_1 - w_2, \quad (3.20)$$

$$Y = X + w_1 - w_2 - E_m \left[1 + \left(\frac{X + w_1 - w_2}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (3.21)$$

Різниця $(w_1 - w_2)$, яка представляє собою зміну вологовмісту розрахункового шару ґрунту, приймає істотні додатні та від'ємні значення у середині року (місяцях, декадах) і в окремі роки (групи років). Для багаторічного періоду виконується умова

$$w_1 - w_2 = 0, \quad (3.22)$$

у зв'язку з чим балансове співвідношення (3.21) набуває вигляду

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (3.23)$$

де $\bar{Y}, \bar{X}, \bar{E}_m$ - багаторічні величини (норми) річного стоку, опадів та теплоенергетичного еквіваленту, відповідно.

Результати досліджень [18, 27, 59, 61] показали, що при розрахунках норм річного стоку для рівнинних територій, необхідно використовувати $n = 3$.

Норма стоку, розрахована за рівнянням (3.23), визначається кліматичними факторами – нормою річних опадів й максимально можливого

випаровування, які підкоряються географічній зональності та представляються у вигляді карт ізоліній.

Таким чином, розраховані при постійному n величини норм стоку залежать від співвідношення ресурсів тепла \bar{E}_m і вологи \bar{X} й відображають їхню взаємодію. Норма річного стоку, яка обчислена за балансовим співвідношенням (3.23), включає до себе тільки характеристики клімату й називається нормою «кліматичного стоку» і надалі буде позначатися як \bar{Y}_K .

При цьому за величиною β_X можна виділити області зволоженості або посушливості [27]:

Таблиця 3.1

Класифікація значень β_X

Значення β_X	Класифікація
$\beta_X \geq 1,0$	зона надмірного зволоження
$0,8 < \beta_X < 1,0$	зона достатнього зволоження
$0,5 \leq \beta_X < 0,8$	зона недостатнього зволоження
$0,2 \leq \beta_X < 0,5$	напіваридна зона
$0,03 \leq \beta_X < 0,2$	аридна зона
$\beta_X < 0,03$	гіпераридна зона

Матеріалами, необхідними для визначення кліматичної норми річного стоку є складові радіаційного та теплового балансів підстильної поверхні за багаторічний період, а також середні багаторічні дані по опадах та температурах за календарні місяці й роки.

Метод водно-теплового балансу у модифікації В.С. Мезенцева був розвинений для умов України в Одеському державному екологічному університеті під керівництвом д. геогр. н., проф. Є.Д. Гопченка та д. геогр. н., проф. Н.С. Лободи [17; 18; 96].

Визначення норм кліматичного річного стоку потребує знань про

складові радіаційного і теплового балансів за багаторічний період, а також середні багаторічні дані опадів та температури за календарні місяці і роки. Побудову карт ізоліній кліматичних чинників та кліматичного стоку під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи виконано на топографічній основі 1:500000 [17].

Найбільші труднощі виникають при оцінці теплоенергетичних ресурсів клімату за виразом (3.6), оскільки матеріали про зміни запасів тепла у діяльному шарі ґрунту ($B_1 - B_2$) відсутні. Однак, у цілому за рік, а тим більше за багаторічний період виконується умова $(B_1 - B_2) = 0$. Отже, можна прийняти

$$\bar{E}_m = \frac{\bar{R}^+ + \bar{P}^+}{L}, \quad (3.24)$$

де \bar{E}_m - норма (середня багаторічна величина) максимально можливого випаровування;

\bar{R}^+, \bar{P}^+ - норми додатніх складових рівняння теплового балансу підстильної поверхні.

Дані про річні складові радіаційного балансу містяться у матеріалах спостережень актинометричних станцій. Що стосується додатньої (спрямованої до земної поверхні) складової турбулентного теплообміну P^+ , то її величина становить близько 20% від річної суми розрахункового турбулентного теплообміну в денний час, коли потік тепла спрямований вгору від поверхні і не перевищує 10-15% від річного радіаційного балансу. В.С.Мезенцевим [59] запропоновано емпіричну формулу для розрахунку річної величини P^+

$$P^+ = 28,5 - 0,082R, \text{ кДж} / \text{см}^2 \quad (3.25)$$

де R - величина річного радіаційного балансу.

Наведене рівняння показує, що при $R = 0$ річна величина P^+ складає 28.5 кДж/см², а при $R < 0$ - додатна складова турбулентного теплообміну буде зростати. У межах України додатна складова турбулентного теплообміну змінюється незначно - від 12.4 до 16.7 кДж/см² у рік.

Число актинометричних станцій є обмеженим (менш 20 у межах України) і тому недостатнім для детального опису просторового розподілу теплоенергетичних ресурсів клімату. Оскільки температурний режим України в значній мірі зумовлений надходженням сонячної радіації до земної поверхні, для розрахунків \bar{E}_m авторами [17] за даними метеорологічних станцій було отримано регіональну залежність величини \bar{E}_m від норм середньої місячної температури повітря за теплий період (травень – вересень), коли переважає антициклональна погода з малою хмарністю і слабкими вітрами

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, \text{ мм} \quad (3.26)$$

де $\sum_V^{IX} \bar{T}_M$ - норми середньої температури повітря за теплий період (травень – вересень).

Коефіцієнт кореляції отриманого рівняння лінійної парної регресії дорівнює 0.94 ± 0.01 .

Необхідність визначення характеристик природного річного стоку за метеорологічними даними виникла при теоретичному обґрунтуванні гідрологічних та водогосподарських проектів для територій з відсутністю або недостатністю даних спостережень або для територій, на яких стік суттєво порушений антропогенною діяльністю. Дослідження Є.Д. Гопченка та Н.С. Лободи [17] по науковому обґрунтуванню кліматичних складових водно-теплового балансу дозволили дійти до висновку, що норма

кліматичного річного стоку відповідає зональному річному природному стоку річок із стабільним підземним живленням. Це дозволило зробити висновки, що для річок рівнинної частини України із сталим підземним живленням норма кліматичного стоку може бути ототожненою з нормою природного стоку. Порівняльний аналіз норм річного природного та кліматичного стоку показав, що у зоні достатнього зволоження для великих водозборів відносне відхилення цих величин знаходиться у межах $\pm 5\%$, а у зоні недостатнього зволоження – у межах $\pm 10\%$.

3.2 Визначення природних водних ресурсів річок Псел та Ворскла на основі моделі «клімат-стік».

У роботі використані матеріали по 161 метеорологічних станціях, розташованих на північному сході України та на території Російської Федерації, де знаходяться верхів'я річок Псел та Ворскла[10,11]. Норми кліматичного стоку розраховувались за рівнянням водно-теплогового балансу(3.23) [52]. Норми річних опадів середини минулого сторіччя змінюються від 700 мм до 500 мм (рис.3.1) у напрямі від північного сходу на південний захід.

Максимально можливе випаровування зростає з півночі на південь, змінюючись у межах від 750 мм до 925 мм (рис.3.2). Норма кліматичного стоку у межах басейнів річок Псел та Ворскла, визначена за метеорологічними даними минулого сторіччя, змінюється від 130 мм у верхів'ї до 40 мм - при впадінні річок у Дніпро (рис. 3.3)[52].

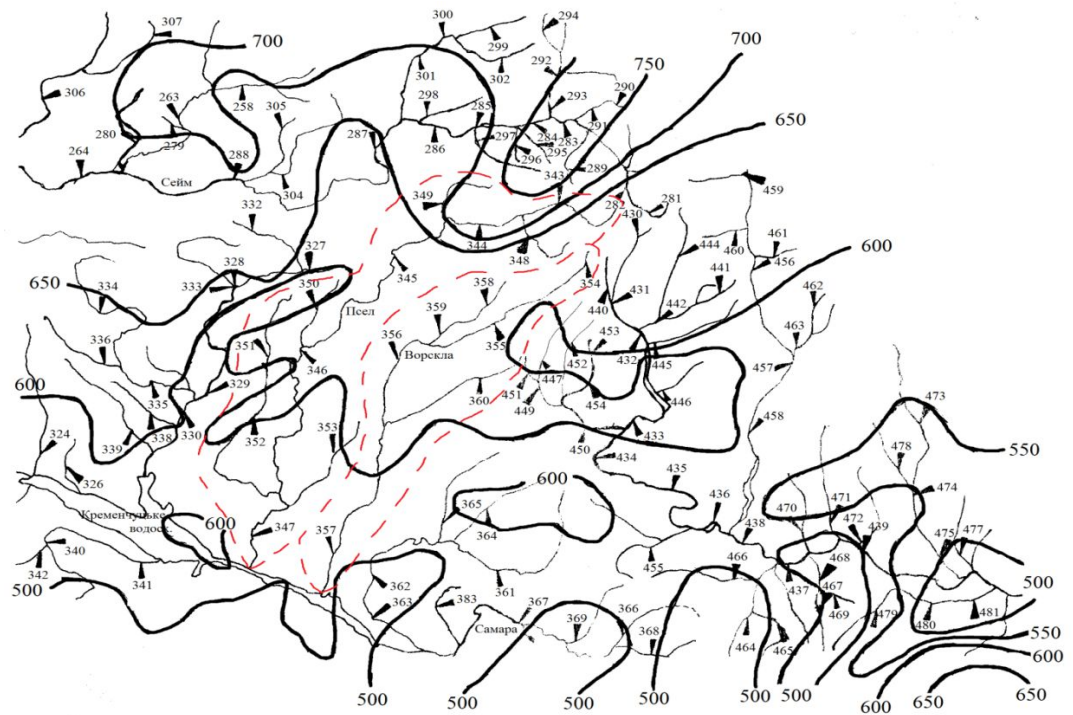


Рис.3.1. Норми річних опадів, на території басейнів річок Псел та Ворскла (пунктиром позначені границі водозборів), мм

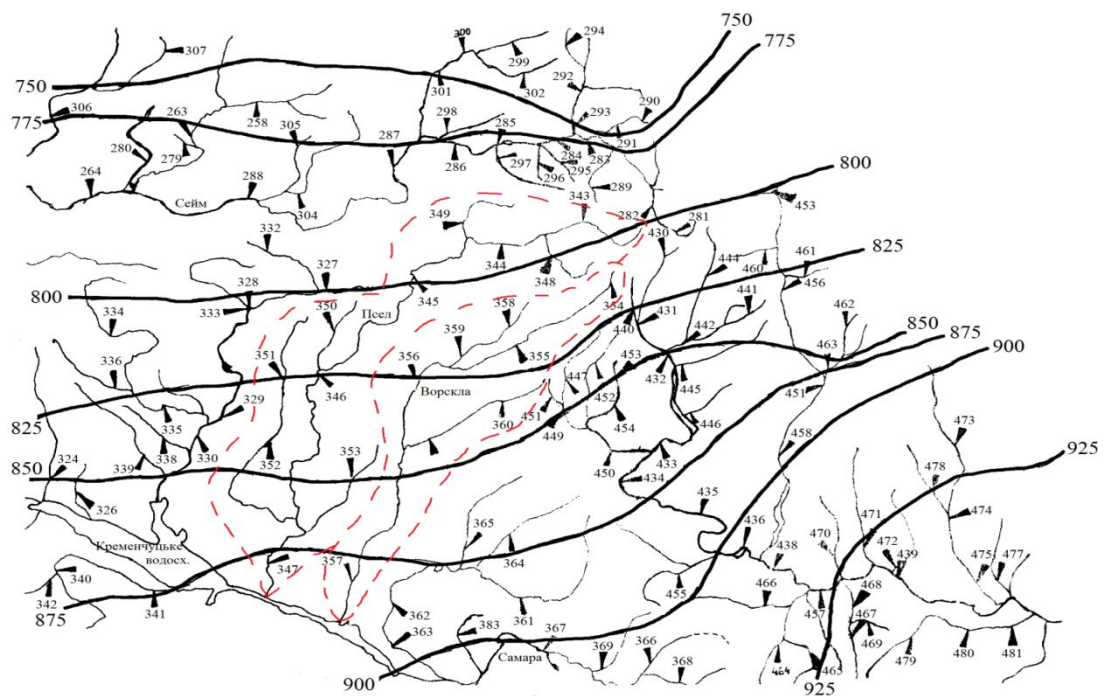


Рис.3.2. Норми максимально можливого випаровування, на території басейнів річок Псел та Ворскла (пунктиром позначені границі водозборів), мм

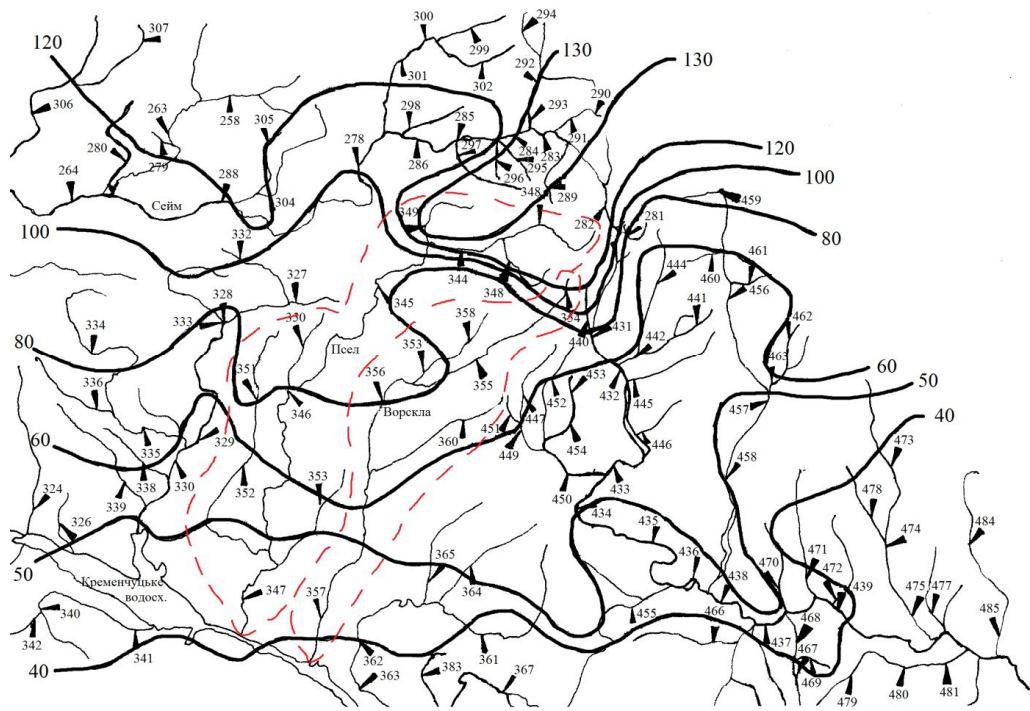


Рис.3.3. Норми річного кліматичного стоку, на території басейнів річок Псел та Ворскла (пунктиром позначені границі водозборів), мм

3.3 Оцінка впливу підстильної поверхні

За пропозицією Є.Д. Гопченка та Н.С. Лободи [17] вплив підстильної поверхні оцінювався шляхом співставлення норм річного кліматичного та природного стоку різних водозборів. З метою урахування впливу чинників підстильної поверхні для досліджуваних водозборів були визначені коефіцієнти переходу $K = \frac{\bar{Y}_{ПР}}{\bar{Y}_K}$ від норм кліматичного стоку \bar{Y}_K до природного - $\bar{Y}_{ПР}$. Норми природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) стоку річок бралися із літературних джерел [27, 76]. В результаті були отримані коефіцієнти переходу для 7 водозборів річки Псел (площа водозборів змінюється від 1100 км² до 21800 км²) та 11 водозборів р. Ворскла (площа водозборів змінюється від 56 км² до 13500 км²). Надалі виконувався

пошук зв'язків установлених коефіцієнтів K з показниками підстильної поверхні на базі методу регресійного аналізу. Як предиктори розглядались лісистість, заболоченість, середня висота водозборів, їх площі водозбору. Установлено, що перехідні коефіцієнти K залежать від площ водозборів. Площа водозбору, за А.М. Бефані [4], є інтегральним показником впливу підстильної поверхні. Як правило, вплив підстильної поверхні є статистично значущим для водозборів із площею меншою другої критичної $F < F_{2KP}$. Другою критичною є площа водозбору F_{2KP} , при якій річка отримує стійке підземне живлення.

На рис. 3.4 представлені залежності, які описують лінійний зв'язок між коефіцієнтами переходу K та площею водозборів. З рисунку видно, що характер отриманих залежностей для Псла та Ворскли різний. Водозбір р. Псел відноситься до області від'ємних виправлень ($K < 1$), а водозбір р. Ворскла – до області додатних виправлень $K > 1$. На основі аналізу даних по малих та середніх водозборах Є.Д. Гопченком та Н.С. Лободою було встановлено, що до області від'ємних виправлень відноситься зона мішаних лісів України, де основною причиною різниці між кліматичним та природним стоком є недостатнє дренавання руслом річки водоносних горизонтів підземних вод. Чим більша площа водозбору, тим більше ерозійне врізання русла річки у земну поверхню і тим більше водоносних горизонтів зони активного водообміну її живить. При площі водозбору $F \geq F_{2KP}$ підземне живлення річки стає стабільним (за термінологією В.В. Гребіня річка отримує «глибоке (постійне) підземне живлення» [22]).

До області додатних виправлень ($K > 1$) Є.Д. Гопченком та Н.С. Лободою були віднесені водозбори лісостепу та Північного степу, де внесок підземних вод у живлення річок невеликий, а сумарний річний стік визначається, головним чином, весняним водопіллям. Через нерівномірність розподілу снігового покриву під впливом вітру, діюча площа, на якій відбувається формування основного об'єму стоку, концентрується у межах

малих та середніх водозборів. Як наслідок, річні норми природного стоку малих та середніх водозборів перевищують зональний (кліматичний) стік.

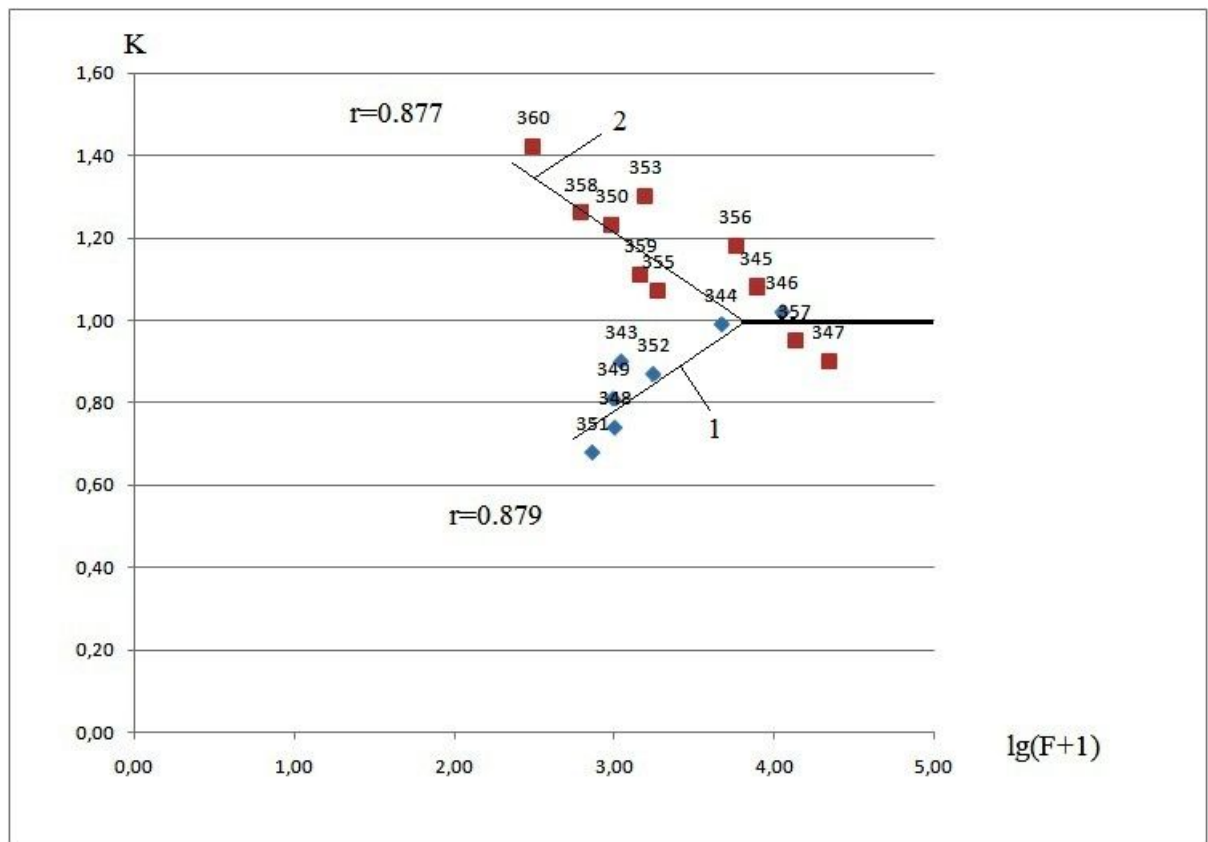


Рис. 3.4 Зміна коефіцієнтів переходу від норм кліматичного річкового стоку до природного із зростанням площі водозбору F (1-р.Псел; 2-р.Ворскла)

Показником співвідношення ресурсів тепла та вологи на водозборі може бути коефіцієнт $\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$, який має назву показника зволоженості або посушливості. Згідно рекомендаціям В.С. Мезенцева та Дж. Родди [28], при $0.8 \leq \beta_X < 1.0$ розглядувана територія відноситься до зони достатнього зволоження, а при $0.5 \leq \beta_X < 0.8$ – до зони недостатнього. Для водозборів річок Псел та Ворскла значення β_X близькі до 0.8, при цьому водозбір річки

Псел за видом залежності $K = f[\lg(F + 1)]$ поводить себе як водозбір зони достатнього зволоження, а р. Ворскла – як зони недостатнього [53].

Таким чином, водозбір р. Псел можна віднести до водозборів з від’ємними виправленнями ($K < 1$) до норми кліматичного стоку; тобто стік малих та середніх річок менший зонального, що пояснюється недостатнім їх підземним живленням. Розрахункове рівняння для визначення коефіцієнту переходу має вигляд [46,60]

$$K = 0.036 + 0.251 \lg(F + 1); r = 0.87; \quad (3.27)$$

або

$$K = 1 - 0.251[3.85 - \lg(F + 1)], \text{ для } F < 4000 \text{ км}^2; \quad (3.28)$$

$$\text{при } F \geq 4000 \text{ км}^2, K = 1, \quad (3.29)$$

де F - площа водозбору; r - коефіцієнт кореляції.

Отримане рівняння за своєю структурою походить на запропоновану раніше структуру формули для зони мішаних лісів [39]:

$$K = 1 - 0.270[3.2 - \lg(F + 1)], \text{ при } F < 1700 \text{ км}^2. \quad (3.30)$$

Водозбір р. Ворскла відноситься до водозборів лісостепу та північного степу з додатними виправленнями до кліматичного стоку ($K > 1$):

$$K = 1.94 - 0.232 \lg(F + 1), r = 0.88; \quad (3.31)$$

або

$$K = 1.71 - 0.232[\lg(F + 1) - 1] \text{ для } F < 4000 \text{ км}^2; \quad (3.32)$$

$$\text{при } F \geq 4000 \text{ км}^2, K = 1. \quad (3.33)$$

Це відповідає структурі рівнянь лісостепу північно-західного Причорномор'я [18]

$$K = 2.4 - 0.70[\lg(F + 1) - 1] \text{ при } F < 1000 \text{ км}^2, \quad (3.34)$$

$$\text{при } F \geq 1000 \text{ км}^2 K = 1. \quad (3.35)$$

та Сіверського Дінця [41]

$$K = 1.60 - 0.260[\lg(F + 1) - 1], \quad (3.36)$$

$$\text{при } F \geq 2000 \text{ км}^2 K = 1. \quad (3.37)$$

Річки Псел та Ворскла характеризуються досить великою другою критичною площею, яка досягає 4000 км^2 . Це пояснюється низькою водопровідністю та водовіддачею крейдяно-мергельних порід на межиріччях, які є головними ділянками відновлення запасів підземних вод і завдяки яким відбувається живлення досліджуваних річок [53].

Перевірні розрахунки, проведені за отриманими рівняннями, показали задовільну збіжність фактичних та розрахункових значень (у межах $\pm 10\%$) (табл. 3.2). За особливостями впливу підстильної поверхні для р. Голтва, водозбір якої межує із водозбором р. Ворскла, при розрахунках K слід застосовувати рівняння (3.32).

**Перевірні розрахунки при визначенні норми природного кліматичного
стоку, визначено за моделлю «клімат-стік»**

Річка - пост	\bar{Y}_K , мм	F , км ²	$\lg(F+1)$	K	$\bar{Y}'_{ПР}$, мм	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\delta = \frac{\bar{Y}'_{ПР} - \bar{Y}_{ПР}}{\bar{Y}_{ПР}} 100\%$
р. Псел-м. Обоянь	130	1100	3.04	0.80	104	117	-11.1
р. Псел-с. Крупець	114	4700	3.67	1	114	113	0.88
р. Псел-м. Суми	100	7700	3.89	1	100	108	-7.41
р. Псел-с. Запсілля	84	21800	4.34	1	84	76	10.5
р. Говтва-с. Михнівка	63	1560	3.19	1.20	76	82	-7.32
р. Хорол-м. Міргород	78	1740	3.24	0.85	66	68	-2.94
р. Хорол-с. Петрівка Роменська	85	722	2.86	0.75	64	58	10.4
р. Суджа-с. Замісття	140	972	2.99	0.78	110	113	-2.66
р. Пена-м. Пени	120	1000	3.00	0.79	94	89	5.62
р. Псел-м. Гадяч	90	11300	4.05	1	90	92	-2.17

Продовження таблиці 3.2

р. Ворсклиця- с. Мокра Орлівка	72	612	2.79	1.29	93	91	2.20
р. Ворсклиця- с. Березівка	70	1460	3.16	1.21	85	78	8.97
р. Ворскла- с. Яковлеве	123	56	1.76	1.53	190	203	-6.40
р. Ворскла- с. Козинка	86	1870	3.27	1.18	102	92	10.9
р. Ворскла- с. Чернеччина	83	5790	3.76	1.07	89	98	-9.18
р. Мерла- м. Богодухів	71	309	2.49	1.36	97	101	-3.96
р. Ворскла- м. Кобеляки	75	13500	4.13	1	75	71	5.63
Середнє							±6.59

3.4 Оцінка можливих змін водних ресурсів за сценарієм глобального потепління A1B

Зміни у глобальній кліматичній системі можуть розглядатися на сьогодні як незаперечний факт, що доводиться метеорологічними даними за останні 150 років. Є дуже ймовірним, що підвищення глобальної середньої температури, яке спостерігалось у XX сторіччі, здебільшого спричинено зростанням концентрацій антропогенних парникових газів. Робочою групою

Міжнародної групи експертів зі змін клімату були розроблені чотири основних описових сюжетних лінії для послідовного викладення зв'язків між визначальними факторами викидів та їх розвитком [74]. Кожна сюжетна лінія розглядає різні демографічні, соціальні, економічні, технологічні та екологічні події. Для кожної сюжетної лінії було розроблено декілька різних сценаріїв з використанням різних концепцій моделювання з метою розглядання низки результатів, пов'язаних з моделями, що використовують аналогічні припущення стосовно визначальних факторів. Взагалі, є шість сценарних груп. Вони містять чотири комбінації демографічних змін, соціально-економічного розвитку та технологічних подій, які відповідають чотирьом родинам (A1, A2, B1, B2). Всі чотири сюжетні лінії суттєво відрізняються одна від одної. Разом вони надають опис різноманітних варіантів майбутнього, зокрема, ураховують демографічні зміни, економічний розвиток та технологічні зміни [95].

Сюжетна лінія та сценарна родина A1 містить опис майбутнього світу, що характеризується швидким економічним зростанням, змінами чисельності людства, показники якого досягають пікових значень у середині 21 століття з подальшим зменшенням, а також швидким упровадженням нових та ефективніших технологій. Першорядними питаннями будуть поступове зближення різних регіонів, створення потенціалу та активізація культурних і соціальних взаємозв'язків за умови значного зменшення регіональних відмінностей у доході на душу населення. Сценарна родина A1 розбивається на три групи, які надають опис альтернативних варіантів технологічних змін в енергетичній системі, а саме - відрізняються своїм центральним технологічним елементом: у групі (A1FI) переважають викопні види палива, у групі (A1T) – не викопні види палива і рівновага між усіма джерелами має спостерігатися у групі (A1B), яка не залежить від одного конкретного джерела енергії. Через те, що інші визначальні фактори будуть сталими, швидке зростання економіки спричинить високі показники обернення капіталу, внаслідок чого невеликі відмінності на початковому етапі між

сценаріями призведуть до великих розбіжностей до 2100 р.

В основі сценарію A2 лежить регіональна модель RCA, яка розробляється в Центрі Росбі (Швеція) з 1997 року. Базовою для неї була модель прогнозу погоди HIRLAM. У новій версії моделі RCA3 було значно поліпшено представлення підстильної поверхні[101].

Сценарій зміни клімату A1B був реалізований в декількох регіональних кліматичних моделях(табл. 3.3)[100].

Таблиця 3.3

Відомості про сценарії групи A1B

Сценарій	Інститут	Глобальна кліматична модель	Регіональна кліматична модель
M1	SMHI	HadCM3Q3	RCA
M2	HC	HadCM3Q0	HadRM3Q0
M3	HC	HadCM3Q3	HadRM3Q3 (low sensitivity)
M4	HC	HadCM3Q16	HadRM3Q16 (high sensitivity)
M5	C4I	HadCM3Q16	RCA3
M6	ETHZ	HadCM3Q0	CLM
M7	KNMI	ECHAM-r5	RACMO
M8	SMHI	BCM	RCA
M9	SMHI	ECHAM-r5	RCA
M10	MPI	ECHAM-r5	REMO
M11	CNRM	ArpegeRM5.1	Aladin
M12	DMI	ARPEGE	HIRHAM
M13	DMI	ECHAM-r5	DMI-HIRHAM5
M14	DMI	BCM	DMI-HIRHAM5
M15	ICTP	ECHAM-r5	RegCM

Аналіз і розрахунки змін середніх багаторічних величин метеорологічних характеристик та річного кліматичного стоку за сценарієм A1B та A2 за період 1950-2100рр. були виконані для вузлів сітки, географічне положення яких відповідає положенню метеорологічних станцій Полтава та Суми.

Для сценарію M10 (регіональна модель REMO) встановлено, що середні річні температури, температури теплого та холодного періодів будуть зростати (рис. 3.5- 3.7). У холодний період виділена лінія тренду у м. Полтава перейде у область додатних температур між 2020 та 2030 роками (рис. 3.7), а у м. Суми, яке знаходиться на північному сході розглянутої території, цей перехід відбудеться пізніше - після 2060р. (рис.3.8). При побудові різницевої інтегральної кривої середніх річних температур повітря за даними сценарію було виявлено, що переломним у зростанні температур повітря буде кінець десятиріччя -2020-2030рр. (рис.3.9).

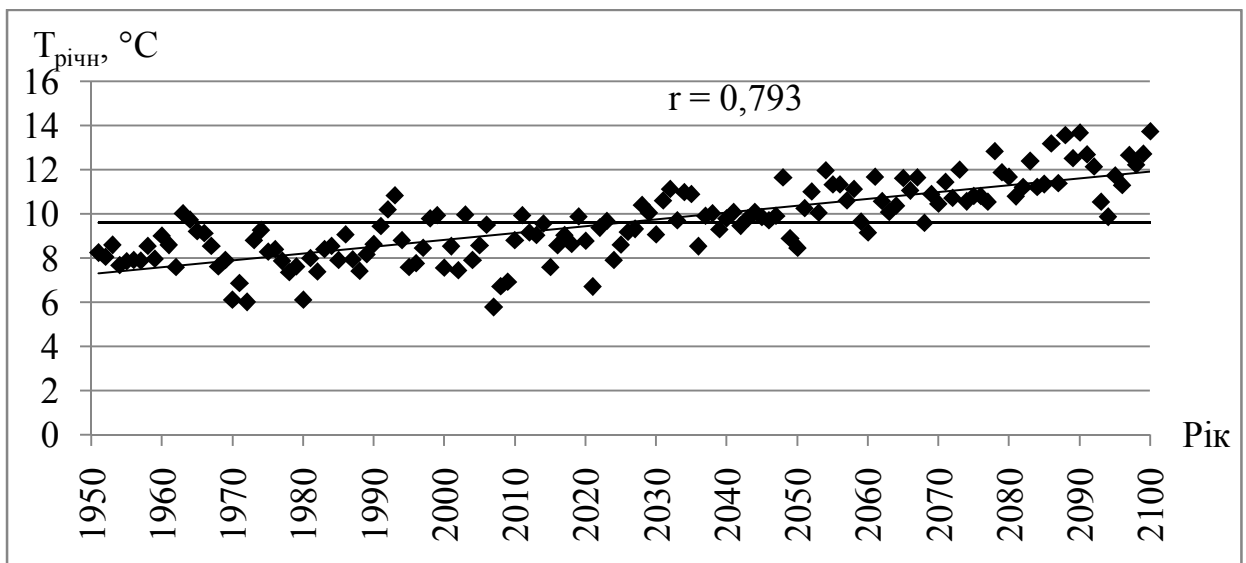


Рис. 3.5 Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм A1B (M10), м. Полтава, 1951-2100рр.

(---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

У змінах річних опадів, згідно сценарію A1B (M10), буде спостерігатися тенденція до їх збільшення, головним чином, за рахунок холодного періоду року (рис.3.10-3.12). При аналізі різницевої інтегральної кривої річних сум опадів за період 1951-2100рр. встановлено, що за сценарієм A1B на водозборах досліджуваних річок з 2010р. по 2020р. буде спостерігатися маловодна фаза, яка потім перейде у багатоводну (рис.3.13).

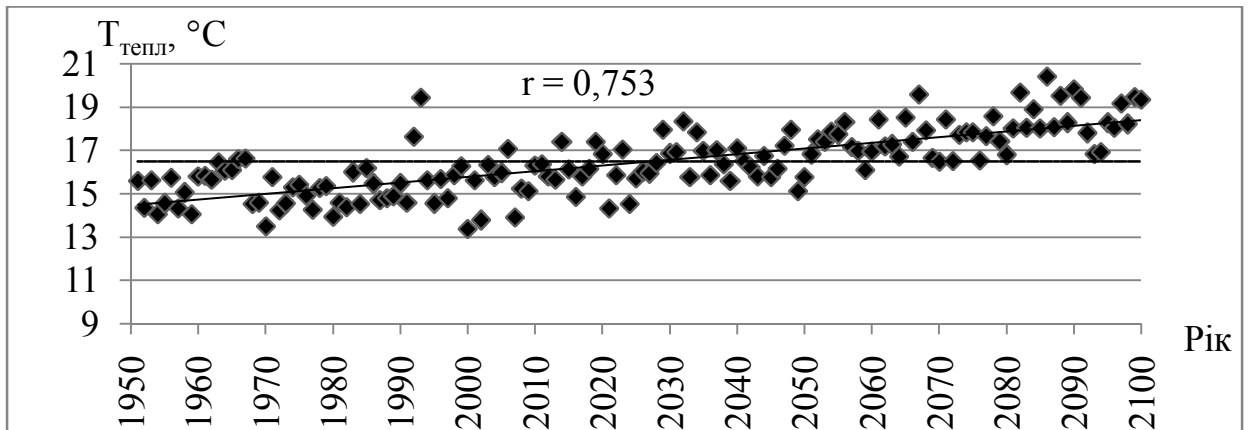


Рис. 3.6 Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-Xміс.) за сценарієм A1B (M10), м. Полтава, 1951-2100рр.

(---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

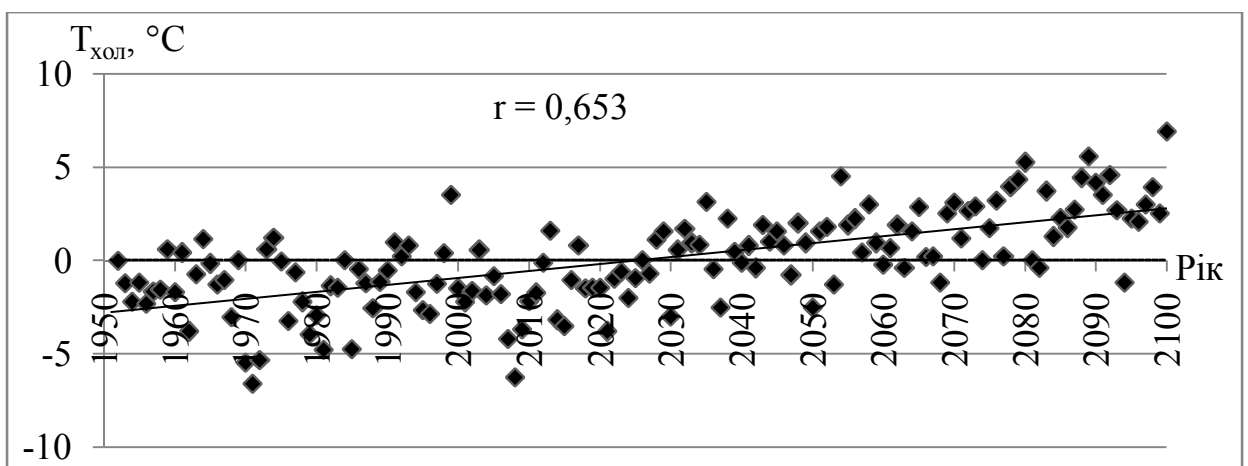


Рис. 3.7 Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм A1B (M10), м. Полтава, 1951-2100рр.

(---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

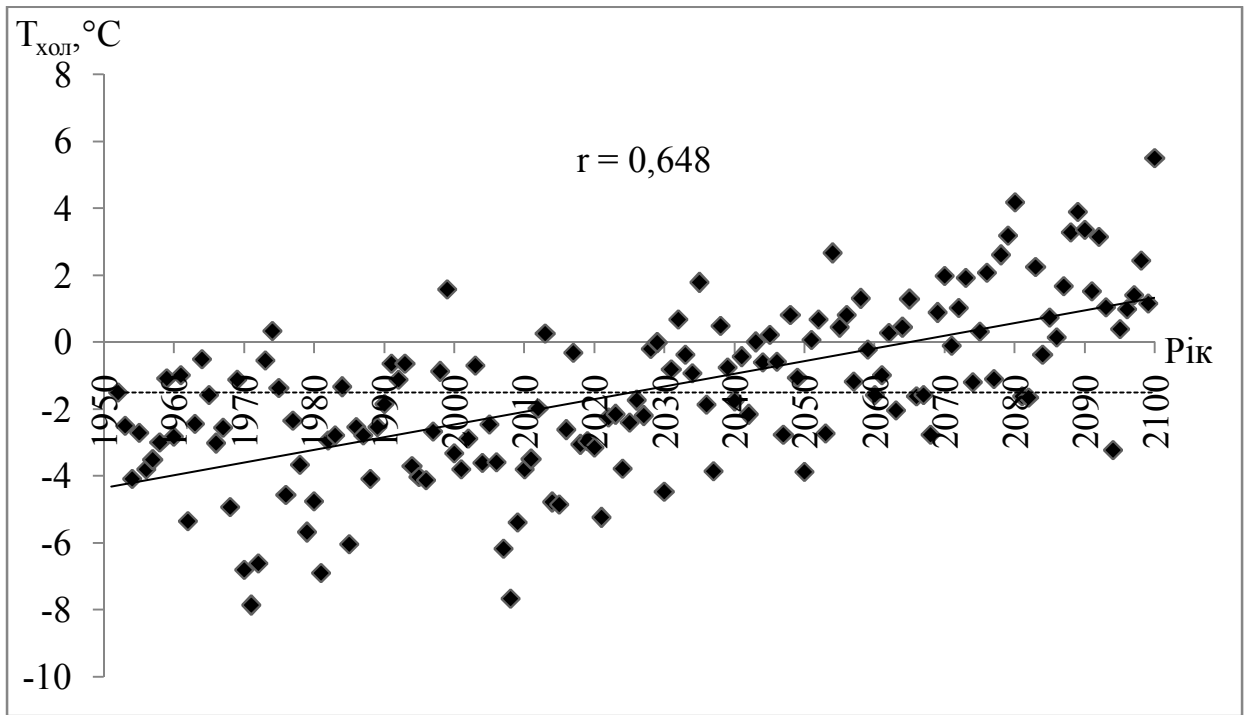


Рис. 3.8 Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А1В (М10), м. Суми, 1951-2100рр.

(---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

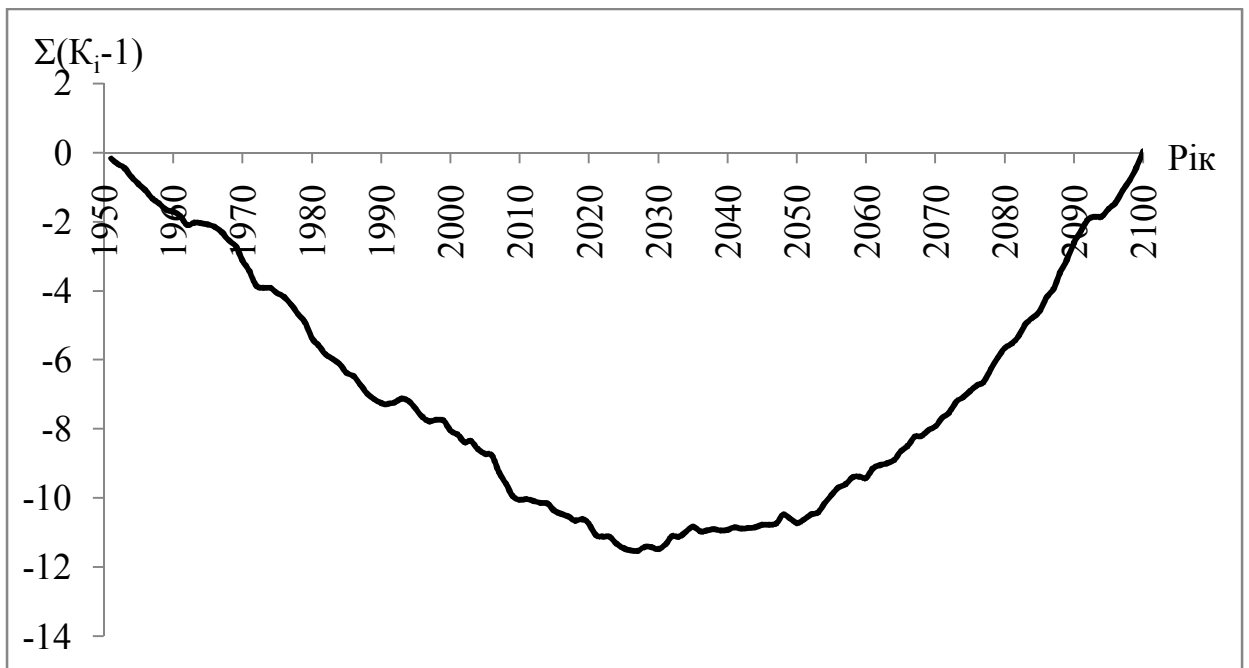


Рис. 3.9 Різницева інтегральна крива середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М10), м. Суми, 1951-2100рр.

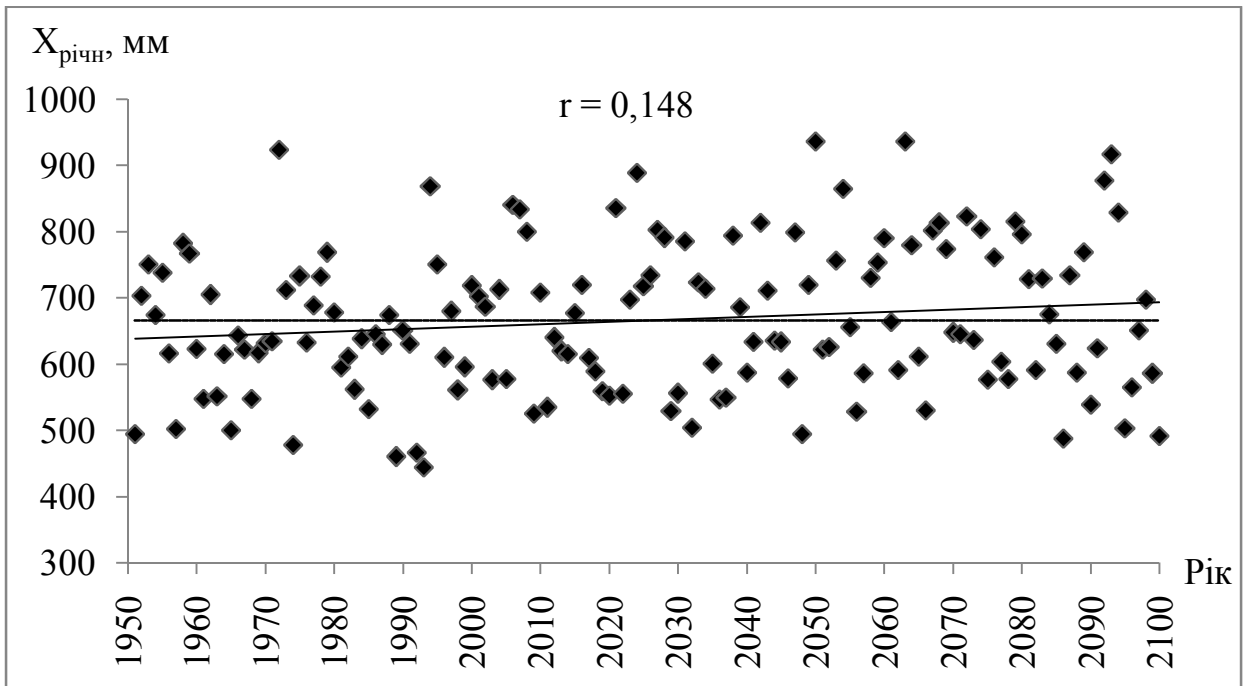


Рис. 3.10 Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М10), м. Полтава, 1951-2100 рр.
(---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

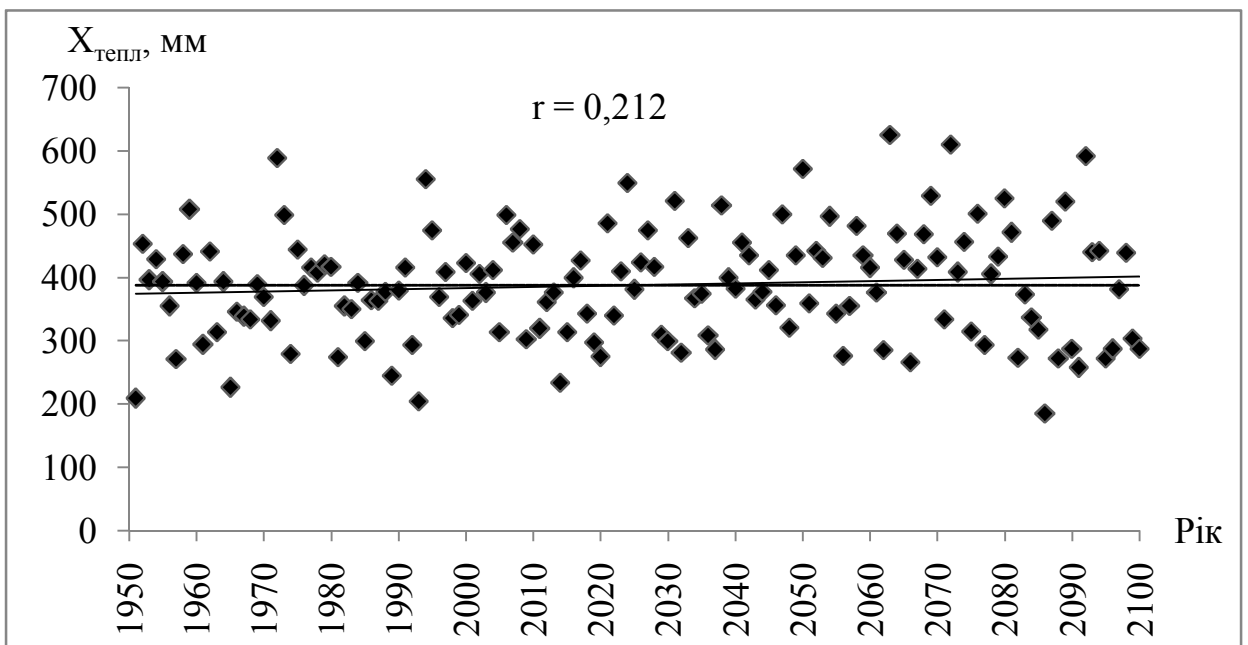


Рис. 3.11 Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В (М10), м. Полтава, 1951-2100 рр.
(---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

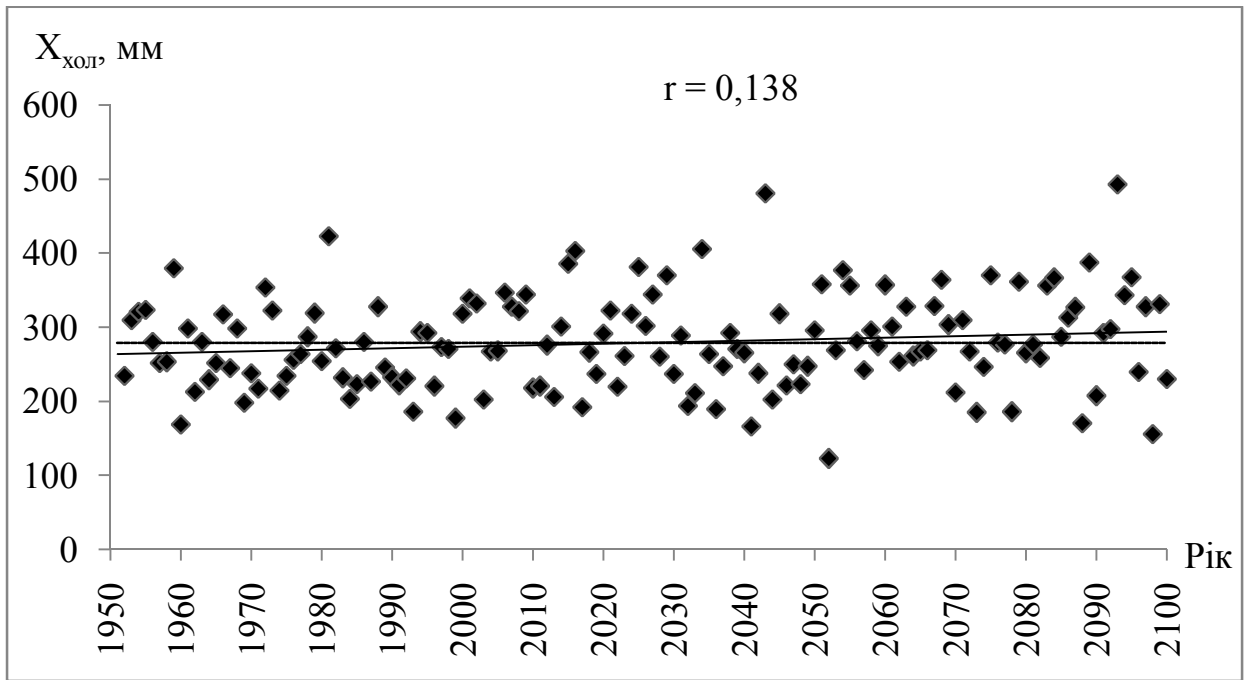


Рис. 3.12 Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм A1B (M10), м. Полтава, 1951-2100 рр.
(---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

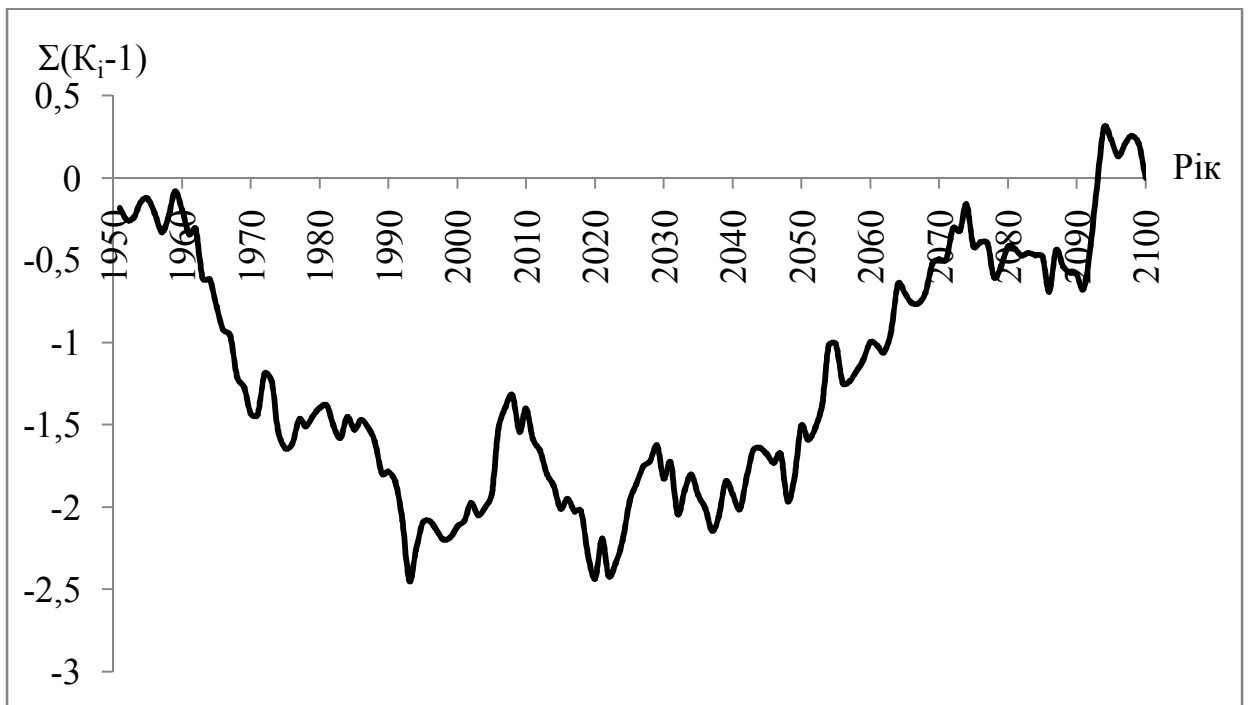


Рис. 3.13 Різницевої інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм A1B (M10), м. Суми, 1951-2100 рр.

Розрахунки середніх багаторічних величин річного кліматичного стоку були виконані за тридцятирічні періоди (1951-1989рр., 1990-2030рр., 2031-2060рр., 2061-2100рр.) (табл.3.4, табл.3.5). Отримані результати свідчать про те, що у ХХІ сторіччі на водозборах річок Псел та Ворскла буде відбуватися поступове зростання річних опадів (до 8%) та максимально можливого випаровування (до 23%). Оскільки зростання максимально можливого випаровування \bar{E}_m переважатиме, середня багаторічна величина стоку буде зменшуватись. У кінці сторіччя можлива ситуація, коли водні ресурси території знизяться від 19% на північному заході (метеостанція Суми) до 22% - на південному сході (метеостанція Полтава). Показник зволоження (посушливості) $\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$ також буде знижуватись за рахунок зростання теплоенергетичних ресурсів клімату.

Таблиця 3.4

Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних ресурсів за сценарієм A1B (M10), м. Суми

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	734	-	780	-	0.94	134	-
1990-2030	769	4.7	816	4.60	0.94	141	4.9
2031-2060	791	7.7	870	11.5	0.91	135	-0.30
2061-2100	789	7.4	957	22.8	0.82	108	-19.3

Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних ресурсів за сценарієм A1B (M10), м. Полтава

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	640	-	867	-	0.74	68	
1990-2030	663	3.5	906	4.5	0.73	69	1.20
2031-2060	679	6.0	963	11.1	0.71	65	-5.40
2061-2100	685	7.0	1053	21.5	0.66	53	-21.8

Оскільки в роботі окрім сценарію A1B (M10) використані ще декілька сценаріїв (M1, M5, M11; сценарій A2, якому відповідає модель RCA), то було виконане порівняння річних норм максимально можливого випаровування \bar{E}_m , опадів \bar{X} та кліматичного стоку \bar{Y}_K , визначеного за моделлю «клімат – стік» та за ретроспективний період 1951 – 1989 рр., представлений у кожному із сценаріїв (табл. 3.6,3.7). Найкращий збіг кліматичних чинників отримано для сценарію M10 та M5. Норма річного кліматичного стоку з більшою точністю визначається за сценарієм M5. Згідно із цим сценарієм (табл.3.8,3.9), до 2030 року зменшення водних ресурсів або не відбувається, або відбувається у межах точності розрахунків ($\pm 10\%$). У 2031 – 2060 рр. воно досягне 20% на півдні (м. Полтава) і менше 13,6% - на півночі (м. Суми). До кінця XXI сторіччя можливе зменшення до 30% водних ресурсів.

Розрахунки середніх багаторічних змін кліматичних чинників та кліматичного стоку, виконані за сценарієм M1 (Додаток І, рис І.1 – І.16, табл. І.1, І.2) та M11 (Додаток К рис. К.1 –К.16, К.17 – К.20, табл. К.1, К.2) свідчать про більш інтенсивне у порівнянні із M10 (Додаток Л, рис. Л.1- Л.16, табл.Л.1, Л.2) та M5 (Додаток М, рис. М.1- М.18, табл.М.1, М.2), зменшення водних ресурсів (до 40% за M1 та до 50% - M11).

Таблиця 3.6

Порівняння значень опадів, випаровування та кліматичного стоку між розрахунковими характеристиками клімату та стоку, отриманими за моделлю «клімат – стік» та ретроспективними даними сценаріїв (1951 – 1989 рр.), м. Суми

Сценарій (модель)	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	\bar{Y}_K , мм	δ , %
Модель«клімат – стік»	652	-	800	-	87	-
A2	748	14.7	739	-7.6	158	81.6
A1B(M1)	749	14.9	744	-7.0	157	80.5
A1B(M5)	679	4.1	845	5.6	88	1.2
A1B(M10)	734	12.6	780	-2.5	134	54.0
A1B(M11)	629	-3.5	900	12.5	59	-32.2

Таблиця 3.7

Порівняння значень опадів, випаровування та кліматичного стоку між розрахунковими характеристиками клімату та стоку, отриманими за моделлю «клімат – стік» та ретроспективними даними сценаріїв (1951 – 1989 рр.), м. Полтава

Сценарій (модель)	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	\bar{Y}_K , мм	δ , %
Модель«клімат – стік»	607	-	860	-	56	-
A2	659	8.6	812	-5.6	88	57.1
A1B(M1)	713	17.5	810	-5.8	113	101.8
A1B(M5)	626	3.1	928	7.9	53	-5.4
A1B(M10)	640	5.4	867	0.8	68	21.4
A1B(M11)	568	-6.4	994	15.6	32	-42.9

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм A1B (M5), м. Полтава**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	626	-	928	-	0.68	53	-
1990-2030	667	6.55	1011	8.94	0.66	54	1.89
2031-2060	674	7.67	1126	21.3	0.59	42	-20.8
2061-2100	667	6.55	1234	32.9	0.54	32	-39.6

Таблиця 3.9

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів сценарієм A1B (M5), м. Суми**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	679	-	845	-	0.80	88	-
1990-2030	705	3.83	924	9.35	0.76	81	-7.96
2031-2060	745	9.72	1028	21.7	0.73	76	-13.6
2061-2100	758	11.64	1126	33.3	0.67	64	-27.3

Результати розрахунків, отримані за сценарієм A2 (Додаток Н, рис.Н.1 – Н.16, табл.Н.1, Н.2) показують, що водні ресурси будуть зменшуватися дуже повільно, що обумовлено меншою інтенсивністю зростання температур повітря. Наприклад, для метеостанції м. Полтава за сценарієм A1B (M10)

збільшення річної температури у період 1951 – 2050 рр. становитиме близько 3°C, а за сценарієм A2 тільки - 1°C.

Висновки до розділу 3

1. У роботі набула подальшого розвитку модель «клімат-стік», розроблена в ОДЕКУ, у частині оцінювання впливу підстильної поверхні на норми кліматичного річного стоку річок Псел та Ворскла, які визначаються за картою ізоліній. До норм річного кліматичного стоку, визначених за запропонованою картою ізоліній, рекомендовано вводити коефіцієнти, які відображають вплив підстильної поверхні. Інтегральним чинником визнана площа підстильної поверхні. Проте, характер впливу підстильної поверхні для розглядуваних річок різний. Для річки Псел є значущим чинником неповне дренажування водоносних горизонтів руслом річки. Отже, при зростанні площі водозбору до F_{2KP} , підземне живлення річки збільшується. На водозборі річки Ворскла, яка розташована південніше і межує із степовою зоною, більшу роль відіграє нерівномірність розподілу снігового покриву на водозборі. Річний стік з малих та середніх водозборів більший, ніж з усього водозбору у цілому. Це пояснюється відмінністю між повною та «діючою» площею: у формуванні стоку головне значення мають яри та балки, де відбувається накопичення снігу. Саме весняне водопілля забезпечує формування основної частини річного стоку. Перевірні розрахунки, виконані для малих та середніх річок, показали задовільний збіг розрахованих та фактичних значень природного річного стоку. Результати роботи можуть бути використані при оцінках природного стоку малих та середніх річок з використанням даних сценаріїв глобального потепління.

2. Розрахунки середніх багаторічних величин кліматичного стоку за 30-ти річні періоди (1951-1989рр., 1990-2030рр., 2031-2060рр., 2061-2100рр.)

з використанням даних сценарію A1B (M10) дозволили установити, що за рахунок збільшення теплоенергетичних ресурсів клімату до 2100 року можливе зменшення водних ресурсів на 19-22%.

3. Оцінка кліматичних чинників та величини норм річного кліматичного стоку виконувались і за іншими сценаріями групи A1B та сценарієм A2. Співставлення величин $\bar{E}_m, \bar{X}, \bar{Y}_K$, визначених за моделлю «клімат – стік» та за сценарними даними у період 1951 – 1989 рр., показали, що найкращі результати відносяться до моделей M5 та M10. Згідно із моделлю M5, до 2100 року можливе зменшення водних ресурсів на 20 – 30%. Усі розглянуті моделі сценарію A1B показують сталу тенденцію до зменшення водних ресурсів.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ГІДРОХІМІЧНОГО ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧОК

4.1 Огляд досліджень з гідрохімічного та гідроекологічного стану вод за літературними джерелами

Дослідження гідрохімічного та гідроекологічного стану річок Псел та Ворскла входять до складу наукових досліджень вчених України, які належать різним напрямкам та науковим школам. Так, в інституті гідробіології НАН України вивчаються водні екосистеми як результат взаємодії біотичних та абіотичних компонентів [32], при цьому гідрологічні явища розглядаються як чинники формування екологічного стану водних об'єктів [24;25]. В інституті геологічних наук НАН України значна частина наукових робіт присвячена дослідженню вмісту та розподілу важких металів у різних компонентах водних екосистем [35], міграції забруднюючих речовин в підземній гідросфері (Шестопалов В.М., 2003). Інститут водних проблем і меліорацій (Яцик А.В, 2004), Український науково-дослідний інститут екологічних проблем присвячують свою діяльність вивченню антропогенного впливу на якість вод. В Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті розглядаються основи формування хімічного складу поверхневих вод України в природних та антропогенних умовах [19]. Значний внесок у розвиток гідрохімії та гідроекології річок України внесли вчені Київського Національного університету імені Тараса Шевченка [15; 21;67;68]. Насамперед, це роботи В.І. Пелешенка (засновника школи гідрохімії на кафедрі гідрології), Л.М.Горєва (пріоритетний напрям: меліоративна гідрохімія), В.К. Хільчевського (гідрохімія поверхнево - схилового стоку, гідроекологія), М.І. Ромася (якість водойм охолоджувачів), С.І. Сніжка (гідрохімічні системи). На теперішній час під керівництвом проф.

В.К. Хільчевського активно вивчаються взаємозв'язки між гідрохімічними, гідрологічними й гідробіологічними процесами у поверхневих та підземних водах, які сформовані під дією природних та антропогенних чинників й впливають на життєдіяльність організмів. Інформація та узагальнення, які стосуються гідрохімічних та гідроекологічних властивостей річок басейну Дніпра представлені у роботах [19, 77, 78, 81, 82, 85, 86,87].

Серед регіональних гідрохімічних досліджень річок можна назвати праці співробітників Інституту гідробіології НАН України, присвячені вивченню гідрохімії ставків та малих річок України [33] й гідрохімічного режиму дніпровських водосховищ [24,25]. У цих працях матеріали стосовно хімічного складу річок Псел та Ворскла подані фрагментарно (при описі Кременчуцького та Дніпродзержинського водосховищ). Певні матеріали про річки Лівобережного Лісостепу містяться в роботі, присвяченій характеристиці основних тенденцій формування хімічного складу поверхневих вод України у 1995- 1999 рр., виконані в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті [64]. Питання забруднення річок досліджуваної території вивчалися науковцями Центральної геофізичної обсерваторії Держгідрометслужби і опубліковані в роботі, присвяченій характеристиці сучасного стану забруднення поверхневих вод України [38].

Згідно із принципами районування, розробленими у Київському Національному університеті імені Тараса Шевченка, за фізико – хімічними умовами річки Псел та Ворскла відносяться до Лівобережно-Дніпровської провінції, яка включає в себе область пліоцен-неогенових та верхньо - палеогенових відкладень і район розповсюдження еолово-делювіальних відкладень у межах Полтавської лесової акумулятивної рівнини [16]. За оцінкою хімічного складу річкових вод України, басейни річок Псел та Ворскла можуть бути представлені як окреме однорідне гідрохімічне поле у межах лісостепової зони. При розгляді підземних вод лісостепової зони досліджувалися води четвертинних відкладень, у яких територіально

поширені води в еолово-делювіальних утвореннях та води дочетвертинних відкладень (підчетвертинних відкладів), які відносяться до пластових. При розгляді хімічного складу пластових (напірних) вод вони розглядаються як води палегенових (дочетвертинних) відкладень, а при дослідженні ґрунтових вод – як води еолово-делювіальних відкладень [20].

Гідролого - гідрохімічне районування території водозбору р. Дніпро у межений період наведене у роботі, виконаній під керівництвом В.К. Хільчевського [88]. Районування відбувалося з використанням відповідного програмного забезпечення за гідролого - гідрохімічними показниками з урахуванням природних (фізико-географічних і гідрологічних) умов формування мінімального стоку. Також була приділена увага виявленню періоду (в місяцях) формування мінімального стоку в межень по кожному району, виконаний розрахунок модулів мінімального стоку різної забезпеченості та визначення хімічного складу вод при мінімальних витратах 50-95відсоткової забезпеченості. При цьому басейни річок Сула, Псел та Ворскла були об'єднані у один район із середньою мінералізацією 780 мг/дм^3 для мінімальних середньомісячних модулів стоку 50-відсоткової забезпеченості у період межені (із серпня по вересень), які дорівнюють $0,2\text{--}1,3 \text{ л/с/км}^2$ і мають гідрокарбонатний кальцієво-магнієвий хімічний тип.

О.О. Алексін [1] запропонував систематизацію типів гідрохімічного режиму річок згідно із особливостями їх водного режиму, що ґрунтується на двох ознаках: характерних змінах мінералізації води протягом року та переважаючий вид аніонів у складі води. Розглядувані річки віднесені до східноєвропейського типу, який характеризується збігом у часі мінімуму мінералізації з максимумом витрати води у річці й порівняно великою амплітудою коливання значної кількості розчинених солей [88]. За переважаючим складом аніонів, води річок віднесені до гідрокарбонатних. При цьому води Псла та Ворскли ідентифікуються як гідрокарбонатно - кальцієві. Формули Курлова для місцевого стоку та підземних вод лісостепу України мають, відповідно, такий вигляд [20].

$$\frac{\text{HCO}_3 54 \text{SO}_4 24 \text{Cl} 22}{\text{Ca} 52 (\text{Na} + \text{K}) 26 \text{Mg} 22} ; \quad (4.1)$$

$$\frac{\text{HCO}_3 82 \text{Cl} 10 \text{SO}_4}{\text{Ca} 64 \text{Mg} 22 (\text{Na} + \text{K}) 14} . \quad (4.2)$$

У роботі вчених Гриба Й.В., Клименко М.О., Сондака В.В. [23] наводиться формула Курлова, що отримана безпосередньо для річкових вод р. Ворскла, яку автори представляють як річку зони комплексного антропогенного впливу

$$\frac{\text{HCO}_3 60 \text{SO}_4 22 \text{Cl} 18}{(\text{Na} + \text{K}) 64 \text{Ca} 30 \text{Mg} 6} . \quad (4.3)$$

За даними роботи [20], проведена оцінка Л.М. Горевим, В.І. Пелешенко, В.В. Кирничним середнього хімічного складу річкових вод в умовах близьких до природних (1937-1953 рр.) та у роки інтенсивної антропогенної діяльності (1961-1983 рр.) показала тенденцію до зростання мінералізації з 441 мг/дм³ до 564 мг/дм³. Згідно із даними за 1994-2004 рр. [88], середні значення мінералізації на досліджуваних річках коливаються в межах 600-1000 мг/дм³. Це означає, що за останні десятиріччя відбувся перехід від прісних вод до вод із підвищеною мінералізацією.

Мінералізація підземних вод вища мінералізації річкових: для вод четвертинних відкладень вона зростає від 672 мг/дм³ до 771 мг/дм³ по течії річок, для вод дочетвертинних відкладень – від 580 мг/дм³ до 709 мг/дм³, відповідно [20]. У зоні активного водообміну, де формується річний стік, мінералізація дорівнює 638 мг/дм³. Води дочетвертинних відкладень є гідрокарбонатно - кальцієвими, з підвищеною мінералізацією. Вміст водневих іонів в ґрунтових водах значно більший ніж у поверхневих, що

зумовлено більшими концентраціями вуглекислоти, яка не споживається в процесі фотосинтезу. Середні значення рН становлять 7,0 – 7,8 при фоновій концентрації 5,7 - 8,7 [88]. Пластові води є нейтральними (рН = 7,0 – 7,1) із значним вмістом гідрокарбонатних іонів. Однією із особливостей гідрохімічних умов у водах дочетвертинних відкладів є підвищені у порівнянні із ґрунтовими водами концентрації іонів амонію і нітритів та зменшується концентрація нітратних іонів. Це пояснюється зменшенням вмісту кисню у напірних водах і утворенням анаеробних умов, які зменшують швидкість процесів нітрифікації. Хімічний склад річкових вод для літньої межени, коли живлення річок відбувається переважно за рахунок підземних вод, визначений як гідрокарбонатно - кальцієвий і тільки води річки Хорол розглядаються як гідрокарбонатно – натрієво - кальцієві[16].

Згідно із сучасними просторово-часовими узагальненнями, наведеними у роботі [88], середні значення вмісту гідрокарбонатного іона за період 1994-2004 рр. на території водозборів річок Псел та Ворскла становили 320-400 мг/дм³, перевищуючи 400 мг/дм³ у містах Суми та Полтава. Основним джерелом цих іонів є карбонатні породи – вапняки, мергелі, доломіти. Середні значення концентрацій сульфатного іону змінюються у межах 100-200 мг/дм³, іноді 50-100 мг/дм³. Надходження сульфатів у воду пов'язане із осадовими породами. Сульфатні іони біологічно нестійкі і за відсутності кисню (анаеробні умови) можуть відновлюватися до сірководню. Карбонатні іони утворюються у воді при зростанні рН через порушення стану рівноваги, а в сильно лужних водах стають домінуючими. Вміст сульфат іонів і гідрокарбонатних іонів у воді лімітується наявністю іонів Ca²⁺.

Середні багаторічні значення хлоридних іонів сягають значень 89-150мг/дм³. Вони не утворюють важкорозчинних мінералів і мають високу міграційну здатність. Надходять ці іони від гірських порід та ґрунтів (особливо солончаків) і від скупчень солей, які мають місце на водозборах

розглядуваних річок. Хлоридні іони можуть надходити до води із промисловими і господарсько-побутовими стічними водами.

Середні концентрації іонів кальцію у водах Псла та Ворскли змінюються у межах 50-100 мг/дм³, збільшуючись до значень 100-200 мг/дм³ у водах р. Хорол. Домінуючий вміст кальцію серед катіонів характерний для слабкомінералізованих вод. Гідрокарбонатні кальцієві води мають регіональне поширення у добре дренованих місцевостях. Якщо мінералізація зростає, то відносний вміст Ca^{2+} швидко зменшується, що пояснюється порівняно обмеженою розчинністю сірчаноокислотних і низькою розчинністю вуглекислих солей кальцію. Джерелом надходження Ca^{2+} у природні води є вапняки, доломіти, гіпс, які розчиняються у воді.

Надходження до природних вод іонів магнію пов'язане переважно з розчиненням доломітів, мергелів або продуктів вивітрювання порід. Краща розчинність сульфатів та гідрокарбонатів магнію у порівнянні із відповідними солями кальцію сприяє збільшенню концентрацій Mg^{2+} . Середні концентрації іонів магнію за період 1994-2004 рр. становлять 20-50 мг/дм³.

Значуще місце серед катіонів вод досліджуваних річок займає натрій. Середні концентрації іонів натрію за період 1994-2004 рр. становлять 50-100 мг/дм³, а для р. Хорол - 100-200 мг/дм³. Всі солі натрію добре розчинні. За міграційною здатністю натрій поступається лише хлору. Більшість іонів натрію урівноважується іонами хлору, утворюючи рухливу і стійку рівновагу. Одним із джерел надходження Na^{+} у воду досліджуваних річок є продукти вивітрювання вивержених порід. Другим важливим джерелом надходження Na^{+} у водах є поклади його солей, переважно кам'яної, а також розсіяні в ґрунтах і породах його сполуки (кристалики мінералів галіту, мірабіліту тощо). Крім того, одновалентні іони натрію витісняються з комплексу порід та ґрунтів двовалентними іонами кальцію і магнію, що сприяє його накопиченню у водах.

Серед біогенних речовин можна виділити наявність у водах річок сполуки фосфору. Середня концентрація фосфатних іонів змінюється у межах 0,10-0,20 мг/дм³, досягаючи у річці Хорол та у гирлі р. Ворскла 0,20-0,50 мг/дм³.

З мікроелементів у водах річок Псел та Ворскла зустрічаються іони важких металів: заліза, міді, цинку.

Середня концентрація загального заліза у природних водах, за даними [71], не перевищує 0,5 мг/дм³ і лише на р. Мерла (притоці р. Ворскла) може досягати 0,5-1,0 мг/дм³.

Середні значення вмісту міді у водах річок можуть досягати 10-20 мкг/дм³. Найважливішими джерелами надходження міді є стічні води хімічних та металургійних виробництв, шахтні води, стічні води з сільськогосподарських угідь.

Залізомарганцеві руди, які знаходяться на території Курської магнітної аномалії, обумовлюють наявність у водах марганцю концентрації якого у водах поблизу м. Суми можуть становити 100-150 мкг/дм³, а у середньому становлять 50-100 мкг/дм³.

Багаторічна динаміка (1981-1998 рр.) хімічного складу річкових вод лівобережних приток Дніпра у зоні Лісостепу (р. Сула і р. Псел) розглядалася у роботі В.М. Савицького, І.О. Шевчука, В.І. Пелешенко [80]. В ній коротко охарактеризовані групи головних іонів, біогенних речовин, деяких важких металів й забруднюючих речовин. Для р. Псел – с. Запсілля автори відзначають зростання вмісту хлоридів. Вміст сульфатів у воді р. Псел дещо знизився, а динаміка мінералізації води характеризувалася значними варіаціями з відчутним зниженням у кінці досліджуваного періоду. Стосовно динаміки вмісту інших хімічних компонентів чітких закономірностей не виявлено.

Певне уявлення про сезонні зміни, у другій половині минулого сторіччя, вмісту головних іонів, біогенних речовин і деяких мікроелементів в річкових водах Псла і Ворскли дають матеріали роботи Л.М. Горєва,

В.І. Пелешенка, В.К. Хільчевського [21], у яких наведені дані (до 1980 року) для двох пунктів спостережень: р. Псел – с. Запсілля та р. Ворскла – с. Чернеччина (табл. 4.1). В ній відзначається про наявність зв'язку між мінералізацією та водним режимом: у період весняного водопілля спостерігається найменша мінералізація.

Таблиця 4.1

Середній вміст головних іонів (мг/дм³) у воді річок Псел і Ворскла в різні сезони року [24]

Сезони	НСО ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Сума
р. Псел – с. Запсілля							
Весняна повінь	249.9	77.1	49.9	51.9	38.8	33.2	500.8
Літньо-осіння межень	345.4	83.7	35.2	92.8	22.9	36.7	616.7
Зимова межень	413.7	107.9	34.9	96.4	23.9	33.1	709.9
р. Ворскла – с. Чернеччина							
Весняна повінь	237.0	63.8	20.1	63.9	15.9	26.5	427.2
Літньо-осіння межень	363.9	71.9	25.6	70.2	23.6	51.3	606.5
Зимова межень	452.2	89.3	36.4	122.7	21.2	68.4	790.2

Подальші узагальнення багаторічних даних гідрохімічного моніторингу Гідрометслужби України (1946-2009 рр.) були виконані О.О. Винарчук [6] під керівництвом проф. В.К. Хільчевського. Авторами приділена значна увага внутрішньорічному режиму хімічних елементів річок лівобережного лісостепу України. Установлена тенденція до постійного зростання мінералізації по всіх сезонах, яка найбільш виражено проявляється нижче міст. У внутрішньорічному ході біогенних речовин виявлене зменшення їх концентрацій у вегетаційний період та зростання у зимовий

сезон. У багаторічних коливаннях мінералізації води та концентрації головних іонів виділені три характерних періоди: умовного гідрохімічного фону (1946-1979 рр.), трансформаційний (1980-1993 рр.) та сучасний (1994-2009 рр.). У сучасному періоді відмічені наслідки внутрішньорічного перерозподілу стоку (зменшення максимального стоку весняного водопілля та зростання стоку межені), яке відбувається за рахунок змін клімату та супроводжується зростанням мінералізації у водопіллі у порівнянні із попередніми роками.

Авторами була виконана екологічна оцінка якості води з використанням розрахунків середньорічних значень блокових індексів I_1, I_2, I_3 та підсумковим інтегральним екологічним індексом I_E для періоду 1989-2009рр. Результати досліджень показали, що води річок Псел та Ворскла за індексом сольового складу I_1 відносяться до 3 категорії II класу якості, що характеризує ці води як переважно «добрі» за станом та «досить чисті» - за ступенем забруднення. За блоком еколого - санітарних показників I_2 , води відповідають 3-ій та 4-ій категоріям II та III класів якості. Середньорічні значення блоку токсичної дії I_3 найнижчі з усіх узагальнюючих блоків та відповідають 2-ій та 3-тій категоріям II класу «добрі» за станом та «чисті» - за ступенем забруднення. Найвищою якістю води за багаторічним просторовим розподілом середньо річкових значень блокових індексів I_3 характеризується р. Мерла («дуже добрі» за станом, «чисті» - за ступенем забруднення).

Згідно з роботою [6] гідрохімічний моніторинг на річках Псел та Ворскла у рамках Державної гідрометеорологічної служби виконується у 8 пунктах спостережень (Додаток О Табл. О.1), за такими програмами: **А** – $t^{\circ}\text{C}$, рН, O_2 , O_2 -% насичення, завислі речовини, швидкість потоку, рівень води; **В** – H_2 ; **С** – кольоровість, прозорість, запах, CO_2 , твердість, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ;

HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} , $\text{P}_{\text{заг}}$, Si , мінералізація; **D** – NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ ; **E** – ХСК (БО), феноли, нафтопродукти, АСПАР, Cr(VI) ; **Y** – Mn, Fe, Cu, Zn.

4.2 Екологічна оцінка якості річкових вод

Вихідні дані для екологічної оцінки якості вод басейнів річок за окремими показниками групуються в межах трьох блоків. Ці дані піддаються певній обробці: обчислюються середньоарифметичні значення, визначаються мінімальні і максимальні значення, які всі разом характеризують мінливість кожного з показників якості води в реальних умовах виконання і наступного аналізу результатів спостережень.

Етап визначення класів і категорій якості води для окремих показників полягає у виконанні наступних дій:

- середньоарифметичні (середні) значення для кожного показника окремо зіставляються з відповідними критеріями якості води;
- найгірші значення якості води (максимальні або мінімальні) серед цих показників кожного блоку також зіставляються з відповідними критеріями якості води;
- на підставі проведеного зіставлення середньоарифметичних та найгірших значень для кожного показника окремо визначаються категорії якості води за середнім і найгіршим значеннями для кожного показника окремо;
- зіставлення середніх і найгірших значень з критеріями спеціалізованих класифікацій та визначення класів і категорій якості води за окремими показниками також (як і на першому етапі) виконується в межах відповідних блоків.

Етап узагальнення оцінок якості води за окремими показниками з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води виконується

лише на основі аналізу показників в межах відповідних блоків. Це узагальнення полягає у визначенні середніх і найгірших значень для трьох блокових індексів якості води, а саме: для індексу забруднення компонентами сольового складу (I_1), для трофо - сапробіологічного (еколого – санітарного) індексу (I_2), для індексу специфічних показників токсичної радіаційної дії (I_3). Таким чином, повинно бути визначено шість значень блокових індексів, а саме: $I_{1\text{сер}}$ та $I_{1\text{макс}}$; $I_{2\text{сер}}$ та $I_{2\text{макс}}$; $I_{3\text{сер}}$ та $I_{3\text{макс}}$. За значеннями блокових індексів якості води легко визначити їхню належність до певного класу і категорії якості води за допомогою системи екологічної класифікації.

Середні значення для трьох блокових індексів якості води визначаються шляхом обчислення середнього номера категорії за всіма показниками даного блоку, при цьому категорія 1 має номер 1, категорія 2 – номер 2 і так далі.

Етап визначення об'єднаної оцінки якості води для певного водного об'єкта в цілому або для окремих його ділянок полягає в розрахунку інтегрального або екологічного індексу (I_E). Значення екологічного індексу якості води визначається за формулою [65]

$$I_E = (I_1 + I_2 + I_3) / 3, \quad (4.4)$$

де I_1 – індекс забруднення компонентами сольового складу; I_2 – індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників; I_3 – індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Екологічний індекс якості води, як і блокові індекси, розраховується для середніх і для найгірших значень категорій окремо ($I_{E\text{сер}}$ і $I_{E\text{макс}}$).

Екологічна оцінка якості води поверхневих вод суші і естуаріїв України за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями

виконується на підставі середніх та найгірших значень кожного з гідрофізичних, гідрохімічних, гідробактеріологічних показників, а також індексів сапробності. Зрештою вони відповідають певному ступеню трофності та зоні сапробності води. Загальна кількість показників цього блоку для забезпечення обґрунтованих висновків не повинна бути меншою, ніж 10.

Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші і естуаріїв України за специфічними показниками токсичної і радіаційної дії виконується за кожним показником окремо.

Екологічна оцінка є неодмінною умовою екологічного нормування якості поверхневих вод, його попереднім етапом. Тому при виконанні екологічної оцінки необхідно передбачати зіставлення одержаних результатів із значеннями екологічних нормативів, встановленими для даного водного об'єкту. Це необхідно для аналізу відповідності (або невідповідності) якості вод значенням всіх тих показників, які встановлені в результаті екологічного нормування якості вод для конкретного водного об'єкту.

В роботі для визначення гідроекологічного стану вод річки Псел за період з 1990 по 2012 рр. були використані зведені матеріали по гідрохімічних показниках.

На першому етапі сформовані ряди даних з максимальних та середніх значень основних гідрохімічних показників, які використовуються в методиці для виконання екологічної оцінки.

На другому етапі визначалися класи і категорії якості води за окремими показниками. Можна відзначити, що за середніми значеннями показників води річки Псел відносяться до підвищено мінералізованих, класу якості вод - прісні води-I, категорії якості – олігогалінні-2. За максимальними значеннями показників води річки Псел коливаються від підвищено мінералізованих до високо мінералізованих. За критеріями іонного складу за досліджуваний період води річки належать до гідрокарбонатного класу, групи кальцієвих та натрієвих, тип I. За величиною

pH, як за середніми, так і за максимальними значеннями, води річки Псел належать до слабоко лужних.

В табл. 4.2 – 4.7 наведені переважаючі класи та категорії якості вод за критеріями сольового складу, за еколого – санітарними критеріями та критеріями вмісту специфічних речовин токсичної дії. Зміст цих таблиць розкривається таким чином: I – відмінні (1-відмінні); II – добрі (2 – дуже добрі, 3 - добрі); III – задовільні (4 – задовільні, 5 – посередні); IV – погані (6 - погані); V – дуже погані (7 – дуже погані). Установлено, що забруднення для р. Псел компонентами сольового складу відбувається за рахунок вмісту у воді значної концентрації хлоридних та сульфатних іонів (табл.4.2). Основними забруднювачами при описуванні еколого – санітарного блоку (табл.4.3) є завислі речовини, азот амонійний, азот нітритний, фосфор фосфатний, а також значний вміст органічних речовин (ХПК, БПК₅). Серед забруднюючих специфічних речовин токсичної дії виділяються залізо, марганець, мідь, цинк, феноли та СПАР (табл.4.4).

Таблиця 4.2

**Переважаючі класи та категорії класифікації якості вод за критеріями
сольового складу р. Псел**

Показники	Клас	Категорія
Сума іонів, мг/дм ³	II	2
Хлоридні іони, мг/дм ³	III	4
Сульфатні іони, мг/дм ³	II	3

Забруднення для р. Ворскла компонентами сольового складу відбувається також за рахунок вмісту у воді значної концентрації хлоридних та сульфатних іонів (табл.4.3). Основними показниками забруднення при описуванні еколого – санітарного блоку (табл.4,4 - 4.5) є прозорість, фосфор фосфатний, перманганат на окиснюваність, а також значний вміст органічних

речовин (ХПК, БПК₅). Серед забруднюючих специфічних речовин токсичної дії виділяються залізо, манган, цинк та нафтопродукти (табл.4.6 – 4,7).

Таблиця 4.3

**Переважаючі класи та категорії класифікації якості вод за
критеріями сольового складу р. Ворскла**

Показники	Клас	Категорія
Сума іонів, мг/дм ³	III	4
Хлоридні іони, мг/дм ³	III	5
Сульфатні іони, мг/дм ³	III	5

Таблиця 4.4

**Переважаючі класи та категорії класифікації якості вод за еколого-
санітарними критеріями р. Псел**

Показники	Клас	Категорія
Завислі речовини, мг/дм ³	II	3
Прозорість, м	IV	6
pH	II	2
Азот амонійний, мгN/дм ³	II	3
Азот нітритний, мгN/дм ³	III	5
Азот нітратний, мгN/дм ³	I	1
Фосфор фосфатний, мгP/дм ³	III	5
Розчинений кисень, мгO ₂ /дм ³	I	1
Насиченість киснем, %	III	5
Перманганатна окиснюваність, мгO ₂ /дм ³	II	3
Хімічне споживання кисню, мгO ₂ /дм ³	III	4
БСК ₅ , мгO ₂ /дм ³	III	4

На третьому етапі виконання екологічної оцінки проводилося

узагальнення оцінок якості води за окремими показниками по окремих блоках з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води, результати якого наведені на рисунках (Додаток О, рис. О.1 - О.6). Коливання індексів ($I_{1\text{сер}}$) та ($I_{2\text{сер}}$) показують, що екологічний стан річок може змінюватися від «доброго» до «задовільного» (Додаток О, рис.О.1, О.2). У змінах середніх значень показників блокового індексу специфічних речовин токсичної дії ($I_{3\text{сер}}$) відмічається тренд, який описує перехід від «посереднього» стану до «доброго» (Додаток О, рис О.3). При аналізі максимальних значень блокових показників установлене поліпшення екологічного стану у порівнянні із 90-тими роками за всіма блоками (Додаток О, рис.О.4-О.6).

Таблиця 4.5

Переважаючі класи та категорії класифікації якості вод за еколого-санітарними критеріями р. Ворскла

Показники	Клас	Категорія
Завислі речовини, мг/дм ³	III	4
Прозорість, м	IV	6
pH	II	3
Азот амонійний, мгN/дм ³	III	5
Азот нітритний, мгN/дм ³	II	3
Азот нітратний, мгN/дм ³	III	4
Фосфор фосфатний, мгP/дм ³	V	7
Розчинений кисень, мгO ₂ /дм ³	I	1
Перманганатна окиснюваність, мгO ₂ /дм ³	IV	6
Хімічне споживання кисню, мгO ₂ /дм ³	IV	6
БСК ₅ , мгO ₂ /дм ³	IV	6

Таблиця 4.6

Переважаючі класи та категорії класифікації якості вод за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної дії р. Псел (назва класів і категорій якості вод за їх станом):

Показники	Клас	Категорія
Залізо загальне, мкг/дм ³	III	4
Манган, мкг/дм ³	III	4
Мідь, мкг/дм ³	III	4
Цинк, мкг/дм ³	III	4
Нафтопродукти, мкг/дм ³	II	2
Феноли, мкг/дм ³	III	5
СПАР, мкг/дм ³	III	5

Таблиця 4.7

Переважаючі класи та категорії класифікації якості вод за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної дії р. Ворскла

Показники	Клас	Категорія
Залізо загальне, мкг/дм ³	III	4
Манган, мкг/дм ³	III	5
Мідь, мкг/дм ³	IV	6
Цинк, мкг/дм ³	IV	6
Нафтопродукти, мкг/дм ³	I	1
Феноли, мкг/дм ³	II	2
СПАР, мкг/дм ³	II	2

На четвертому етапі виконувалося визначення об'єднаної оцінки якості води (табл. 4.8 - 4.11). В результаті можна зробити такі основні

висновки: щодо якісного стану вод річок Псел та Ворскла за середнім значенням екологічного індексу - клас якості вод – III; категорія якості води - 4; назва класів якості вод за їх станом – «задовільні»; назва категорій якості вод за їх станом – «задовільні»; назва класів якості вод за ступенем їх чистоти – «забруднені»; назва категорій якості вод за ступенем їх забрудненості – «слабко забруднені».

За максимальним значенням екологічного індексу для річок Псел та Ворскла: клас якості вод – III; категорія якості води - 5; назва класів якості вод за їх станом – «задовільні»; назва категорій якості вод за їх станом – «посередні»; назва класів якості вод за ступенем їх чистоти – «забруднені»; назва категорій якості вод за ступенем їх забрудненості – помірно забруднені.

Таким чином можна зазначити, що у порівнянні з О.О. Вінарчук [6], отриманими для всього періоду спостережень (1946 – 2009 рр.), якість води у період 1990 – 2011 рр. погіршилася.

Об'єднана оцінка якості природних вод досліджуваних об'єктів за середніми значеннями показників

Водний об'єкт	Клас якості вод	Категорія якості вод	Назва класів якості вод за їх станом	Назва категорій якості вод за їх станом	Назва класів якості вод за ступенем їх чистоти	Назва категорій якості вод за ступенем їх чистоти
р. Псел	III	4	Задовільні	Задовільні	Забруднені	Слабко забруднені

Таблиця 4.9

Об'єднана оцінка якості природних вод досліджуваних об'єктів за максимальними значеннями показників

Водний об'єкт	Клас якості вод	Категорія якості вод	Назва класів якості вод за їх станом	Назва категорій якості вод за їх станом	Назва класів якості вод за ступенем їх чистоти	Назва категорій якості вод за ступенем їх чистоти
р. Псел	III	5	Задовільні	Посередні	Забруднені	Помірно забруднені

Таблиця 4.10

Об'єднана оцінка якості природних вод досліджуваних об'єктів за середніми значеннями показників

Водний об'єкт	Клас якості вод	Категорія якості вод	Назва класів якості вод за їх станом	Назва категорій якості вод за їх станом	Назва класів якості вод за ступенем їх чистоти	Назва категорій якості вод за ступенем їх чистоти
р. Ворскла	III	4	Задовільні	Задовільні	Забруднені	Слабко забруднені

Таблиця 4.11

Об'єднана оцінка якості природних вод досліджуваних об'єктів за максимальними значеннями показників

Водний об'єкт	Клас якості вод	Категорія якості вод	Назва класів якості вод за їх станом	Назва категорій якості вод за їх станом	Назва класів якості вод за ступенем їх чистоти	Назва категорій якості вод за ступенем їх чистоти
р. Ворскла	III	5	Задовільні	Посередні	Забруднені	Помірно забруднені

4.3 Оцінка зміни якості вод за методикою ІЗВ по довжині річок у різні за водністю роки

Гідрохімічний індекс забруднення ІЗВ, введений в дію Держкомгідрометом СРСР [81], відноситься до категорії показників, що найчастіше використовуються для оцінки якості водних об'єктів. Він визначається як середнє арифметичне значення перевищення концентрації певних речовин (азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, БСК):

$$IZB = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (4.5)$$

де C_i – середня концентрація одного з шести показників якості води; $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація показників якості води (господарське – питне водопостачання), у відповідності із галуззю водопостачання.

За даними спостережень, ІЗВ розраховувався для періоду спостережень з 1990-2011 рр., а також для характерних по водності років (1992р.-маловодний, 1994р.-середній за водністю та 1996р.-багатоводний). Розподіл показників якості води, визначених за величиною ІЗВ, по довжині річки, дозволив зробити висновки, що у середньому (рис.4.1,4.2) води річки Псел «забруднені» та «помірно забруднені». До створу р. Псел – м. Суми (вище міста) вода вже надходить забрудненою, тобто її первинне забруднення відбувається вище за течією, можливо, ще на території Росії. Нижче за течією індекс ІЗВ зменшується і вода стає «помірно забрудненою» (рис.4.1).

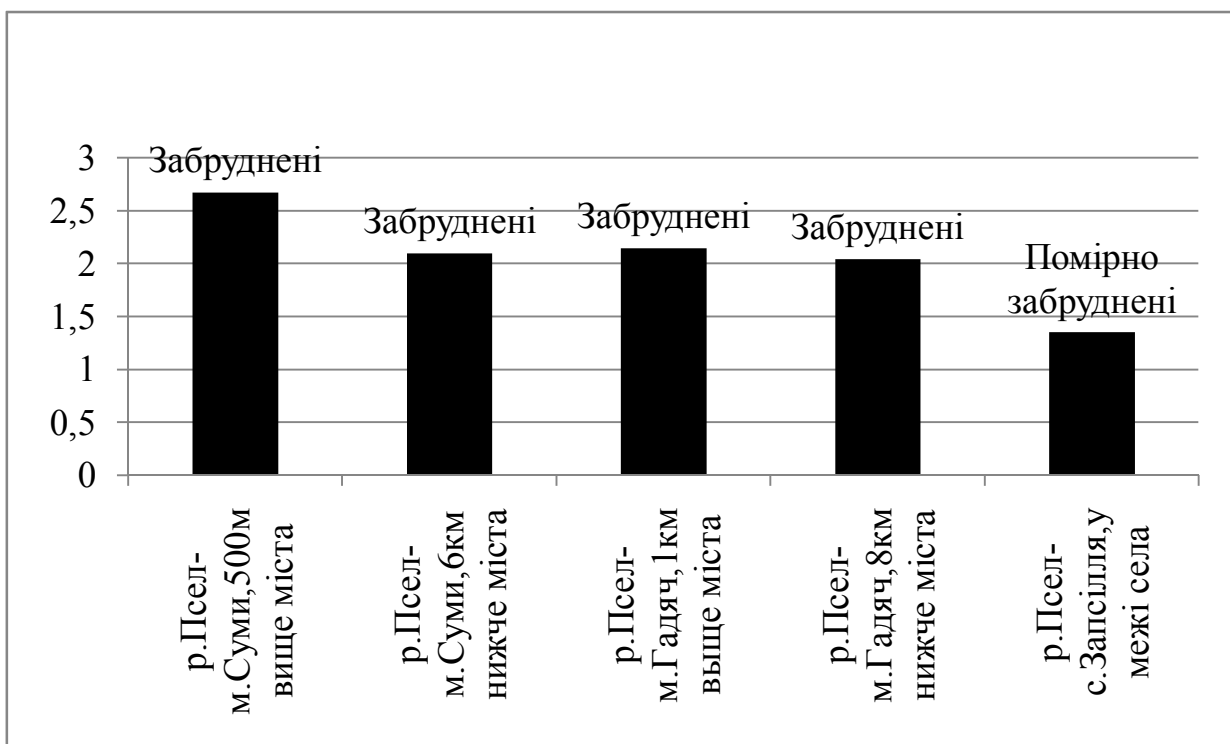


Рис.4.1. Зміна осереднених за період спостережень значень ІЗВ по довжині річки Псел

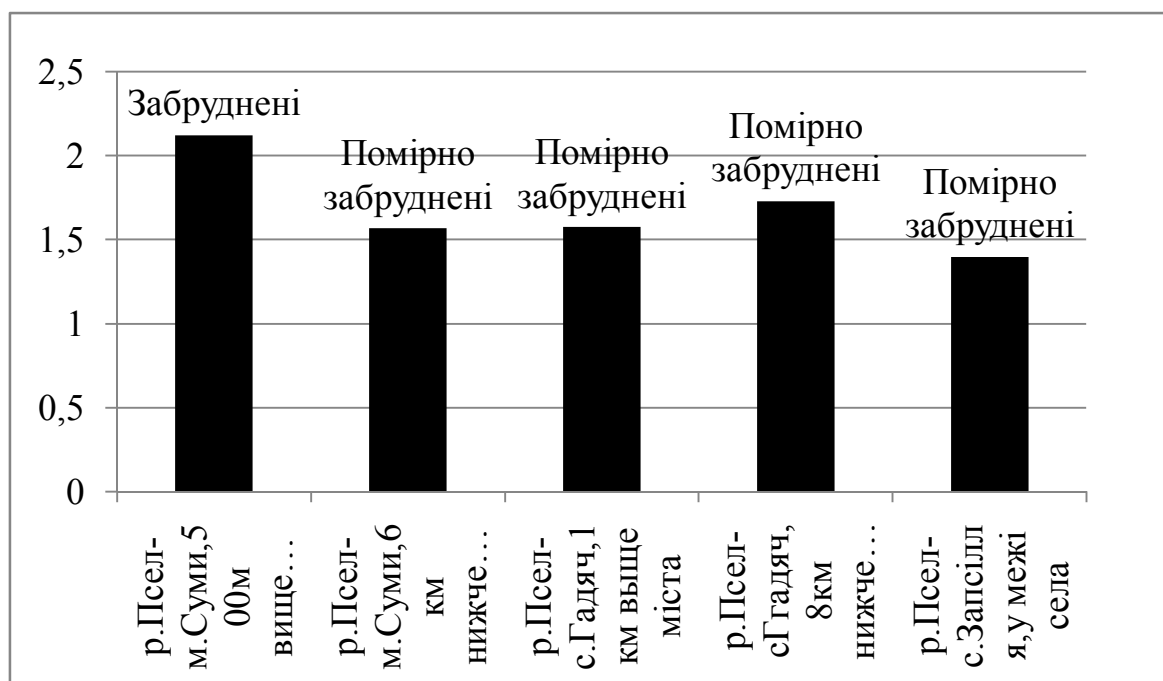


Рис.4.2. Зміна показника ІЗВ по довжині річки Псел (1994р. ,середній за водністю рік).

Значно сприяє забрудненню річки м. Гадяч, де знаходяться об'єкти харчової промисловості та комунально-господарські об'єкти (ОС ДП «Гадячсир», АТ «Надія» та очисні споруди Гадяцького ВУЖКГ). У маловодний рік вплив забруднюючих речовин у створі міста Гадяч посилюється (рис.4.3). За якістю у маловодний рік води р. Псел характеризуються як «забруднені» й «дуже брудні». Найбільше перевищення ГДК мають феноли, для яких кратність перевищення ГДК для потреб питного водопостачання дорівнює 30[70, 71].

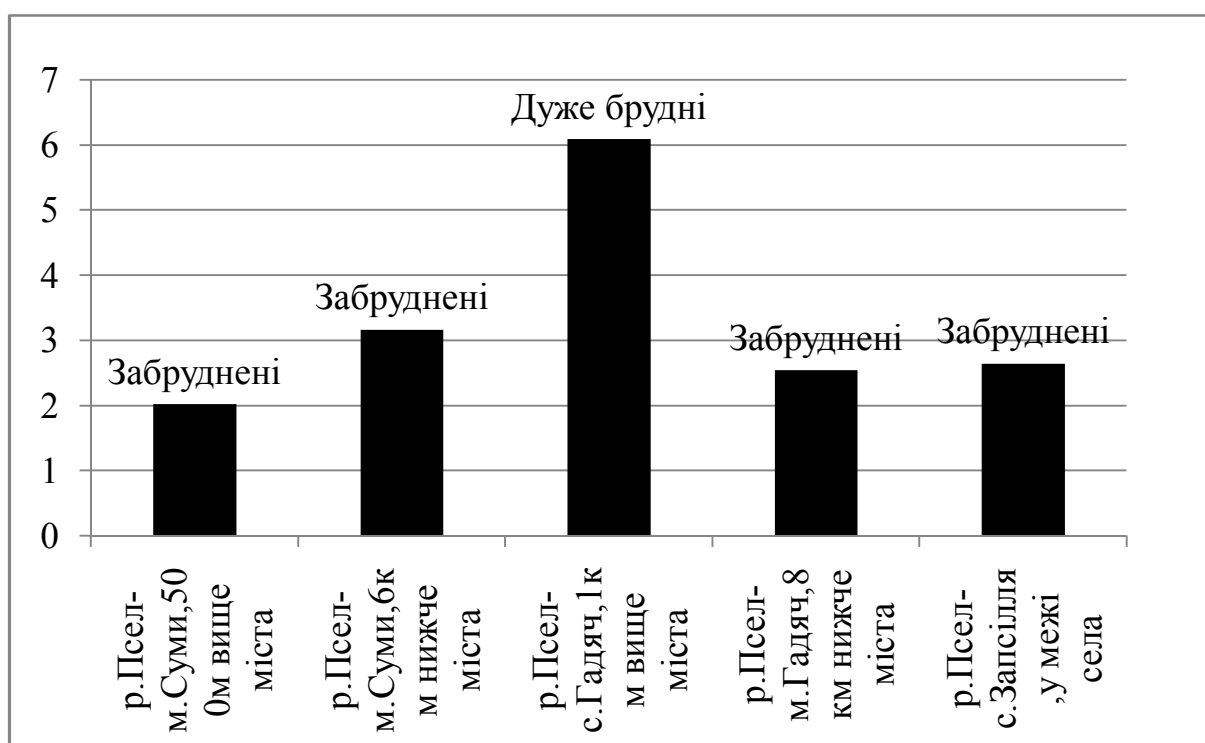


Рис.4.3. Динаміка ІЗВ по довжині річки Псел (1992р., маловодний).

Найменший вплив стічних вод спостерігається у багатоводний рік (рис.4.4), коли очисна здатність річки збільшується. Саме у багатоводний рік вода р. Псел переходить до категорії «чиста» у створі р. Псел - с. Запсілля, у той час, як у середній за водністю рік якість води покращується лише до категорії «помірно забруднена»[44,45].

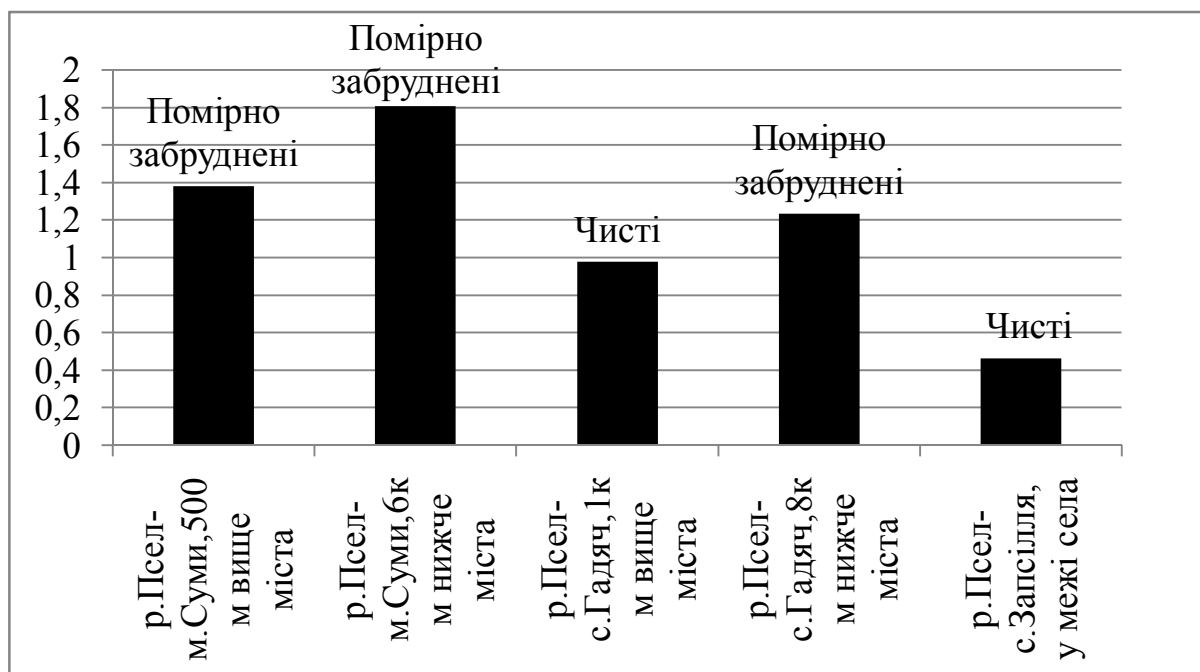


Рис.4.4. Зміна показника ІЗВ по довжині річки Псел
(1996р. ,багатоводний рік)

Якість вод річки Ворскла за індексом ІЗВ також характеризується як «забруднені» та «помірно забруднені» (Додаток О, рис.О.7).

У маловодний рік якість води найгірша, води відносяться до категорії «забруднених» по всій довжині річки, а у створі р. Ворскла – м. Полтава (у межах міста) води відносяться до категорії «брудних» (Додаток О, рис. О.8).

У багатоводний рік показники якості води, установлені за індексом ІЗВ, покращуються: води стають переважно «чистими» та «помірно забрудненими». Лише у створі м. Кобеляки (в межах міста) води досягають рівня «забруднені» (Додаток О, рис.О.9), що пов'язано з надходженням скидних вод підприємств сільського господарства[46.47, 48].

4.4 Оцінка зміни якості вод по довжині річок Псел та Ворскла у різні за водністю роки за критеріями шкідливості

Аналіз якості води також був здійснений за методикою, розробленою в НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерісмана [38]. Для визначення ступеня забруднення за цією методикою використовуються три критерії шкідливості, по кожному з яких формується певна група речовин і специфічних показників якості води:

1) критерій санітарного режиму (W_c), де враховується розчинений кисень, БСК₅, ХСК і специфічні забруднення, що нормуються за їхнім впливом на санітарний режим;

2) критерій органолептичних властивостей (W_ϕ), де враховується запах, завислі речовини, ХСК і специфічні забруднення, що нормуються за органолептичною ознакою шкідливості;

3) критерій, що враховує небезпеку санітарно-токсикологічного забруднення ($W_{ст}$), де враховується ХСК і специфічні забруднення, що нормуються за санітарно-токсикологічною ознакою.

Одні й ті ж показники можуть ураховуватися одночасно в декількох критеріях. Комплексна оцінка обчислюється окремо для кожної ознаки, яка лімітує шкідливість за такою формулою:

$$W = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - 1)}{n}, \quad (4.6)$$

$$\delta_i = \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (4.7)$$

де W - комплексна оцінка рівня забруднення; n - кількість показників, що використовуються в розрахунку; $ГДК_i$ - нормативне значення одиночного показника, $мг/дм^3$; C_i - концентрація хімічних речовин, $мг/дм^3$.

Якщо $\delta_i < 1$, тобто концентрація менша за нормативну, то приймається, що $\delta_i = 1$.

До формул додається також класифікаційна таблиця діапазонів значень комплексних оцінок W (табл.4.12).

Таблиця 4.12

**Ступінь забруднення водойм в залежності від значень
комплексних показників W**

Рівень забруднення	Критерій забруднення по величинах комплексних оцінок		
	Органолептичний (W_{ϕ})	Санітарний (W_c)	Санітарно- токсикологічний ($W_{ст}$)
Допустимий	1	1	1
Помірний	1.0-1.5	1.0-3.0	1.0-3.0
Високий	1.5-2.0	3.0-6.0	3.0-10.0
Надзвичайно високий	> 2.0	> 6.0	> 10.0

За критерієм органолептичних властивостей $W_{ор}$, рівень забруднення річок Псел та Ворскла знаходиться у межах «помірного» (рис. 4.5, 4.6). Над діаграмою указуються речовини, концентрація яких значно перевищує $ГДК$. Забруднення обумовлено, головним чином, нестачею кисню у воді, яке супроводжується зростанням біологічного споживання кисню ($БСК_5$). У багатоводні роки ситуація поліпшується і рівень забруднення переходить у категорію «допустимого» (Додаток О рис.О.10;О.11) [103]

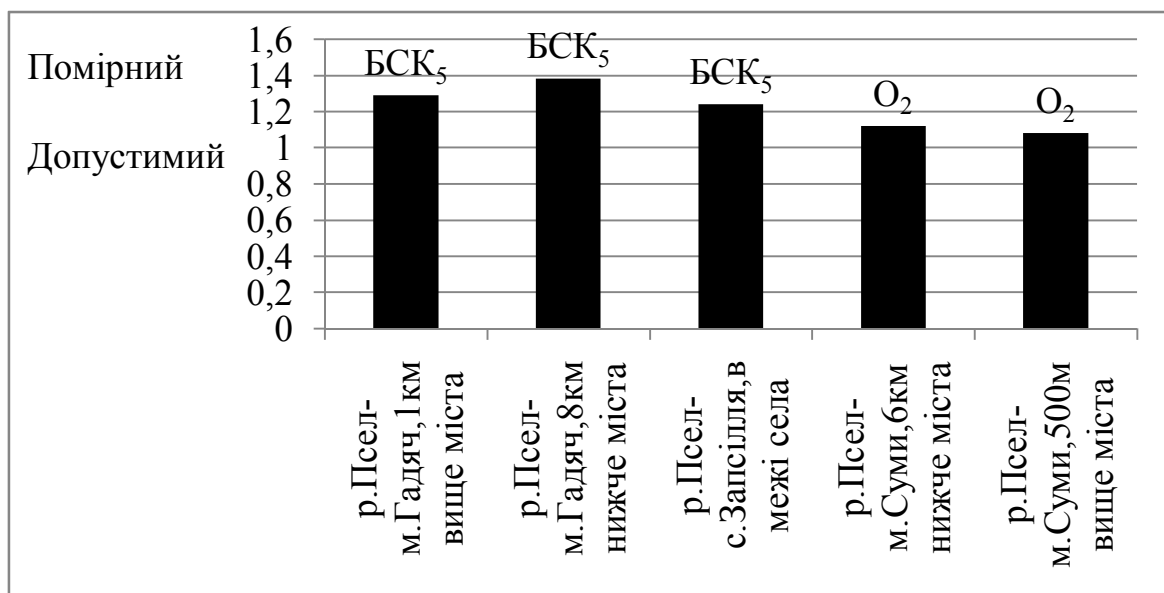


Рис.4.5. Зміна критерію органолептичних властивостей по довжині р. Псел за багаторічний період (1992-2007рр)

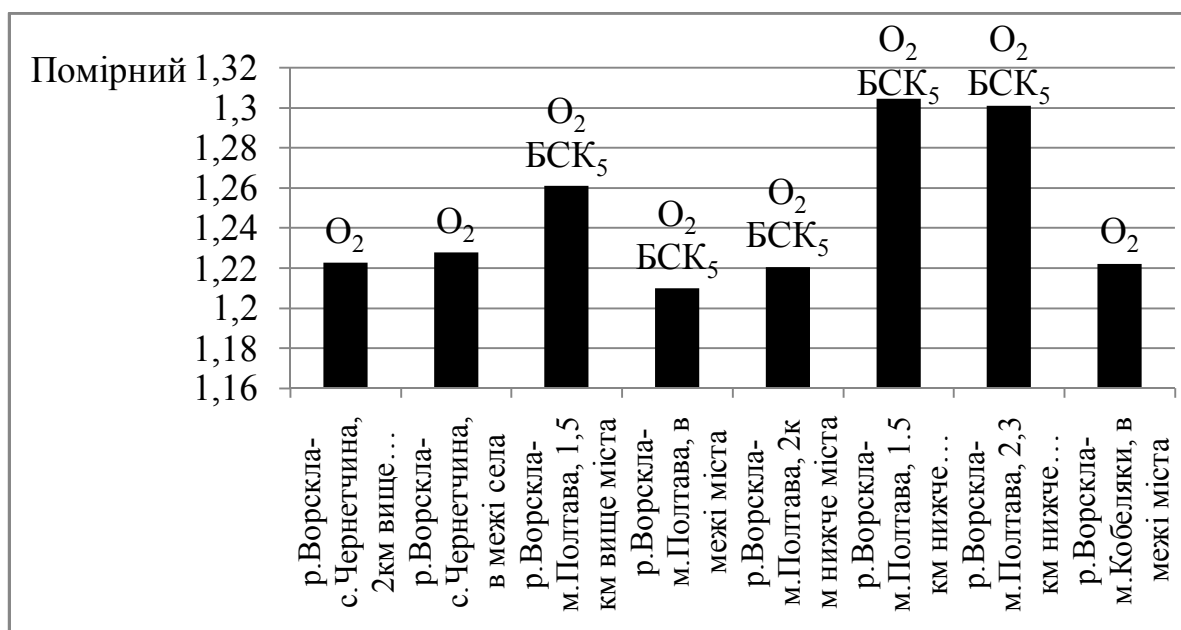


Рис.4.6. Динаміка критерію органолептичних властивостей по довжині р. Ворскла за багаторічний період (1992-2007рр)

За санітарним критерієм води річок «помірно забруднені» (рис.4.7,4.8). Перевищення ГДК господарсько-питного водопостачання по

фенолах та СПАР прослідковується на протязі усієї течії річок (у межах України). У маловодні роки можливий «високий» та «надзвичайно високий» рівні забруднення (рис. 4.9, Додаток О рис. О.12-О.15) [50,51].

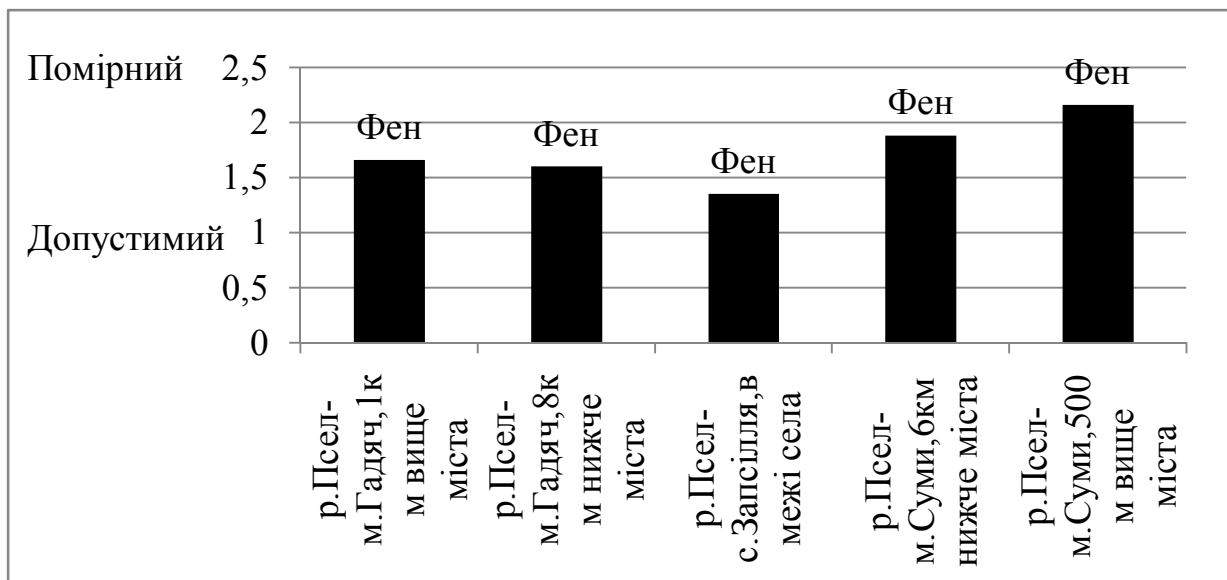


Рис.4.7. Динаміка критерію санітарного режиму по довжині р. Псел за багаторічний період (1992-2007рр)

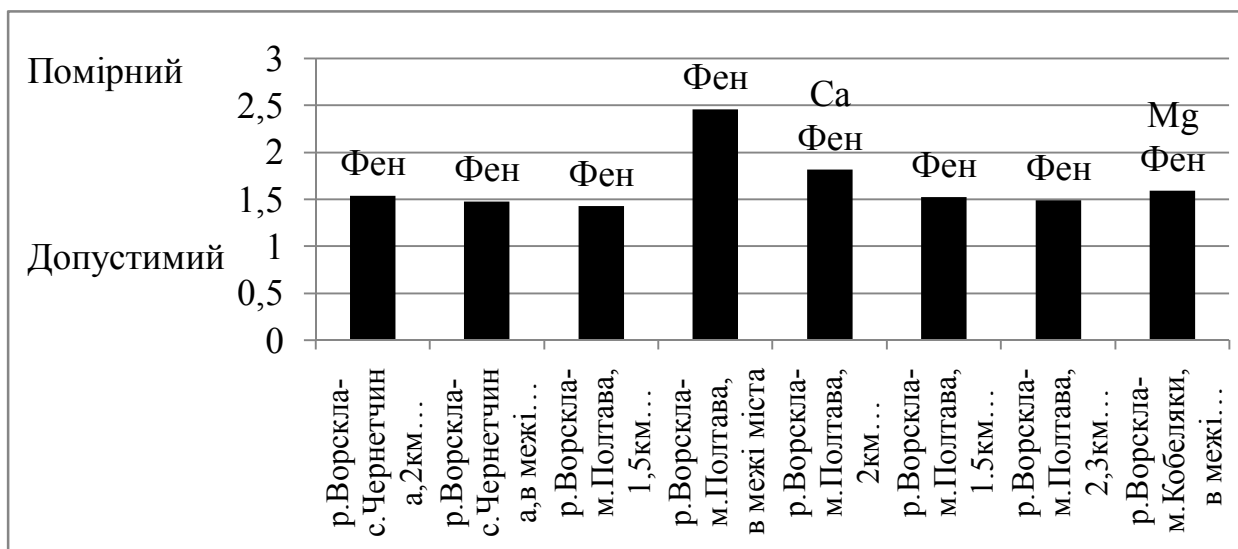


Рис.4.8. Динаміка критерію санітарного режиму по довжині р. Ворскла за багаторічний період (1992-2007рр),

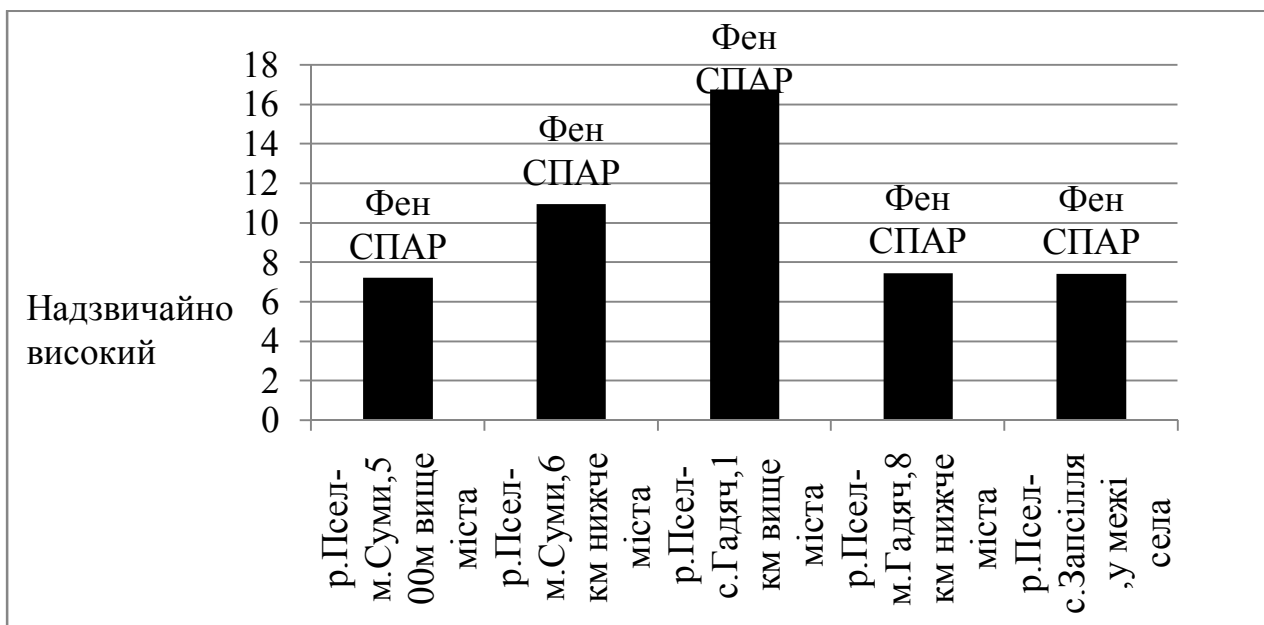


Рис.4.9. Динаміка критерію санітарного режиму по довжині р. Псел у маловодний рік (1992р.)

Аналіз змін якості води по довжині річок, установлений за критерієм санітарного – токсикологічного забруднення, показує, що цей вид забруднення пов'язаний із значним перевищенням вмісту заліза у воді. За багаторічний період (рис. 4.10, Додаток О, рис. О.16) забруднення знаходиться у межах «допустимого» або «помірного». На річці Псел роль вміст заліза є найбільшим для верхньої течії річки (рис 4.11), що може бути поясненим роботою промислових комплексів гірничо-видобувної та металургійної промисловостей, які функціонують на території РФ (Курська магнітна аномалія). «Високий» рівень забруднення може спостерігатися на р. Ворскла у маловодні роки (рис.4.12). (Додаток О, рис. О.17, О.18) [51,54]

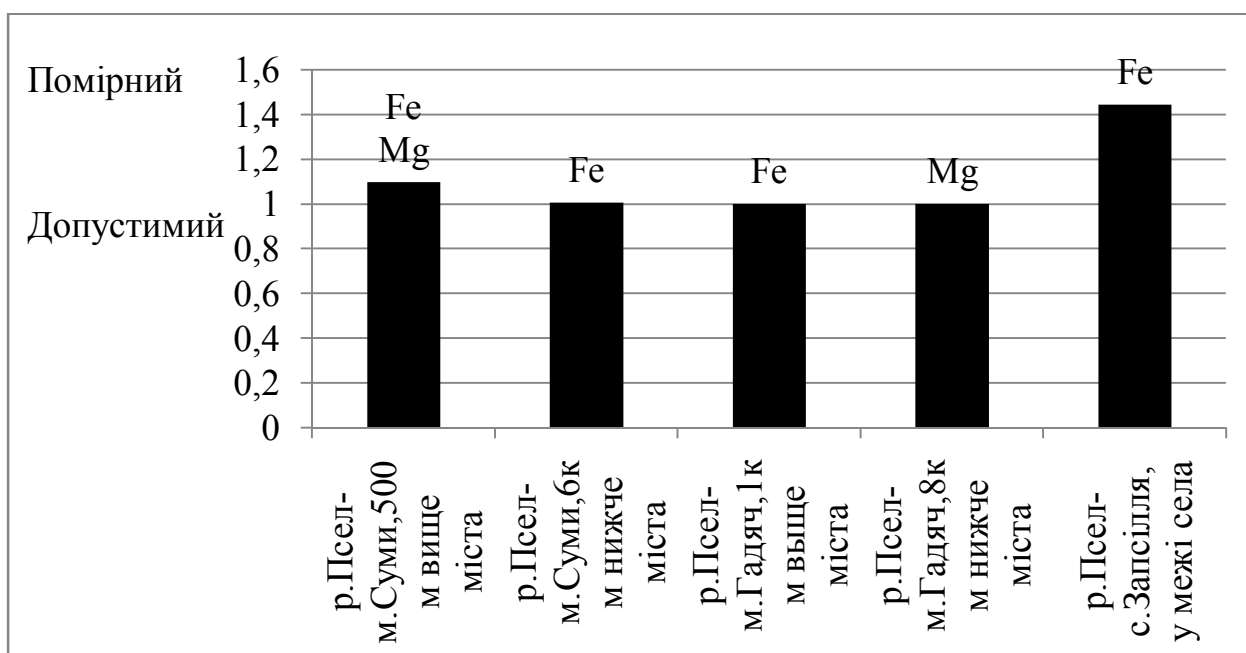


Рис.4.10 Динаміка критерію санітарно-токсикологічного забруднення по довжині р. Псел за багаторічний період (1992-2007рр),

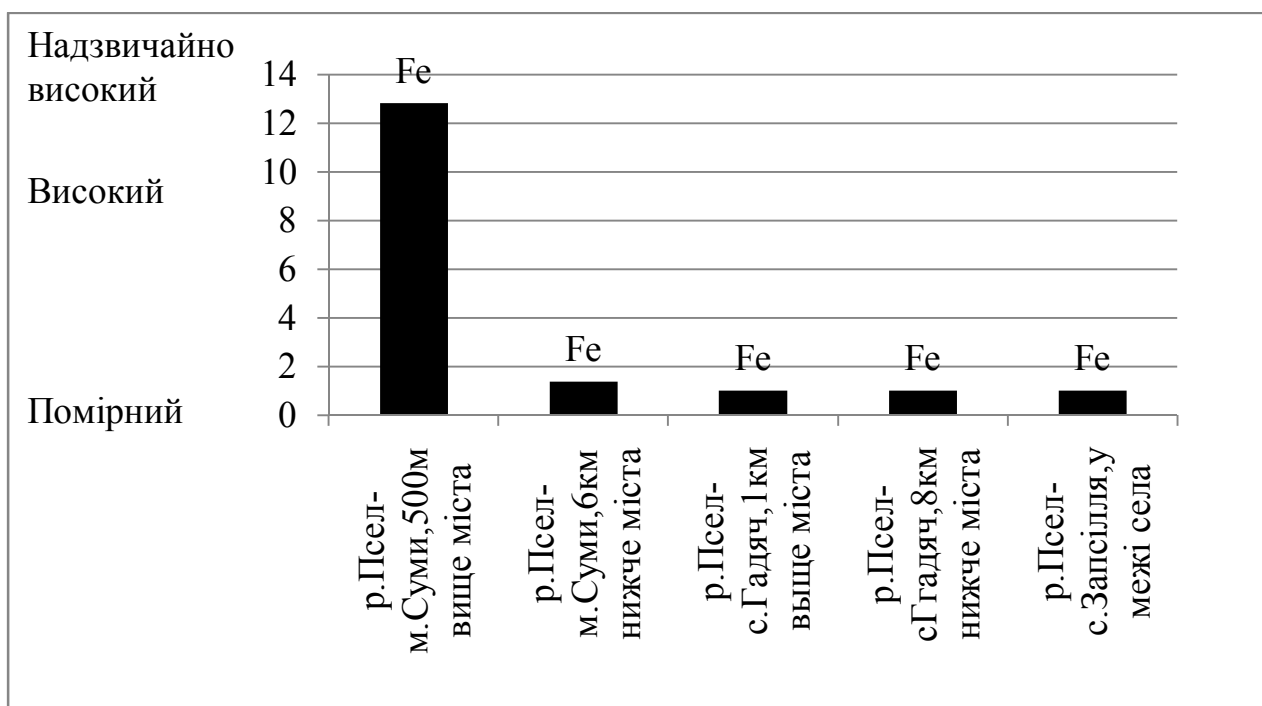


Рис.4.11 Динаміка критерію санітарно-токсикологічного забруднення по довжині р. Псел за середній за водністю рік (1994р.)

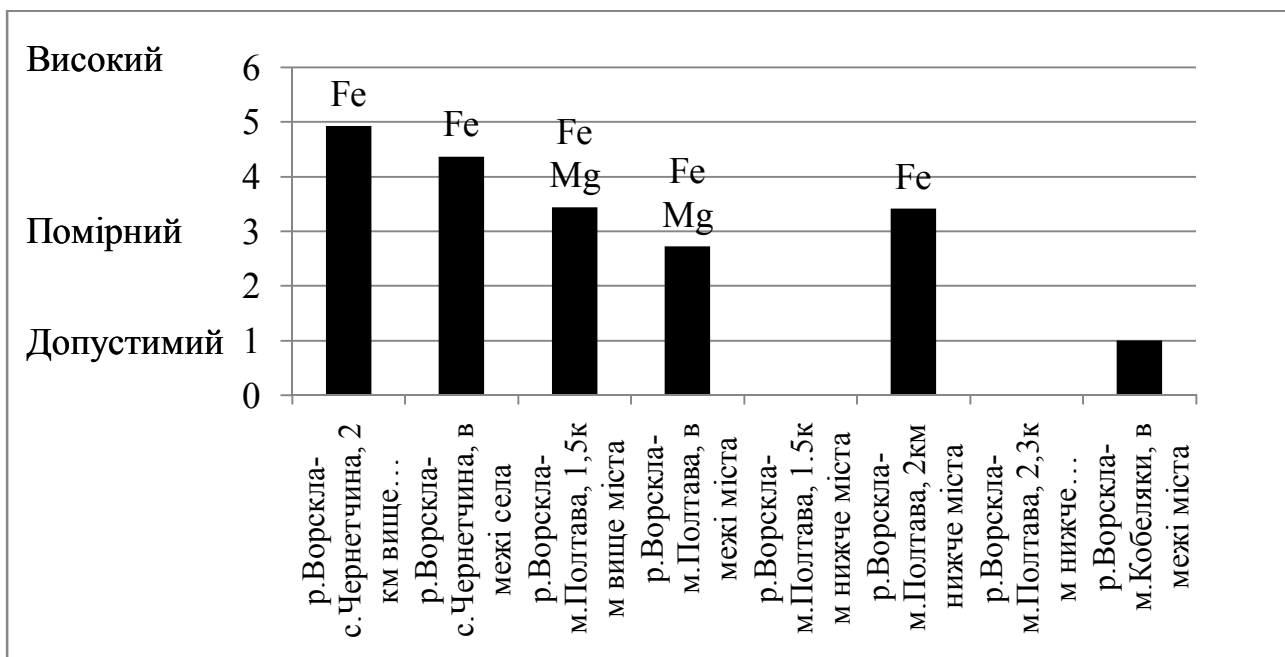


Рис.4.12 Динаміка критерію санітарно-токсикологічного забруднення по довжині р. Ворскла за маловодний рік (1992р.)

4.5 Особливості гідрохімічного складу та оцінка якості води річок Псел та Ворскла по сезонах

У роботі використані дані про хімічний склад вод, отримані на основі відбору проб у створах гідрометеорологічної мережі в період з 1991 року по 2010 рік. Загальна кількість проб по річці Ворскла та її притоках становила 442, по річці Псел - 305. З них на сезон весна припадає 257, а на сезон літо - 165, осінь - 185, сезон зима - 140. У середньому за багаторічний період тривалість сезону весна дорівнює 3 місяці (березень-травень). Сезон літо триває з червня по серпень, сезон осінь - з вересня по листопад, включно[76]. Зимовий сезон починається в грудні поточного року і закінчується в лютому наступного року. Оцінка гідрохімічного складу та змін якості води по сезонах виконувалась для характерних по водності років, які визначалися на основі емпіричної кривої забезпеченості річного стоку.

Одним з основних показників якості води, важливим для багатьох водокористувачів (комунально-побутових, промислових, сільсько-господарських та ін.), є величина мінералізації води, яка безпосередньо пов'язана з витратою води в річці і залежить від водного режиму водотоку. Мінералізація є сумою всіх визначених при аналізі мінеральних речовин, які містяться у воді (мг/дм³). Сума іонів є близьким до мінералізації поняттям (сума всіх видів іонів, мг/дм³ або г/дм³). Зі зменшенням величини витрат води, як правило, спостерігається інтенсивне збільшення її мінералізації (рис.4.13), яка досягає максимальних значень при великому виснаженні річкового стоку, тобто в період межені [9]. Величини мінералізації зменшуються у період весняного водопілля та зростають у зимову та літньо-осінню межень.

Аналіз розподілу мінералізації всередині року дозволив встановити, що в маловодні роки, коли протягом усього року переважає підземне живлення, мінералізація змінюється незначно. Так, у маловодний 1992 рік (об'єм річного стоку $W = 236$ млн. м³) діапазон зміни мінералізації протягом року знаходився у межах 960 -1090 мг/дм³ (р. Ворскла - с. Чернеччина). У багатоводний ($W = 528$ млн. м³) 1996р. (рис.4.14) в період зимової межень мінералізація становила 1070 мг/дм³ ($Q = 2,85$ м³/с), а на піку весняної повені - лише 326 мг/дм³ ($Q = 133$ м³/с), що вказує на зв'язок між водністю річки і показниками мінералізації[99].

Дуже важливим показником забруднення природних вод є наявність в них розчиненого кисню, який впливає на біохімічні процеси, що відбуваються у водному середовищі. Вміст кисню у воді значною мірою залежить від площі відкритої водної поверхні, швидкості течії води і турбулентного перемішування водних мас, температури води. При дослідженнях зв'язків між вмістом кисню та зазначеними характеристиками встановлено тісний зв'язок з температурою води: чим більше температура води, тим нижчий в ній вміст кисню (рис. 4.15, 4.16). Збільшення швидкості течії також сприяє насиченню води киснем (рис. 4.17) [97].

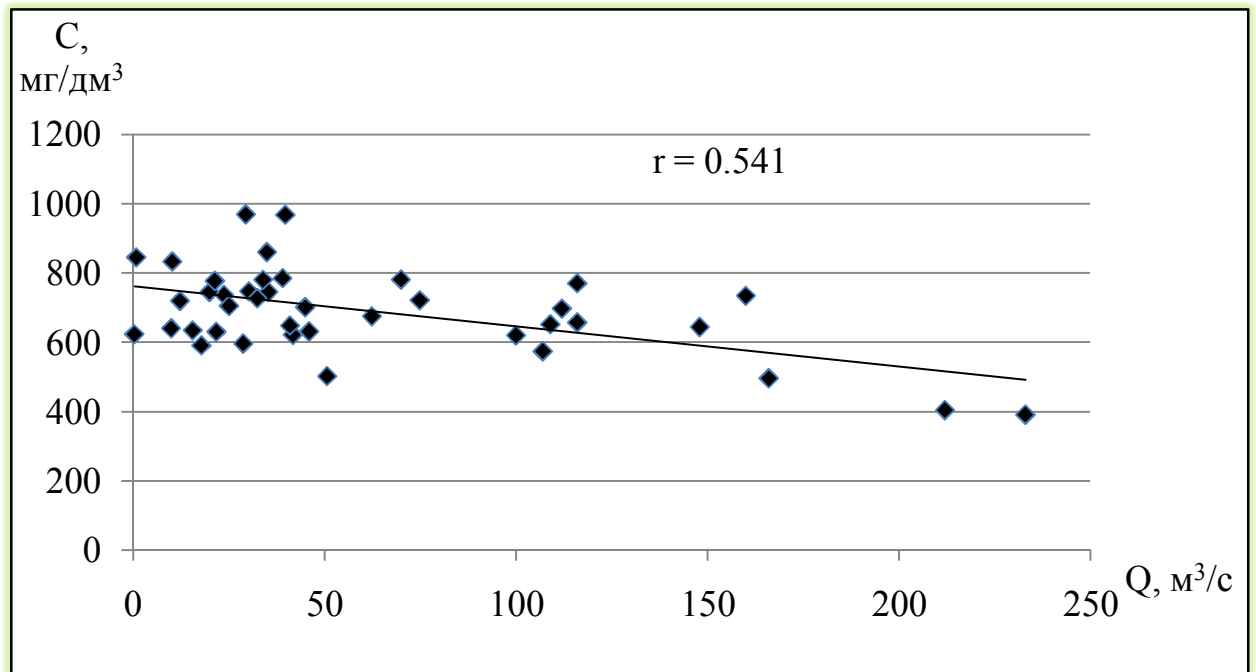


Рисунок 4.13 Залежність мінералізації від витрати води в створі
р. Псел - с. Запсілля (в межах села)

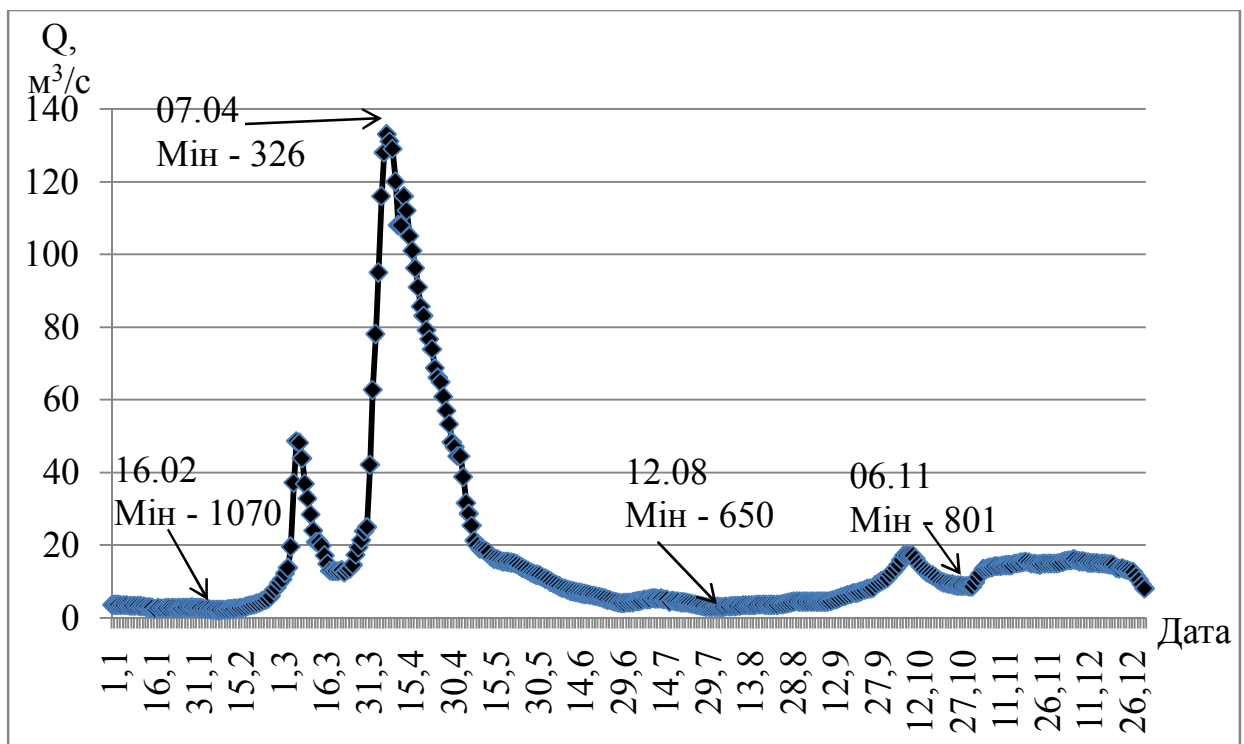


Рис. 4.14 Гідрограф стоку у створі р. Ворскла - с. Чернеччина з датами
відбору проб та величинами мінералізації (1996р. - багатоводний)

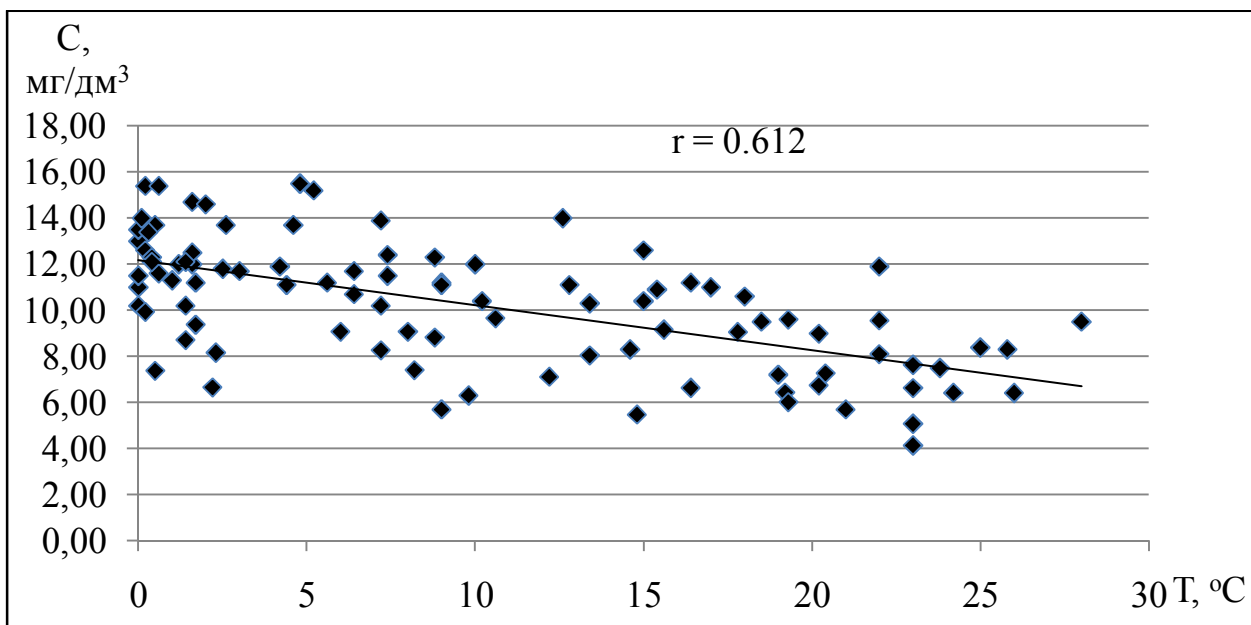


Рис. 4.15 Залежність концентрації кисню від температури води в створі
р. Ворскла - м. Кобеляки (в межах міста)

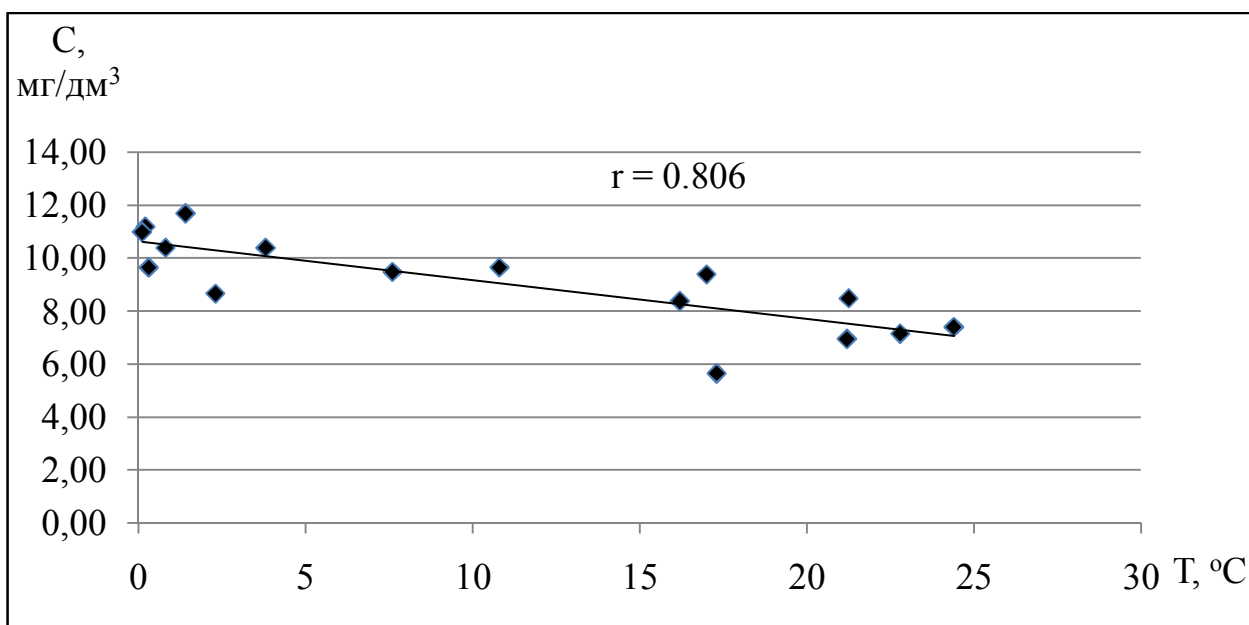


Рис. 4.16 Залежність концентрації кисню від температури води в створі
р. Ворскла - м. Полтава (в межах міста)

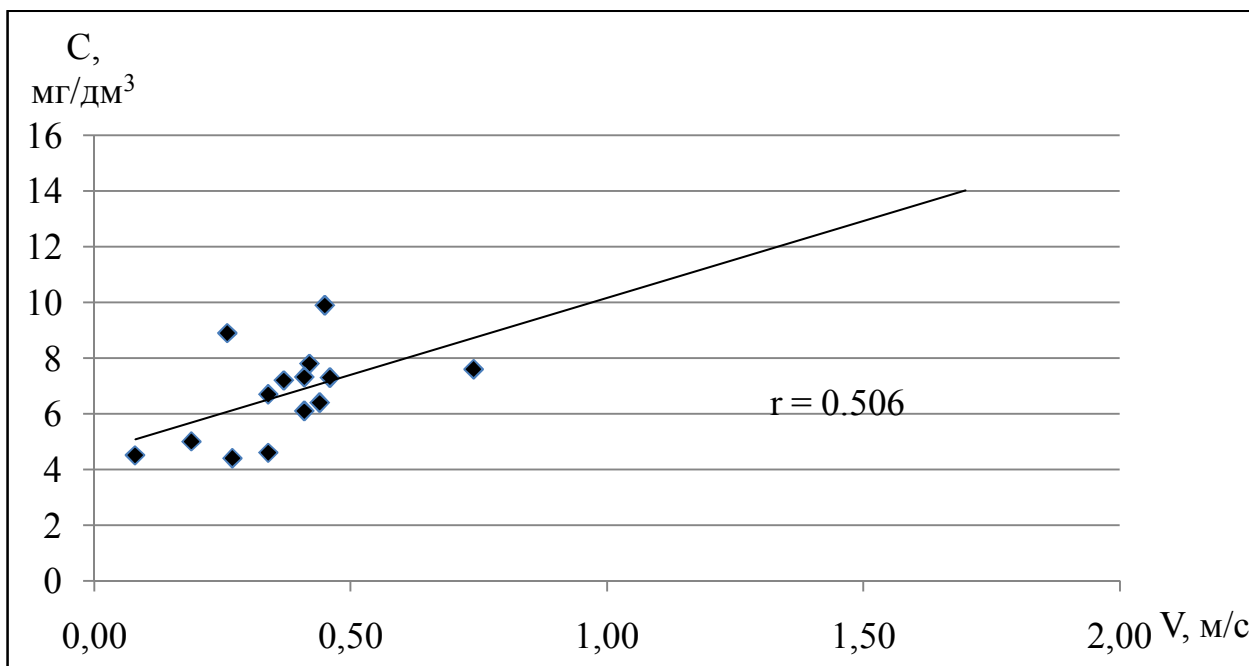


Рис. 4.17 Залежність концентрації кисню від швидкості течії в створі
р. Псел - м. Гадяч (8 км нижче міста)

Саме в межений період зменшується швидкість течії та турбулентне перемішування, що гальмує зростанню вмісту кисню у воді. Тому в період зимової межени кількість кисню у воді максимально скорочується. Чим довше сезон зима, тим гостріше відчувається нестача кисню у воді, тим сильніші наслідки його впливу на екологічний стан водотоків. Зниження концентрації кисню у воді збільшує сприйнятливість організмів до впливу токсичних речовин, які потрапляють у водотоки і різко зменшують здатність води до самоочищення. В зимових умовах пониження середньої місячної температури повітря до $-7.0-15.0$ градусів Цельсія веде до утворення міцного льодового покриву, що суттєво зменшує вміст розчиненого кисню до $1.0-1.5$ мг/дм³ [25]. Річка Псел найбільше підлягає порушенню кисневого режиму і заморам риби у зимову межень. На річці Ворскла, особливо у її нижній течії, найбільш несприятливим для кисневого режиму є сезон літо. Прикладом є мінімальний за водністю 1992 рік, в якому найменша ($C = 5.27$ мг/дм³) концентрація кисню спостерігалася у вересні, коли витрати води досягли

своїх найменших значень ($Q = 1,65 \text{ м}^3/\text{с}$). У період проходження максимуму весняного водопілля концентрація кисню піднялася до значення $10,3 \text{ мг/дм}^3$ (рис.4.18). Якщо розглядати кисневий режим, то можна зазначити, що у багаторічному розрізі вміст кисню у воді перевищує ГДК для питного водопостачання (ГДК - 4 мг/дм^3). У загальному випадку кількість розчиненого кисню у водах річки Ворскла менша ніж у водах річки Псел, що посилює ймовірність «рибної задухи» [50,54].

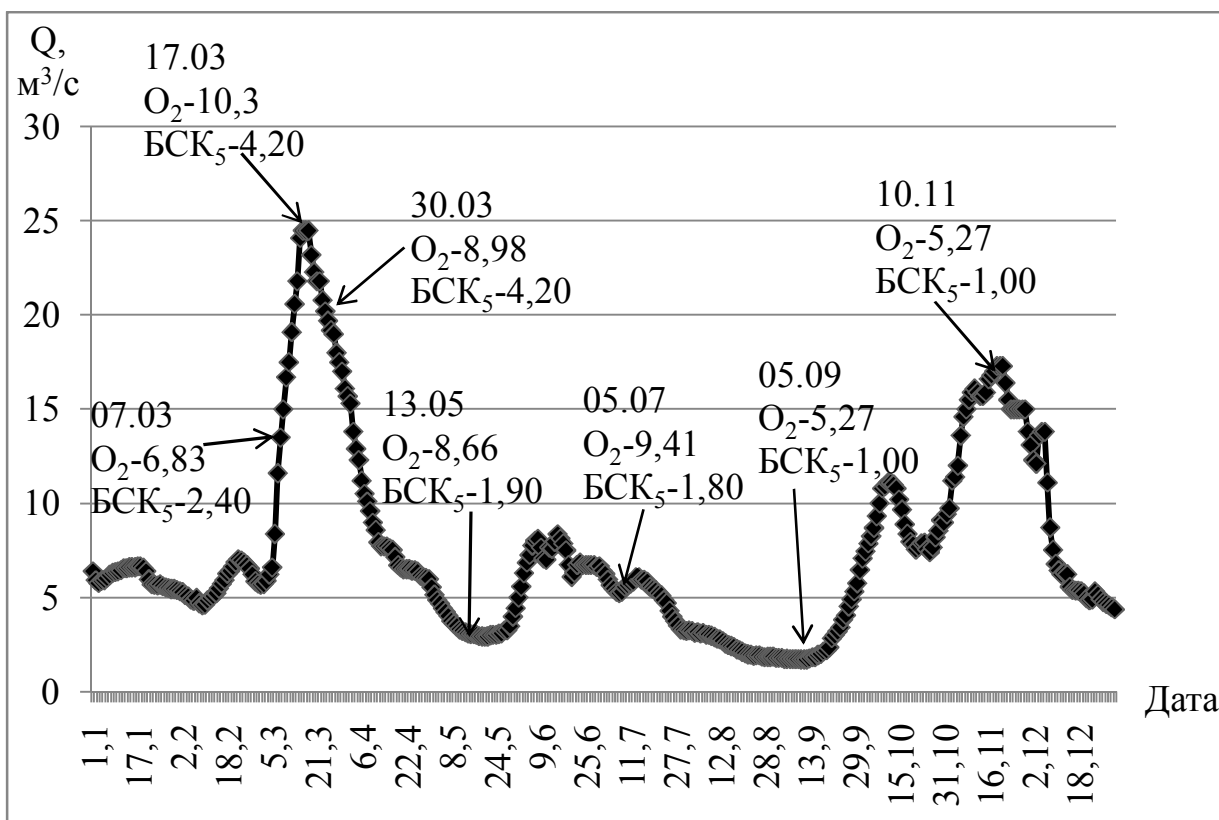


Рис. 4.18. Гідрограф стоку за 1992 рік у створі р. Ворскла - с. Чернеччина з датами відбору проб та концентраціями кисню і БСК₅

Наявність органічної речовини у водах визначається за такими показниками як органічний вуглець, кисень та водень, які становлять 98,5% маси. Крім того у малих кількостях наявні азот, фосфор, сірка, калій, кальцій та інші елементи. Прямого методу установлення концентрації кількісної органічної речовини немає, тому користуються непрямими показниками, які

дають змогу зробити висновок про сумарний вміст органічної речовини. Визначення органічного вуглецю, азоту або фосфору відбувається за різницею між сухим залишком при його прокалюванні з урахуванням зміни іонного складу води.

Найпоширенішим є метод характеристики вмісту органічної речовини за кількістю атомарного кисню в міліграмах, який витрачається на її окислення (мг/дм^3 щодо O). Така характеристика називається окиснюваністю води. Залежно від окисника, який використовується, розрізняють перманганатну (окисник KMnO_4) і біхроматну (окисник $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) окиснюваності. Вони характеризують різні компоненти органічних речовин. У прісних водах величина перманганатної окиснюваності (ПО), виражена в мг/дм^3 щодо O , близька до величини ПО органічного вуглецю (0,65 – 1,1). Використання біхроматної окиснюваності дає більш повне окиснення органічних речовин, крім деяких білкових сполук.

За багаторічний період величина ПО для р. Ворскла змінювалася від 10,1 до 7,0 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$; р. Мерла - від 13,6 до 7,60 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$; р. Псел – від 13,8 до 6,30 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$; р. Хорол – від 7,4 до 10,60 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$. Наведені величини свідчать про забруднення вод річок органічними речовинами (ГДК дорівнює 5,0 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$)[50].

З біхроматною окиснюваністю ототожнюється поняття хімічного споживання кисню (ХСК), яке виражається також в мг/дм^3 щодо атомарного кисню. Так само річки характеризуються як є забруднені і при дослідженні ХСК, середні річні значення яких перевищують 15 мг/дм^3 (ГДК для питного водопостачання). Максимальне значення ХСК відзначалося у 1995 році на річці Ворскла і становило 93 мг/дм^3 .

Непрямі уявлення про кількість органічної речовини у воді дає біохімічне споживання кисню (БСК), тобто кількість кисню, споживаного за певний час при біохімічному окисненні у воді речовин в аеробних умовах; виражається БСК в мг/дм^3 до молекулярного кисню (мг/дм^3 до O_2). Найчастіше вживається значення БСК_5 - біохімічне споживання кисню

протягом 5 діб і БСК_{пов} (БСК₂₀) - повне біохімічне споживання кисню, закінчення якого визначається початком процесу нітрифікації, як правило, через 15-20 діб. Значенням БСК₅ користуються для оцінки ступеня забрудненості водних об'єктів і вмісту органічних речовин, які легко окислюються [99]. Санітарно – гігієнічні нормативи ХСК і БСК₅ для питного водопостачання є величини, що дорівнюють 15 і 3 мг/дм³, відповідно. Перманганатна окиснюваність вод досліджуваних річок в основному перевищує допустиму, а значення БСК₅ близькі до норми. Максимальні значення БСК₅ також спостерігаються в період проходження весняної повені, що обумовлено зливом органічних речовин з поверхні водозборів [98].

Ступінь забруднення води може характеризуватися біологічним показником забруднення (БПЗ), який представляє собою відношення кількості біологічного споживання кисню за пентаду (БСК₅), до перманганатної окиснюваності ПО, яка в певний період має найменшу величину при зростаючому БСК

Підвищені значення окислювання природних вод при їх малій кольоровості, а також наявність іонів Cl^- , впливають на негативні якості води і можливість її забруднення органічними речовинами або продуктами життєдіяльності тваринних організмів. Однак, вміст хлору у воді річок Псел і Ворскла за розглядуваний період має значення нижчі за ГДК. Перевищення ГДК по вмісту хлору досить часто (в 45% випадків) спостерігається тільки на р. Хорол [98].

Велике значення для характеристики вод при антропогенному навантаженні мають біогенні сполуки, хоча їх кількість зазвичай невелика і пов'язана з життєдіяльністю водних організмів. Основна роль належить нітратам, нітратам, загальному залізу, фосфатам, кремнію. Найбільша кількість нітритів на досліджуваних річках спостерігається в зимовий сезон, особливо перед початком повені. Низькі концентрації цих сполук відзначаються в літній сезон, коли спостерігається інтенсивна діяльність фітопланктону.

Нітрати знаходяться у воді в значно більшій кількості, в середньому від 0 до 5 мг/дм³, оскільки вони є кінцевим продуктом процесу мінералізації органічної речовини. Вони також споживаються фітопланктоном, тому в літній період їх дуже мало у воді, проте в зимову межень їх кількість зростає в десятки разів.

Найбільш стійкими з біогенних елементів є фосфати та їх з'єднання. Вміст розчиненого мінерального фосфору коливається слабо (0-0.2 мг/дм³), з максимумом в зимовий сезон.

Вміст кремнію в водах досліджуваних річок досягає максимального значення в зимовий період, коли річки живляться переважно підземними водами, котрі виносять цей елемент у річкову середу. Його споживання діатомовими водоростями, яке відбувається в літній сезон, спричиняє низький вміст кремнію. При цьому різниця між вмістом кремнію в зимову і літню межені досить велика. Наприклад, на р. Псел у м. Суми в зимову межень кількість кремнію становить 4.1 мг/дм³, навесні – 3.0 мг/дм³, а влітку падає до 1.4 мг/дм³ (2003р.). За розглянутий період спостережень число випадків перевищення ГДК кремнію для питного водопостачання становила 15% і припадало на зимовий сезон. Води досліджуваних річок містять значні концентрації заліза, які [97] можуть перевищувати ГДК питного водопостачання в кілька разів. Для досліджуваного періоду кількість випадків перевищення середньої за рік концентрації заліза над ГДК (0.3 мг/дм³) для річок Псел і Ворскла становила більше 75%. У межах року концентрація заліза загального може значно варіювати, досягаючи максимальних значень в період весняного водопілля (2.75 мг/дм³) і мінімальних - влітку.

Як вже зазначалось, річки Псел та Ворскла є транскордонними, їхні верхні течії знаходяться в межах Російської Федерації, де розташовані підприємства важкої металургії Курської магнітної аномалії. Найбільші концентрації заліза у водах річок відзначені саме на російській території. Наприклад, 09.11.1994 р. концентрація заліза на річці Псел в створі вище

м. Суми (неподалік від російського кордону) досягла 7.56 мг/дм^3 . Нижче за течією концентрація заліза зменшується до 0.11 мг/дм^3 . Зменшення концентрацій забруднюючих речовин свідчить про роботу очисних споруд. Та ж ситуація спостерігається на р. Ворскла, де найбільша концентрація заліза спостерігається вище м. Полтава і зменшується поступово в нижній течії. Слід зазначити, що в останні роки концентрація заліза значно зменшилася, що може бути пов'язано зі зменшенням антропогенного навантаження [97].

При недостатній кількості кисню у воді в кілька разів знижується швидкість біохімічного розкладання нафтопродуктів, які потрапляють у річки. За даними для поста р. Псел - м. Суми найбільше значення вмісту нафтопродуктів дорівнює 0.25 мг/дм^3 і спостерігалось взимку (01.01.1995 р.).

Феноли порушують біологічні процеси у воді і погіршують її якість. Вони потрапляють в річки зі стічними водами, скидами підприємств хімічної промисловості (лісохімічної, коксохімічної, сланцевій, анілінофарбовій та ін.) Найбільш токсичними є одноатомні феноли. Зазвичай інтенсивний розпад фенолів відбувається при високій температурі води і різко знижується при досягненні нею температури 7°C . Зимові межень в цьому випадку є екологічно несприятливою. У літній сезон, коли глибини на річках невеликі та річкові води добре прогріваються, вміст фенолів зменшується. Однак зниження концентрації кисню у воді затримує цей процес. На розглянутих річках визначальним фактором є температура води. Найбільші значення концентрації фенолів у створі р. Ворскла - с. Чернеччина спостерігалися у весняне водопілля (1994 р.) і становили 0.012 мг/дм^3 на піку гідрографа (02 квітня 1994 р., температура води дорівнює 0.6°C) і 0.019 мг/дм^3 (13 квітня 1994 р., температура води дорівнює 1.2°C) - на його спаді [97].

В останні десятиріччя інтенсивно використовуються миючі речовини (синтетичні поверхнево активні речовини - СПАР). При попаданні у воду вони надають їй неприємний присмак і запах, погіршують її біохімічну очисну здатність, пригнічують або зовсім припиняють розвиток водної

рослинності, а іноді, при великій концентрації, навіть утворюють стійкі скупчення піни на поверхні води. Швидкість розкладання цих речовин залежить не тільки від їх хімічної будови та її концентрації у воді, але і від температури води й дефіциту розчиненого в ній кисню, тобто в основному від тих же факторів, що й швидкість розпаду фенолів. Тому умови і час їх найбільшої можливої концентрації в річках збігаються. Найбільші значення концентрацій СПАР спостерігаються в період весняної повені (0.33 мг/дм^3 , 17 березня 1992 р., температура води дорівнювало 0.4°C , $Q = 24.6 \text{ м}^3/\text{с}$; створ р. Ворскла - с. Чернеччина), найменші значення спостерігаються в період зимової межені (0.03 мг/дм^3 , 05 січня 1994 року, температура води дорівнювала 0.2°C , $Q = 0.45 \text{ м}^3/\text{с}$).

Отже, можна відзначити, що в результаті антропогенної діяльності води річок Псел і Ворскла забруднені нітритами, нітратами, кремнієм, залізом, нафтопродуктами, фенолами і СПАР. Максимальні концентрації заліза, фенолів, нафтопродуктів і СПАР спостерігаються навесні, коли відбувається змив забруднюючих речовин з поверхні водозборів. Найбільша концентрація біогенних речовин у вигляді нітратів, нітритів, фосфатів і кремнію формується в зимовий сезон, коли мають місце низькі температури, утруднений повітрообмін, і фітопланктон їх не поглинає. Підвищений вміст заліза у воді визначається діяльністю металургійної промисловості, особливо у верхніх течіях річок [47].

Аналіз кількісних показників якості води (ІЗВ та критеріїв Ф.Ф. Ерисмана), виконаний за даними останніх двох десятиріч (табл.4.13-табл.4.20), дозволив установити, що якість вод, оцінена за середній багаторічний період, практично не змінюється по сезонах. Води річки Псел класифікуються переважно як «помірно забруднені». Надзвичайно високий рівень забруднення виявлений при оцінках за органолептичним критерієм (табл.4.15). При розгляді показників якості за їх величиною можна зробити висновок про те, що найбільше забруднення вод спостерігається у сезон весна. Якість вод річки Ворскла гірша ніж річки Псел. Надзвичайно високе

забруднення установлене при розрахунках за органолептичним критерієм (табл.4.15), високе забруднення - при розрахунках за санітарно-токсикологічним і санітарним критеріями (табл.4.16, табл.4.17). Роль межених сезонів проявилася при розрахунках за санітарним критерієм (табл.4.17, табл.4.20)[43;47].

Таблиця 4.13

Розподіл індексу ІЗВ за довжиною р. Ворскла по сезонах за багаторічний період (1991 – 2010 рр.)

Сезони	ІЗВ	Клас вод за ІЗВ
Весна	1,37	Помірно забруднений
Літо-осінь	1,52	Помірно забруднений
Зима	1,43	Помірно забруднений

Таблиця 4.14

Розподіл органолептичного критерію якості вод за довжиною р. Ворскла по сезонах за багаторічний період (1991 – 2010 рр.)

Сезони	W _{ор}	Клас W _{ор}
Весна	2,83	Надзвичайно забруднений
Літо-осінь	2,45	Надзвичайно забруднений
Зима	2,33	Надзвичайно забруднений

Таблиця 4.15

Розподіл санітарно-токсикологічного критерію якості вод за довжиною р. Ворскла по сезонах за багаторічний період (1991 – 2010 рр.)

Сезони	W _{ст}	Клас W _{ст}
Весна	4,98	Високе забруднення
Літо-осінь	3,98	Високе забруднення
Зима	3,24	Високе забруднення

Таблиця 4.16

Розподіл санітарного критерію якості вод за довжиною р. Ворскла по сезонах за багаторічний період (1991 – 2010 рр.)

Сезони	W_c	Клас W_c
Весна	4,17	Високе забруднення
Літо-осінь	4,38	Високе забруднення
Зима	4,43	Високе забруднення

Таблиця 4.17

Розподіл індексу ІЗВ за довжиною р. Псел по сезонах за багаторічний період (1991 – 2010 рр.)

Сезони	ІЗВ	Клас вод за ІЗВ
Весна	1,89	Помірно забруднений
Літо-осінь	1,35	Помірно забруднений
Зима	1,31	Помірно забруднений

Таблиця 4.18

Розподіл санітарного критерію якості вод за довжиною р. Псел по сезонах за багаторічний період (1991 – 2010 рр.)

Сезони	W_c	Клас W_c
Весна	1,59	Помірний
Літо-осінь	1,21	Помірний
Зима	1,53	Помірний

Розподіл органолептичного критерію якості вод за довжиною р. Псел по сезонах за багаторічний період (1991 – 2010 рр.)

Сезони	W_{op}	Клас W_{op}
Весна	4,01	Надзвичайно високий
Літо-осінь	3,50	Надзвичайно високий
Зима	3,76	Надзвичайно високий

Таблиця 4.20

Розподіл санітарно-токсикологічного критерію якості вод за довжиною р. Псел по сезонах за багаторічний період (1991 – 2010 рр.)

Сезони	$W_{ст}$	Клас $W_{ст}$
Весна	1,08	Помірний
Літо-осінь	2,42	Помірний
Зима	2,11	Помірний

4.6 Оцінка здатності річок Псел та Ворскла до самоочищення

Сукупність усіх процесів, спрямованих на відновлення початкового хімічного складу води відповідно до існуючої раніше рівноваги, називається самоочищенням водного об'єкта [55]. Більшість забруднюючих речовин є нестійкими і з часом виводяться з розчину під впливом різних процесів, які сприяють самоочищенню. Самоочищення і встановлення біологічної рівноваги відбувається в результаті сукупної дії гідравлічних, фізичних, хімічних і біологічних чинників. У річках процеси самоочищення обумовлені

фізичними та хімічними чинниками. У озерах та ставках самоочищення оцінюється переважно за допомогою живих організмів. Під фізичними чинниками самоочищення слід розуміти гідравлічні процеси; осідання нерозчинних осадів, вплив ультрафіолетового випромінювання та інше. Серед хімічних чинників зазначають біохімічне окиснення та окиснення неорганічних речовин. Сильно забруднена річка може шляхом самоочищення перейти із стану сапробної зони у мезосапробну і навіть у олігосапробну при відсутності постійного поповнення забруднюючими речовинами.

В процесі самоочищення відбувається поліпшення фізичних властивостей води за рахунок адсорбції завислими частками органічних речовин, важких металів, мікроорганізмів, коагуляції та седиментації завислих неорганічних і органічних речовин, мінералізації нестійкої органічної речовини. При самоочищенні вміст кисню має зростати завдяки аерації та дії водної рослинності. Патогенні бактерії будуть при цьому відмирати, наявність сапрофітних мікроорганізмів різко зменшиться. Завдяки самоочищенню невелике забруднення не може змінити природного стану водойми. Але кожна водойма має певну межу самоочисної здатності від забруднень, після якої відбувається різке погіршення всіх характеристик санітарного стану. Процеси самоочищення протікають більш сприятливо завдяки більшій проточності у річках, ніж в озерах і водосховищах. При вивченні процесів самоочищення важливе значення мають співвідношення кількості забруднюючих речовин і об'єму водної маси, швидкість течії, турбулентності водних мас, глибини, умови вітрового перемішування, температурний режим тощо.

Характеристиками самоочищення є кількісні показники, які визначаються для хімічних та біологічних процесів [53]. При забрудненні річок господарсько-побутовими водами, провідним процесом у самоочищенні є розкладання органічної речовини, кінцевим продуктом якого є мінеральні сполуки. В анаеробних умовах розкладання викликає посилене споживання кисню і корелює з показниками біологічного споживання кисню.

Ці показники характеризують ступінь розкладання нестійкої органічної речовини. Константа швидкості розкладання K залежить від складу забруднюючих речовин і має різні значення. Для господарсько-побутових вод вона становить близько $0,1 \text{ доб}^{-1}$ і має приблизно таке саме значення при розкладанні фітопланктону. Промислові забруднюючі речовини обумовлюють більші коливання K . Швидкості розпаду органічних речовин донних відкладів у 20-50 разів нижчі, ніж господарсько-побутових стічних вод. Для характеристики самоочищення велике значення має швидкість зміни кількості бактерій. Протягом перших 15 годин відмирає 70% від початкової величини бактеріального зараження, а на п'яту добу їх залишається лише частки відсотка [52].

Процеси самоочищення вивчають на спеціальних пунктах контролю. Ці дослідження виконуються в зоні забруднення річки чи водойми, де у зв'язку з надходженням забруднюючих речовин порушуються природні біохімічні процеси і концентрація забруднюючих речовин за санітарними чи іншими показниками перевищує встановлені норми. Дослідження проводяться у трьох створах (фоновому, головному і замикаючому). Фоновий ствір повинен бути розташований вище скиду забруднених вод. Концентрації забруднюючих речовин у цьому створі не повинні перевищувати гранично допустимі. Додаткові створи встановлюються між головним (контрольним) і замикаючим створами. Кількість таких створів залежить від завдань спостережень, місцевих умов та складу забруднюючих речовин. Вони розміщуються нижче випуску забруднених вод з послідовним збільшенням відстані між ними (шість - дев'ять створів). Додаткові створи можуть призначатися за наявності на досліджуваній ділянці бокового припливу. Такі створи встановлюються вище і нижче притоки і в її гирлі. Визначення самоочисної здатності водних об'єктів виконується для специфічних забруднюючих речовин, наявність яких встановлено у воді під час експедиційних досліджень, а також за такими показниками забруднення води як хімічне споживання кисню, біохімічне споживання кисню.

Визначення температури, рН, вмісту розчиненого кисню є обов'язковим. Ці показники характеризують умови і хід процесів самоочищення [56]. Спостереження за забрудненням води виконуються кілька разів на рік у характерні фази гідрологічного і гідробіологічного режимів. Тривалість спостережень визначається необхідністю отримання надійних матеріалів щодо характеристики самоочисної здатності водотоків у роки з різним ступенем водності (багатоводні, маловодні, середні).

Самоочисна здатність води на ділянці обчислюється за таким рівнянням [90]

$$CЗ = \frac{C_B - C_H}{C_B} 100\% , \quad (4.8)$$

де C_B - концентрація забруднюючої речовини у верхньому створі, мг/дм³; C_H - концентрація забруднюючої речовини у нижньому створі, мг/дм³.

Ступінь самоочищення визначають за зниженням концентрації забруднюючої речовини на певному відрізку водотоку при відсутності додаткового забруднення між точками спостережень.

$$Sm = Q(C_B - C_H) , \quad (4.9)$$

де C_B – концентрація забруднюючої речовини у верхньому створі, мг/дм³; C_H - концентрація забруднюючої речовини у нижньому створі, мг/дм³; Q – витрата води, м³/с.

Швидкість самоочищення визначається за зниженням концентрації забруднюючої речовини за одиницю часу [90].

$$Sr = \frac{dC}{dt} = \frac{C_B - C_H}{\tau} . \quad (4.10)$$

де C_B – концентрація забруднюючої речовини у верхньому створі, моль/дм³; C_H – концентрація забруднюючої речовини у нижньому створі, моль/дм³; τ – час добігання між верхнім та нижнім створами.

Під молям розуміють кількість речовини, маса якої, виражена в грамах, чисельно дорівнює її молекулярній масі, вираженій в атомних одиницях маси (а.о.м), що визначаються як 1/12 частина маси атома ізотопу ¹²C, яка дорівнює 1,66056*10⁻²⁴ г. Моль поширений на будь-які види реальних і умовних частинок. Під реальними частинками розуміють молекули, атоми, іони, електрони, радикали, під умовними – еквіваленти. Відповідно можна говорити про моль молекул, моль іонів, моль електронів [84].

Щоб розрахувати молярну концентрацію хімічної речовини в розчині необхідно масу речовини в грамах поділити на її атомну масу.

Сумарний коефіцієнт самоочищення визначається за формулою В.Г. Стрітера (4.11).

$$K_C = \frac{2.3}{\tau} \lg \frac{C_B}{C_H} = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_B}{C_H} , \quad (4.11)$$

де C_B – концентрація забруднюючої речовини у верхньому створі, мг/дм³; C_H – концентрація забруднюючої речовини у нижньому створі, мг/дм³; τ – час добігання, доба.

Для розрахунків K_C отримують в установах Держгідромету, фонові концентрації розраховують за рівнянням типу $C = f(Q)$, а сумарні коефіцієнти самоочищення визначають по завчасно встановленим зв'язкам типу $K = f(Q)$ або $K = f(t)$, або $\kappa = f(Q, t)$. За відсутності таких зв'язків розраховують середньо-арифметичні значення відповідних коефіцієнтів за багаторічними даними за той місяць, для якого складається прогноз. Якщо

систематичні спостереження за самоочищенням води проводились не більше 1-2 років, то розрахунок коефіцієнтів проводиться на основі усіх наявних результатів спостережень. Перед визначенням вказаних середніх величин кожне значення K потрібно довести до однакових температурних умов за формулою Ван – Гоффа [90]:

$$K'' = K' 2^{\frac{t_2 - t_1}{10}}, \quad (4.12)$$

де K'' - коефіцієнт при очікуванні за прогнозом температури $t^\circ\text{C}$, 1/доб; K' - коефіцієнт, отриманий при температурі t_1 [72].

Якщо відомі коефіцієнт самоочищення та час добігання від верхнього створу до нижнього, можна установити концентрацію забруднюючої речовини у нижньому створі, із завчасністю яка дорівнює τ .

$$C_H = C_B 10^{-\frac{\tau K_C}{2.3}} = C_B e^{-\tau K_C}, \quad (4.13)$$

де C_B – концентрація забруднюючої речовини у верхньому створі; C_H - концентрація забруднюючої речовини у нижньому створі; τ – час добігання; K_C – сумарний коефіцієнт самоочищення (В.Г.Стріттера)

Визначення часу добігання між верхнім та нижнім створами відбувалося на основі розрахунків взаємної кореляційної функції:

$$r_{xy}(\tau) = \frac{K_{xy}(\tau)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x_i - \bar{x})(y_{i+\tau} - \bar{y}_{i+\tau})}{\sigma_x \sigma_y (n - \tau_{\text{зсув}} - 1)}, \quad (4.14)$$

де $r_{xy}(\tau)$ - кореляційна функція при зсуві $\tau_{зсув}$; \bar{x}, \bar{y} - середні арифметичні значення рядів X, Y ; σ_x, σ_y - середні квадратичні відхилення двох рядів спостережень довжиною n .

При цьому ряд Q_H зсувається у часі відносно ряду Q_B , тобто формулу (4.14) можна представити у вигляді:

$$r_{xy}(\tau) = \frac{K_{Q_B Q_H}(\tau)}{\sigma_{Q_B} \sigma_{Q_H}} = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} (Q_{Bi} - \bar{Q}_B)(Q_{Hi+\tau} - \bar{Q}_H)}{\sigma_{Q_B} \sigma_{Q_H} (n - \tau_{зсув} - 1)}, \quad (4.15)$$

де Q_{Bi} – витрати води у верхньому створі в час i ; Q_{Hi} – витрати води у нижньому створі в часі $i+\tau$; $\sigma_{Q_B}, \sigma_{Q_H}$ - середні квадратичні відхилення для витрат води у верхньому та нижньому створах, відповідно.

Час добігання мас води від верхнього створу до нижнього визначався як таке значення часу, при якому $r_{xy}(\tau)$ досягала свого максимального значення (рис.4.19; 4.20).

Під рядами випадкових величин X та Y слід розуміти ряд стоку (витрат води) у верхньому створі Q_B та нижньому - Q_H .

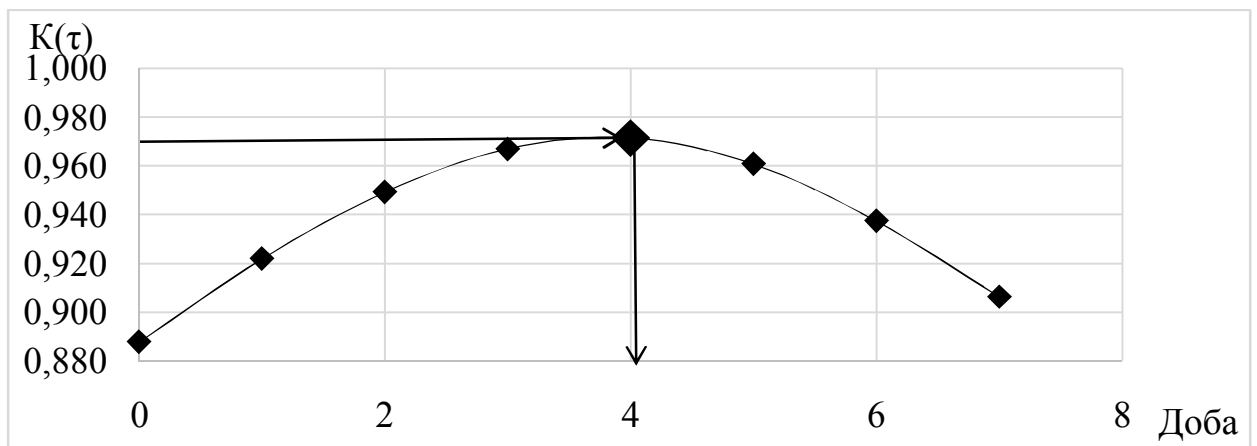


Рис 4.19. Хід взаємної кореляційної функції при зсуві у часі ряду стоку
р. Псел – м. Суми відносно ряду стоку р. Псел – с. Крупець

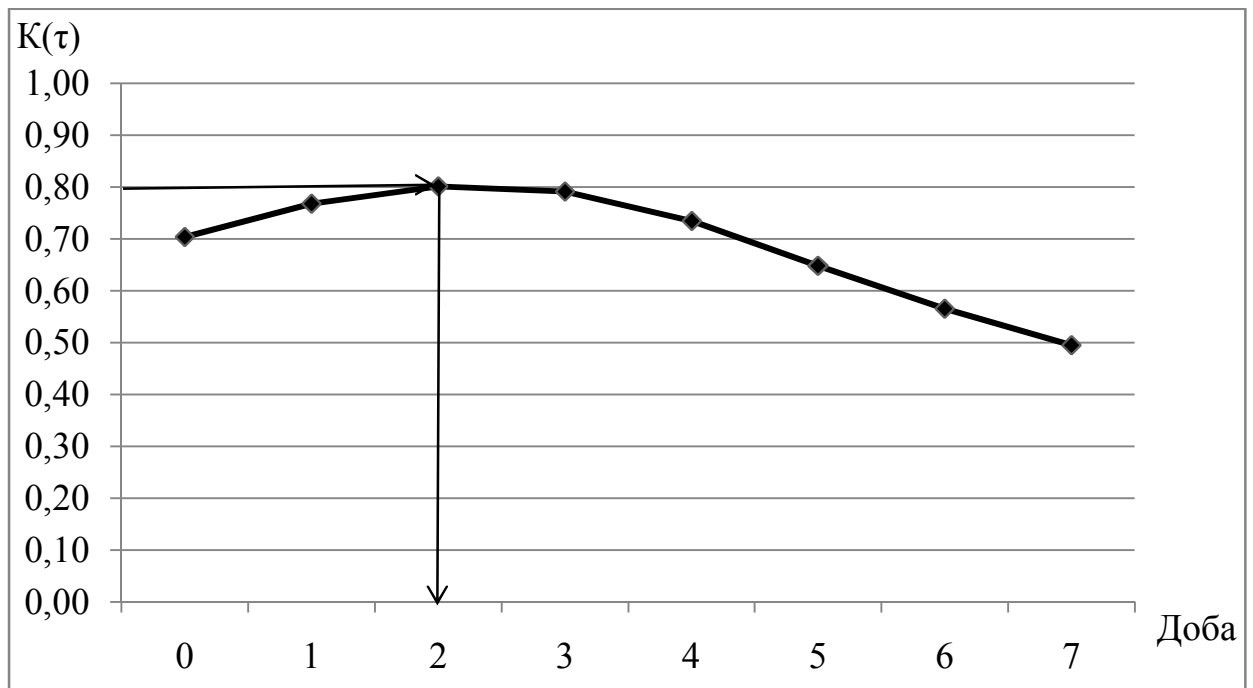


Рис. 4.20 Хід взаємної кореляційної функції при зсуві у часі ряду стоку р. Ворскла – с. Чернеччина відносно ряду стоку р. Ворскла – с. Козинка

За результатами цих розрахунків та побудов (Додаток О, табл.О.1 – О.5, рис.О.19 – О.22) отримані зведені значення змін часу добігання (табл.4.21 ;4.22), а також побудовані схеми змін τ по довжині річок (рис.4.21;4.22). За цими схемами та табл. 4.21;4.22 отримані графіки (рис.4.23 4.24), на базі яких можна встановити час добігання для проміжних створів, на яких не організовані спостереження[55].

Таблиця 4.21

Зміни часу добігання по довжині річки Псел

Ділянка	Довжина ділянки від витoku, км	Час добігання від верхнього створу до нижнього τ , доба
м. Обоянь - с. Крупець	4700	2
с. Крупець - м. Суми	7770	4
м. Суми - м. Гадяч	11300	1
м. Гадяч - с. Запсілля	21800	9

Зміни часу добігання по довжині річки Ворскла

Ділянка	Довжина ділянки від витоків, км	Час добігання від верхнього створа до нижнього τ , доба
с. Яковлівка – с. Козинка	95.5	1
с. Козинка – с. Чернеччина	105	2
с. Чернеччина – м. Полтава	156.5	2
м. Полтава – м. Кобеляки	2080	1

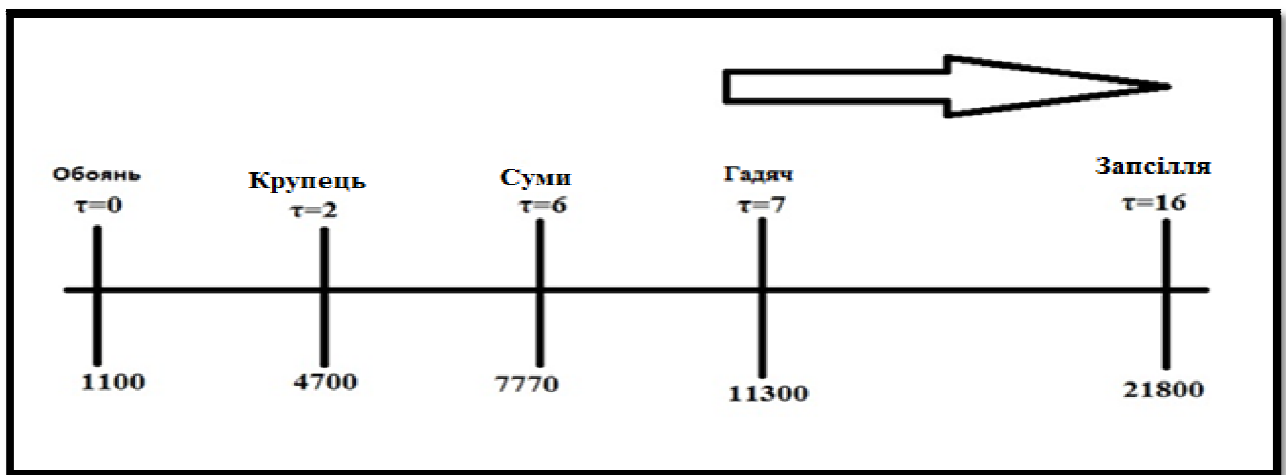


Рис. 4.21 Схема ділянки річки Псел (м. Обоянь – с. Запсілля)



Рис. 4.22 Схема ділянки річки Ворскла (с. Яковлівка – м. Кобеляки)

Для визначення характеристик самоочищення були розглянуті випадки, коли відбувалося зменшення спостереженої концентрації забруднюючої речовини на шляху від верхнього створу до нижнього (Додаток О табл.О.6 – О.9), а час між спостереженнями був близький до τ .

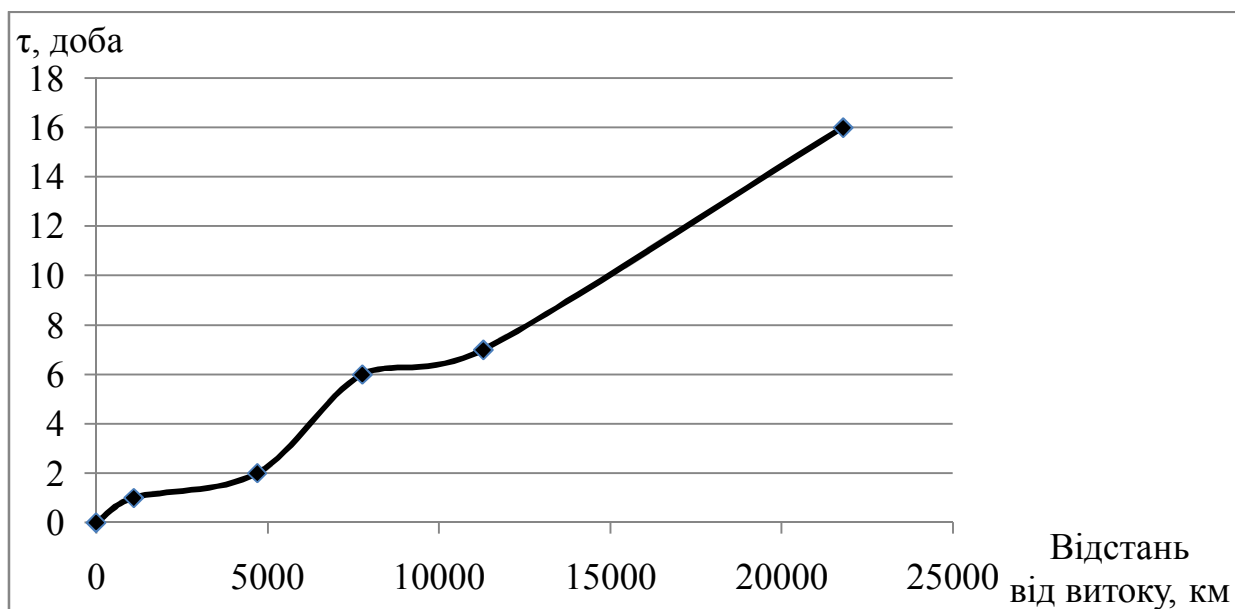


Рис. 4.23 Зміна часу добігання по довжині річки Псел

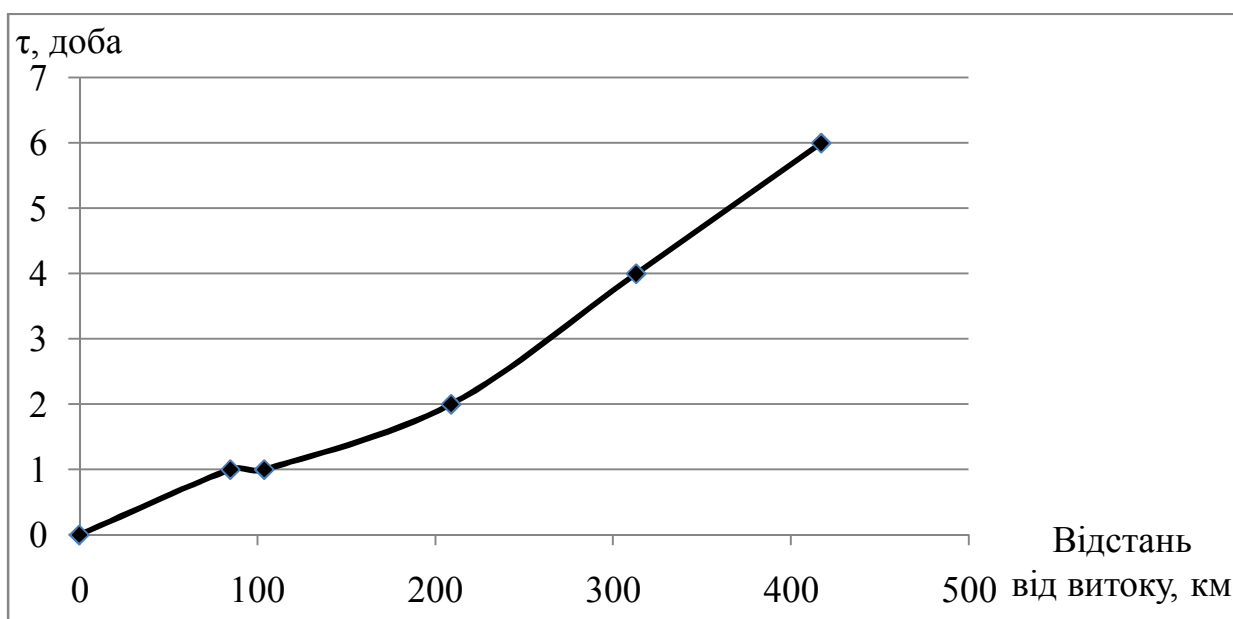


Рис. 4.24 Зміна часу добігання по довжині річки Ворскла

Для окремих хімічних величин вдалося отримати залежності самоочисної здатності від температур води (t , °C) та витрати води у верхньому створі (рис.4.25; 4.26). Чим більше температура, тим більша самоочисна здатність (СЗ, %), вона також зростає із збільшенням витрат води у верхньому створі. Оскільки у нашому випадку даних не багато, самоочисна здатність була осереднена (табл. 4.23). З цієї таблиці витікає, що на ділянці м. Полтава – м. Кобеляки вода очищується приблизно в середньому на 30%.

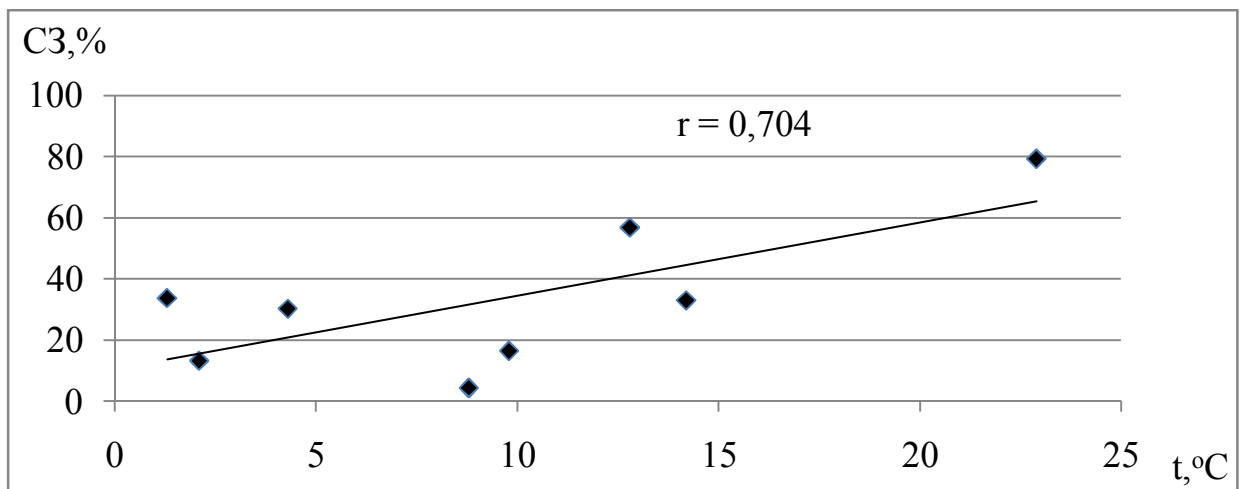


Рис. 4.25 Залежність самоочисної здатності води від іонів магнію в залежності від температури води (р. Ворскла)

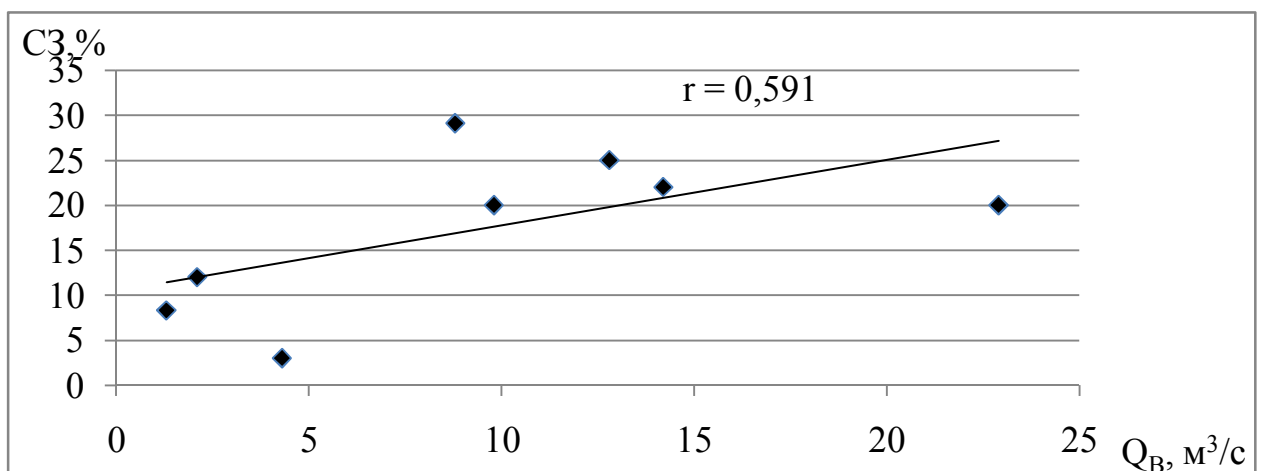


Рис. 4.26 Залежність самоочисної здатності від витрат води у верхньому створі для магнію (р. Ворскла)

Осереднені (1991 – 2012 рр.) значення самоочисної здатності річки**Ворскла на ділянці м. Полтава – м. Кобеляки**

Хімічна речовина	СЗ, %
Мідь	18.7
Залізо	49.7
Хлориди	31.3
Сульфати	18.7
Магній	33.3
Кальцій	25.6
Середнє	29,6

Виходячи з проведених розрахунків, слід зазначити, що найбільша самоочисна здатність між створами р. Псел - м. Суми - р. Псел - с. Запсілля спостерігалась 16 травня 2007 р. для мінералізації і склала 22.9%, час добігання 11 діб.

Самоочисна здатність на р. Ворскла оцінювалася за даними між створами м. Полтава та м. Кобеляки. Установлено, що 07 березня 1995 р. при забрудненні води кальцієм, самоочисна здатність на р. Ворскла між створами м. Полтава – м. Кобеляки склала 90.4% з швидкістю самоочищення 2.4 моль/м³/доб, а при забрудненні магнієм – 79.2% з швидкістю самоочищення 0.004 моль/м³/доб, час добігання для обох випадків становив 1 добу.

Розрахунки ступеня самоочищення після переходу до молів наведені у Додатку О табл. О.8; О.9.

Коефіцієнти K_C визначалися у різні роки та фази водного режиму і для подальшого застосування осереднювалися. Наприклад, на ділянці Полтава-Кобеляки $K_C=0.024$ - для мінералізації, та $K_C=0,016$ - для хлоридів. При виявленні забруднення води річки Ворскла у створі Полтава

(наприклад, $C_{Ca} = 107 \text{ мг/дм}^3$) можна спрогнозувати за рівнянням (4.11), що через 2 доби (час добігання від Полтави до Кобеляк) концентрація кальцію буде дорівнювати 0.99 мг/дм^3 при граничнодопустимому рівні забруднення для господарсько-питного водопостачання 75 мг/дм^3 .

Розрахункові (прогнозні) значення концентрацій забруднюючих речовин C'_H через час τ , після того як вони спостерігалися у верхньому створі, наведені у Додатку О табл. О.10; табл. 4.24[84]

Таблиця 4.24

Розрахунки показників самоочищення (Коефіцієнта Стрітера, прогнозні значення) р. Ворскла - м. Полтава - р. Ворскла - м. Кобеляки

Рік	Дата	Хімічна речовина	C_b , мг/дм ³	K_c Стрітера	$C_H(\tau=2)$
1991	20.03	Fe^{2+}	2.13	0.716096	0.507793
	21.03	Cu^{2+}	0.006	0.40501	0.002667
1992	16.03	Cl^-	77.7	0.005196	76.89584
	20.03	SO_4^{2-}	214	0.066453	187.3393
	16.07	Mg^{2+}	0.122	1.56751	0.005288
	16.07	Ca^{2+}	73.1	0.691003	18.32503
1993	10.05	HCO_3^-	447	0.194195	303
	12.05	Mn	787	0.06137	696
1994	10.05	Mg^{2+}	0.033	0.835309	0.006197
	10.05	Ca^{2+}	89	0.006757	87.80404
	14.11	Mg^{2+}	0.0232	0.409325	0.010222
	15.11	Ca^{2+}	96.4	0.038017	89.33444
1995	5.03	HCO_3^-	323	0.146276	240.9938
	7.03	Ca^{2+}	107	2.338057	0.991495
1996	3.10	Mg^{2+}	0.0171	0.089309	0.0143

Продовження таблиці 4.24

	5.10	SO_4^{2-}	110	0.037711	102
		Fe^{2+}	1.15	0.23387	0.72
2000	12.12	Mg^{2+}	19	0.07046	16.5
	14.12	Cl^-	66.6	0.219669	42.9
		SO_4^{2-}	96.8	0.154107	71.1
		HCO_3^-	321	0.033791	300
		Ca^{2+}	105	0.024368	100
		Мін	660	0.080279	562
2003	16.02	Mg^{2+}	0.0146	0.11941	0.011495
	19.02	SO_4^{2-}	94.1	0.043401	86.26804
2004	10.03	SO_4^{2-}	120	0.273034	69.46408
	13.04	Mg^{2+}	0.0117	0.043626	0.010721
2005	12.05	Mg^{2+}	0.0149	0.398328	0.006711
	12.05	Cl^-	93.6	0.822098	18.04712
		Мін	670	0.03335	626.7224
	7.11	Cl^-	126	0.110457	101
	9.11	Ca^{2+}	74.5	0.021927	71.3
		Мін	874	0.124619	681

Нами розглядалися витрати води у верхньому, нижньому створах та осереднені. Установлено, що K_c зростає із збільшенням витрат води (Додаток О рис. О.23 – О.26). Для розглянутих показників такого роду залежності можуть об'єднуватися (рис. 4.27 Додаток О рис. О.27) [55]

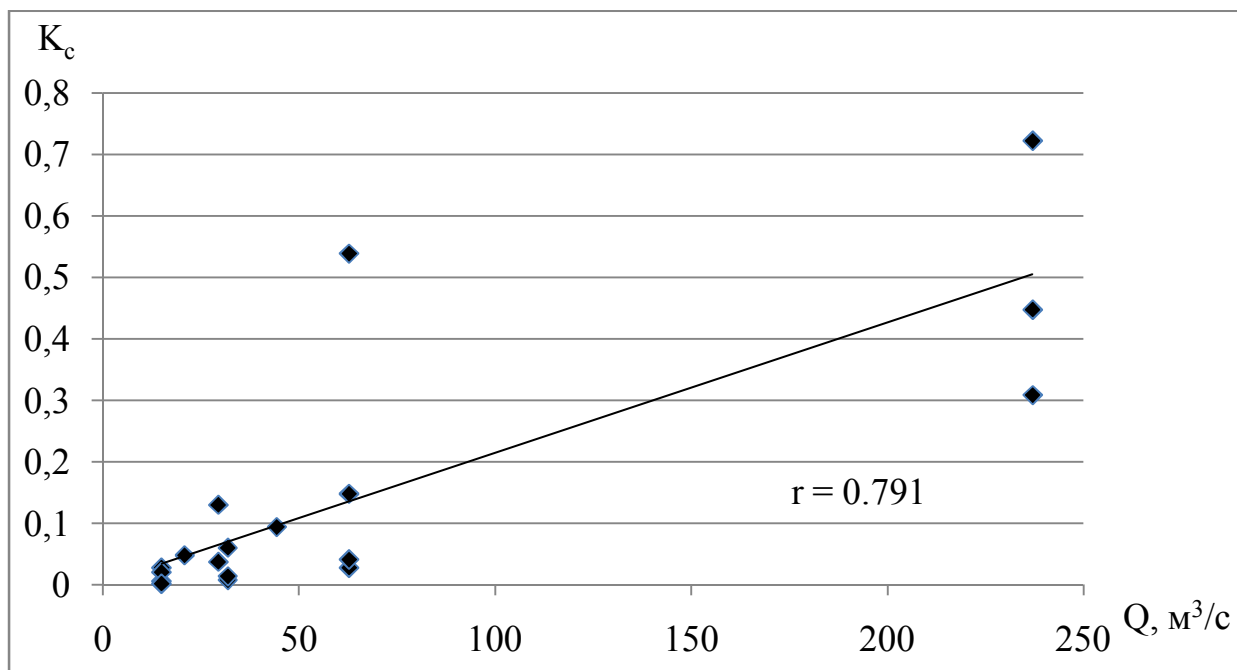


Рис. 4.27. Залежність сумарного коефіцієнта самоочищення на ділянці м. Суми– с. Запсілля від витрат води у нижньому створу (р. Псел - с. Запсілля)

Висновки до розділу 4

1. За кількісним показниками якості води ІЗВ та критеріями шкідливості, визначеними за «Методикою НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерісмана» переважає «помірний» рівень забруднення на обох розглядуваних річках. У багатоводні роки води стають «чистими» за критерієм ІЗВ або мають «допустимий» рівень забруднення - за критеріями шкідливості. У маловодні роки можливий «високий» та «надзвичайно високий» рівень забруднення. Основні джерела забруднення розташовані у верхній течії р. Псел, які забезпечують надходження до річок заліза та мангану, у створах м. Суми та м. Гадяч на річці Псел та нижче міста Полтава - на річці Ворскла, які

постачають феноли та СПАР. Нестача кисню та зростання БПК₅ спостерігаються по всій течії р. Ворскла, зростаючи у її нижній течії.

2. Якісний стан вод річок Псел та Ворскла за середнім значенням екологічного індексу - клас якості вод – III; категорія якості води - 4; назва класів якості вод за їх станом – «задовільні»; назва категорій якості вод за їх станом – «задовільні»; назва класів якості вод за ступенем їх чистоти – «забрудненні»; назва категорій якості вод за ступенем їх забрудненості – «слабко забруднені».

За максимальним значенням екологічного індексу для річок Псел та Ворскла: клас якості вод – III; категорія якості води - 5; назва класів якості вод за їх станом – «задовільні»; назва категорій якості вод за їх станом – «посередні»; назва класів якості вод за ступенем їх чистоти – «забруднені»; назва категорій якості вод за ступенем їх забрудненості – помірно забруднені.

3. Дослідження особливостей внутрішньорічного розподілу якості вод річок Псел та Ворскла показало, що у середньому якість води майже не залежить від сезону. Найгірші оцінки якості отримані за органолептичним критерієм у сезон «весна» коли установлюється надзвичайно високий рівень забруднення.

4. Збільшення стоку води у зимову та літню – осінню межені, яке можливо у ході глобального потепління, буде сприяти покращенню гідроекологічного режиму річок: збільшенню вмісту кисню у воді, покращення здатності до самоочищення. Зсув дат утворення льодового покриву на більш пізні та його скресання на більш ранні, а також зменшення товщини льодового покриву також сприятимуть покращенню кисневого режиму у зимовий сезон.

5. Максимуму концентрацій у зимову межінь досягають такі хімічні речовини як нітроти, фосфати, кремній. Таким чином, зростання стоку зимової межені за рахунок формування відлиг буде сприяти поліпшенню гідроекологічної ситуації у цей сезон.

При недостатній кількості кисню у воді у кілька разів зменшується швидкість розкладання нафтопродуктів. Таким чином, поліпшення кисневого режиму у межах буде сприяти зменшенню концентрації цієї забруднюючої речовини. Збільшення температури води, яким супроводжується глобальне потепління, сприятиме інтенсивному розпаду фенолів та СПАР.

6. За критеріями якості води встановлено, що найбільше забруднення відбувається навесні, коли настає інтенсивний змив забруднюючих речовин з поверхні водозбору. Найбільше забруднення у сезон літо – осінь встановлене для санітарно – токсикологічного критерію.

7. Розроблено методику розрахунків концентрацій забруднюючих речовин у нижньому створі річок на основі даних про їх скидання у верхньому створі та час добігання. Теоретичною основою розрахунків є опис процесів самоочищення через швидкості зменшення концентрації забруднюючої речовини у воді під час руху водних мас у руслі річки. Для визначення часу добігання автором запропоновано використовувати взаємну кореляційну функцію.

Перманганатна окислюваність вод досліджуваних річок в основному перевищує допустиму, а значення БСК₅ близькі до норми.

Найбільша концентрація біогенних речовин у вигляді нітратів, нітритів, фосфатів і кремнію формується в зимовий сезон, коли мають місце низькі температури, утруднений повітрообмін, і фітопланктон їх не поглинає.

8. Дослідження показників самоочищення води показали їхню залежність від температур води та витрат води, що дозволяє зробити висновок про те, що в умовах змін глобального клімату швидкість самоочищення може зростати у меженний період, коли витрати та температури води збільшуються у порівнянні із періодом до 1989 року.

Запропонований новий методичний підхід до розрахунків та прогнозів зменшення концентрації забруднюючих речовин в результаті самоочищення вод по довжині річок.

Цей підхід передбачає визначення концентрацій забруднюючих речовин у нижньому створі на основі даних про концентрацію у верхньому створі та часу добігання. Час добігання визначався на основі взаємних кореляційних функцій. Для практичного застосування розроблені графіки зміни часу добігання по довжині річок.

9. Результати досліджень можуть бути використаними при читанні лекцій та проведенні практичних робіт з дисциплін «Гідрологічні розрахунки», «Методи математичної статистики в гідроекології», «Гідроекологія».

Результати досліджень які стосуються річок Псел та Ворскла як транскордонних у області установа гідрохімічних властивостей річок та їх забруднення від витоків до кордону Російської Федерації з Україною, є важливими для удосконалення та розвитку моніторингу поверхневих вод обох країн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукову задачу оцінки гідрологічного, гідрохімічного та екологічного стану річок Псел та Ворскла при змінах кліматичних умов, які відбуваються на території України в останні десятиріччя.

1. Водозбори річок Псел та Ворскла належать до транскордонних. Верхня частина р. Псел знаходиться у межах Курської області Російської Федерації, р. Ворскла – Білгородської. На водозборах знаходяться поклади корисних копалин, які обумовили розвиток гірничовидобувної, нафтовидобувної промисловості, будівництво переробних заводів та підприємств чорної металургії. Наявність заборів води з поверхневих водотоків, її наступне використання та скиди неочищених вод впливають на екологічний стан річок. За кількісними характеристиками антропогенного навантаження з використанням бальних оцінок встановлено, що антропогенне навантаження на водні ресурси р. Псел обумовлює її екологічний стан як «добрий» по всій довжині річки. Екологічний стан водних ресурсів р. Ворскла покращується при переході від російської до української частин водозбору від «задовільного» до «доброго».

2. Оцінено зміни кліматичних чинників та водних ресурсів досліджуваної території за минулі два десятиріччя. За даними спостережень виявлені статистично значущі тенденції до зростання середніх температур повітря за рік, теплий та холодний періоди. Встановлено, що температури холодного періоду зростають інтенсивніше ніж температури теплого періоду. Зростання опадів за рік не перевищує 20% і відбувається, головним чином, у теплий період. Порівняльний аналіз характеристик стоку до та після 1989 року (як переламного у термічному режимі України), показав, що річний стік річок Псел та Ворскла зменшився. Середній багаторічний максимальний стік зменшився на 50%, а підземна складова річного стоку зросла на 20-30%. За

рахунок збільшення втрат поверхневого стоку на інфільтрацію у період весняного водопілля та при зимових відлигах збільшився стік зимової та літньо-осінньої межні.

3. З метою визначення подальших змін водних ресурсів досліджуваної території використана модель «клімат-стік», розроблена в Одеському державному екологічному університеті. Модель дозволяє виконувати оцінку водних ресурсів за метеорологічними даними. Стік, розрахований за моделлю, отримав назву кліматичного. На основі просторово-часових узагальнень річних норм кліматичних чинників та кліматичного стоку, виконаних з урахуванням даних Російської Федерації, були визначені середні багаторічні значення норм річного кліматичного стоку станом до 1989 р., який відповідає початку суттєвих змін температурного режиму в Україні. В розвиток моделі оцінено вплив підстильної поверхні на умови формування річного стоку рр. Псел та Ворскла. Розроблено методику визначення поправочних коефіцієнтів переходу від норм кліматичного до норм природного стоку. Співставлення розрахункових та фактичних даних показало, що середнє відносне відхилення дорівнює $\pm 6,5\%$. Установлені норми річного кліматичного стоку слугували опірними даними при оцінці відповідності ретроспективних даних кліматичних сценаріїв фактичним.

4. Обрано оптимальні сценарії змін клімату для подальшої оцінки водних ресурсів шляхом співставлення кліматичних чинників та норм річного кліматичного стоку, розрахованих за ретроспективний період, 1951 – 1989 рр. за спостереженими і сценарними даними. Результати показали, що найкраща відповідність установлена при використанні кліматичних сценаріїв гілки A1B: M5 та M10.

5. Згідно зі сценаріями у XXI сторіччі очікується поступове зростання температур повітря, яке буде супроводжуватися збільшенням теплоенергетичних ресурсів клімату, а разом із ним зростанням випаровування з поверхні суші. Значущі зміни водних ресурсів мають початися з 2030 р., коли зростання температур повітря стане більш

інтенсивним. До кінця сторіччя зменшення водних ресурсів досягне 30-40% у порівнянні із даними до 1989 р.

6. На базі даних гідрохімічних спостережень (1990 – 2012 рр.) встановлено, що води досліджуваних річок забруднені кремнієм, залізом, нафтопродуктами, фенолами та СПАР. Показано, що у своїй більшості концентрації цих речовин змінюються по гідрологічних сезонах і залежать від температурного та кисневого режиму річок та їх водності.

7. Оцінено екологічний стан річок за гідрохімічними показниками з використанням таких методів оцінки якості вод як розрахунки індексу забруднення вод ІЗВ та розрахунки критеріїв шкідливості, визначених за «Методикою НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерисмана», а також за «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями». За інтегральною оцінкою якості вод річок Псел та Ворскла з використанням середнього значення екологічного індексу встановлено, що ці води відносяться до класу якості вод – III; категорія якості води - 4; назва класів якості вод за їх станом – «задовільні»; назва категорій якості вод за їх станом – «задовільні»; назва класів якості вод за ступенем їх чистоти – «забруднені»; назва категорій якості вод за ступенем їх забрудненості – «слабко забруднені».

За максимальним значенням екологічного індексу для річок Псел та Ворскла встановлено, що клас якості вод – III; категорія якості води - 5; назва класів якості вод за їх станом – «задовільні»; назва категорій якості вод за їх станом – «посередні»; назва класів якості вод за ступенем їх чистоти – «забруднені»; назва категорій якості вод за ступенем їх забрудненості – «помірно забруднені».

Згідно із кількісними показниками якості води ІЗВ та критеріями шкідливості, визначеними за «Методикою НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерисмана» переважає «помірний» рівень забруднення на обох розглядуваних річках. Органолептичне забруднення пов'язане із кисневим режимом річок: втратами кисню на окиснення органічних речовин (БСК, ХСК); санітарне

забруднення - із значним вмістом у воді фенолів, СПАР; санітарно – токсикологічне забруднення – із вмістом заліза та мангану. Для річки Псел характерне зменшення забруднення по довжині річки (за санітарно – токсикологічним критерієм та ІЗВ). На річці Ворскла основним джерелом забруднення є місто Полтава.

8. Установлено, що вплив змін клімату на абіотичні чинники екосистем проявляється насамперед у змінах водності та температурного режиму річок. Дослідження особливостей внутрішньорічного розподілу якості вод річок Псел та Ворскла показало, що найбільший ступінь забруднення відбувається переважно навесні. На базі даних гідрохімічних спостережень (1990 – 2012 рр.) виявлені залежності гідрохімічних показників від водності (витрат), температури води, кисневого насичення та сезону року. Виявлено, що води досліджуваних річок забруднені кремнієм, залізом, нафтопродуктами, фенолами та СПАР. Найменші значення концентрацій таких забруднюючих речовин, як нафтопродукти, феноли, СПАР відмічаються у період зимової межені, коли спостерігається низька температура води і є нестача кисню. Найбільша концентрація речовин (нітратів, нітритів, фосфатів, заліза та кремнію) формується у зимовий сезон при низьких температурах і відсутності фітопланктону. Визначено, що зміни водності річок їх внутрішньорічного розподілу можуть суттєво впливати на формування режиму якості вод річок Псел та Ворскла та на їх здатність до самоочищення.

9. Розроблено методику розрахунків концентрацій забруднюючих речовин у нижніх створах річок на основі даних про їх забруднення у верхньому створі на базі визначення часу добігання вод від верхнього створу до нижнього з використанням взаємної кореляційної функції. Запропонована методика дозволяє визначати зміну концентрацій забруднюючої речовини по довжині річки в процесі самоочищення.

10. Отримані результати впроваджені у навчальний процес ОДЕКУ, роботу установ гідрометеорологічної служби та водного господарства.

Список використаних джерел

1. Алекин О.А. Гидрохимия / О.А. Алекин - Л., Гидрометеиздат, 1968. 282с.
2. Атлас природных условий и естественных ресурсов УССР. М.: Главное управление по геодезии и картографии при Совете Министров СССР, отдел географии, - 1978. - 120с.
3. Байсарович М.М. / Геология и полезные ископаемые Украины : атлас / М.М. Байсарович, В.М. Беланов, М.А. Бородулин и др. – К.: ДП «Такі справи», 2001. – 168 с.
4. Бефани А.Н. Пути генетического определения нормы стока. - Научный ежегодник ОГУ. - Одесса. - 1957. - 125 с
5. Будз М.Д. Вплив глобального потепління на умови живлення підземних вод // Зб.наук. праць - Географія у інформаційному суспільстві. – К. ВГЛ Обрії, 2008. – Т.3. – С.76-78.
6. Винарчук О.О. Умови формування хімічного складу води та вивченість гідрохімічного режиму річок лівобережного лісостепу. / О.О. Винарчук, В.К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Науковий збірник / Відп. ред. В.К. Хільчевський. – К.: ВГЛ «Обрії», 2010 – Т.18. – 219-229с.
7. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. - Київ.: Віпол, 2000. - 375с.
8. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. – К.: Ніка-Центр, 2003. – 324 с.
9. Владимиров А.М. Сток рек в маловодный период года / А.М. Владимиров – Л.: Гидрометеиздат, 1976 – 295 с.
10. Водний фонд України / За ред. В.М. Хорєва, К.А. Алієва. // довідковий посібник – К.: Ніка-Центр, 2001. – 392 с.

11. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза / К.П. Воскресенский – Л.: Гидрометиздат, 1962. – 546 с.
12. Географія лісових ресурсів України / за редакцією С. Генсірук, М. Нижник, видавництво «Світ», Львів, 1995. – 422с.
13. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.І. Ромась та ін.; За ред. В.К. Хільчевського. – К.: Ніка-Центр, 2007. – 184 с.
14. Гидрогеология СССР. Украинская ССР / Под ред. Ф.А. Руденко. – М.: Недра, 1971. – Т.5. – 614 с.
15. Гидрохимический атлас СССР. – М.: ГУГК, 1990. – 110 с.;
16. Гидрохимическое картирование с применением вероятностно-статистических методов / под ред. В.И. Пелешенко. – К.: Вища школа, 1979. – 97 с.
17. Гопченко Є.Д. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплогового балансу / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Наук. праці УкрНДГМП. – 2001. – Вип. 249. – С.106-120.
18. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). – Київ: КНТ. – 2005. – 188 с.
19. Горев Л.Н. Региональная гидрохимия / Л.Н. Горев, А.М. Никаноров, В.И. Пелешенко – К.: Вища школа, 1989. – 280с.
20. Горев Л.М. Методика оптимізації природного середовища проживання / Л.М. Горев, В.І. Пелешенко, В.В. Кирничний. – К.: Либідь, 1992. – 528 с.
21. Горев Л.М., Гідрохімія України / Л.М. Горев, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський – К.: Вища школа, 1995. – 307 с.
22. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. – К.: Ніка-Центр, 2010. - 316 с.
23. Гриб Й.В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем (гідрохімія, гідробіологія, гідрологія, управління). / Гриб Й.В., Клименко М.О., Сондак В.В.// Навчальний посібник. – Т.2. – Волинські береги. – 347 с.
24. Денисова А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования / А.И. Денисова. – К.: наук. Думка, 1979. – 290 с.

- 25.Денисова А.И. / Гидрология и гидрохимия Днестра и его водохранилищ / А.И. Денисова, В.М. Тимченко, Е.П. Нахшина и др. – К.: Наук. Думка, 1989. – 216 с.
- 26.Доброумов Б.М., Устюжанин Б.С. Преобразование водных ресурсов и режима рек центра ЕТС. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 221с.
- 27.Долгополов К.В. Вода – национальное достояние / К.В. Долгополов, Е.Ф. Федорова - М.: «Мысль», 1973 - 255 с.
- 28.Дж. К. Родда. Грани гидрологии [монография] / Дж. К. Родда – Л.:Гидрометеиздат, Т.2. -1987. – 534с.
- 29.Екологічне состояние трансграничних участків рек басейна Дністра на території України / Под. ред. А.Г. Васенко и С.А. Афанасьєва. – К.: Академперіодика, 2002. – 355 с.
- 30.Екологічне оздоровлення Дніпра / В. Шевчук, О. Мазуркевич, В. Навроцький. – К.: 2001. – 267 с.
- 31.Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України. Навчальний посібник. – Київ. Фірма “Інкос”, 2009 – 612 с.
- 32.Клімат України / за редакцією В.М. Ліпінського, канд. фіз.-мат. наук. В.А. Дячука, канд. геогр. наук. В.М. Бабіченко, видавництво Раєвського, Київ, 2003.-343 с.
- 33.Коненко Г.Д. Гідрохімія ставків і малих водоймищ України / Г.Д. Коненко. – К.: Наук. думка, 1971. – 311 с.
- 34..Коротун І. М., Коротун Л.К., Коротун С.І. Природні ресурси України: Навчальний посібник. - Рівне, 2000. - 192 с.
- 35.Кочуров Б.И. География экологических ситуаций (экодиагностика). – М.: ИГ РАН, 1997. – 156 с.
- 36.Косовець О.О. Сучасний стан забруднення поверхневих вод на території України за даними спостережень мережі гідрометслужби / Косовець О.О., Онанко Ю.І., Радзієвська Н.Г.// Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т.11. – С. 257-263.
- 37.Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком.- М. Наука,1981. - 235с.

38. Крицкий С.Н. Расчеты многолетнего регулирования речного стока с учетом коррелятивной связи между стоком смежных лет / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель // Проблемы регулирования речного стока - Изд. АН СССР, 1959. - вып. 8.- С. 5-36.
39. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния / Н.С. Лобода // монография – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
40. Лобода Н.С. Оценка влияния атмосферных процессов Северной Атлантики на формирование полей годового стока рек Украины // Український гідрометеорологічний журнал, №3. – 2008. – с. 167-177.
41. Лобода Н.С. Антропогенні навантаження та зміни річного стоку в басейні р. Сіверський Донець / Н.С. Лобода, О.В. Бабаєва // Міжвід. наук. зб. України. - Метеорологія, кліматологія та гідрологія - Одеса. - 2008. – Вип. 50. - С. 31 – 36.
42. Лобода Н.С., Коробчинська А.О. Оцінка впливу мінливості Північно-Атлантичного та Скандинавського коливань на гідрометеорологічні характеристики України // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.– К. ВГЛ "Обрії", Т.18.2010. – С. 91-98.
43. Лобода Н.С. Просторово-часові закономірності розподілу забруднюючих речовин в басейнах річок Псел та Ворскла / Н.С. Лобода, М.Є. Даус, В.В. Пилип'юк // Матеріали Х наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2010. – 46-47 с.
44. Лобода Н.С. Динаміка хімічного складу води по довжині р. Ворскла та оцінка її якості / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Вісник Одеського державного екологічного університету. – Вип.11. - Одеса:ТЕС. – 2011. - С. 178-189.
45. Лобода Н.С. Оцінка якості води р. Ворскла за гідрологічними показниками в роки різної водності / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Матеріали ХІ наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. – Одеса: Екологія, 2011. – 42-43 с.

- 46.Лобода Н.С. Оценка антропогенной нагрузки на водные ресурсы рек Псел и Ворскла / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Регіональні екологічні проблеми. Матеріали V Міжнародної наукової конференції студентів, магістрів і аспірантів: Матеріали доповідей./ Одеськ. Держ. Екологічний Університет. – Одеса:ТЕС, 2012. – 229-231 с
- 47.Лобода Н.С. Динаміка забруднюючих речовин за довжиною трансграничної річки Ворскла / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Матеріали XII наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ; Одеськ. Держ. Екологічний Університет – Одеса: ТЕС, 2012. – 47 с.
- 48.Лобода Н.С. Оценка экологического состояния рек Псел и Ворскла по уровню использования вод в трансграничной зоне “Россия-Украина” / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Вісник Одеського державного екологічного університету. – Вип.14. - Одеса:ТЕС. – 2012. - С. 151-159.
- 49.Лобода Н.С. Тенденції зміни водності та якості води річок Псел та Ворскла на початку XXI сторіччя / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Україна: географія цілей та можливостей. Зб. наук. праць. – Н.: ФОН «Лисенко М.М.», 2012. – Т. 1 – 192-195 с.
- 50.Лобода Н.С. Аналіз змін якості води річок Псел та Ворскла у часі / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Матеріали II Міжнародної конференції «Молодь у вирішенні екологічних та соціально-економічних проблем сьогодення». Одеса: ТОВ “ДІА”, 2013. – С.109-111.
- 51.Лобода Н.С. Комплексная оценка влияния техногенного загрязнения на гидроэкологическое состояние рек Псел и Ворскла / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Матеріали XII наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. – Одеса: ТУС, 2013. – 54 с.
- 52.Лобода Н.С. Визначення природних водних ресурсів річок Псел та Ворскла на основі моделей “клімат-стік” / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю "Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології". - м. Дніпропетровськ: ТОВ «Акцент ПП», 2014 р. – С. 180-182.

- 53.Лобода Н.С. Оцінка впливу підстильної поверхні на формування річного стоку на базі використання моделі «клімат - стік» / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Матеріали міжнародної конференції студентів та молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення».; Одеськ. держ. екологічний університет. – Одеса: ТЕС, 2014. – 114-115 с.
- 54.Лобода Н.С. Гидрологические и гидрохимические характеристики рек Псел и Ворскла в разные гидрологические сезоны / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Матеріали XIII наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ; Одеськ. держ. екологічний університет – Одеса: ТЕС, 2014. – 58 с.
- 55.Лобода Н.С. Визначення часу добігання забруднених вод по довжині річки Ворскла на основі взаємкореляційної функції / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Матеріали XIII наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ; Одеськ. держ. екологічний університет – Одеса: ТЕС, 2014. – 60 с.
- 56.Лобода Н.С. Визначення водних ресурсів річок Псел та Ворскла з урахуванням впливу підстильної поверхні на базі моделі «клімат - стік» / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Відповідальний редактор Хільчевський В.К. – К. ВГЛ "Обрії", 2015. - Т.2(37). – С. 48-55.
- 57.Лозовіцький П.С. Динаміка коливань стоку та хімічного складу води річки Сула / П.С. Лозовіцький// Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2003. – Т.5. – С. 155-164.
- 58.Мельник С.В., Лобода Н.С. Динаміка водного режиму і стоку наносів річок Подолії // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2009. – Т 17. – С.55-62.
- 59.Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины - Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 168 с.
- 60.Мезенцев В.С. / Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич, Г.В. Белоненко, Ю.Н. Плотников, С.Д. Полисадов (Под ред. В.С.Мезенцева). -М. Колос, 1974. -240 с.
- 61.Мезенцев В.С. Расчеты водного баланса: Учебное пособие. - Омск, 1976 – 230с.
- 62.Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Екологія. Охорона природи: Словник – довідник. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2002. – 550 с.

- 63.Национальная программа экологического оздоровления бассейна Днепра и улучшения качества питьевой воды. Утверждена Постановлением Верховной Рады Украины от 27 января 1997 года. – 92 с.
- 64.Осадчий В.І. Основні тенденції формування хімічного складу поверхневих вод України у 1995-1999 рр. / В.І. Осадчий // УкрНИГМИ. – 2001. – Вып.48. – С. 138-153.
- 65.Осадчий В.І. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу / В.І. Осадчий, Б.Й. Набиванець, Н.П. Осадча, Ю.Б. Набиванець // К.: Ніка – Центр, 2008 – 656 с.
- 66.Паламарчук М.М., Горленко І.О., Яснюк Т.Є. Географія мінеральних ресурсів Української РСР. – Київ: Радянська школа. 1985. – 136с.
67. Пелешенко В.И Оценка взаимосвязи химического состава различных типов природных вод (на примере равнинной части Украины / В.И. Пелешенко. – К.: Вища школа, 1975. – 168 с.
- 68.Пелешенко В.І. Загальна гідрохімія/ В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський. – К.: Либідь, 1997. – 384с.
- 69.Пелешенко В.І., Закревський Д.В. Гідрогеологія з основами інженерної геології. 4.1. Гідрогеологія. – К.: ВПЦ «Київ. ун-т», 2002. – 212 с.
- 70.Пилип'юк В.В. Динаміка хімічного складу р. Псел та оцінка її якості / В.В. Пилип'юк, Н.С. Лобода // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Відповідальний редактор Хільчевський В.К. – К. ВГЛ "Обрії", 2010. - Т.4(21). – С. 125-134.
- 71.Пилип'юк В.В. Оцінка якості вод річки Ворскла для рибогосподарського використання / В.В. Пилип'юк, О.Є. Тірон // Сучасний стан регіональних проблем та шляхи їх вирішення. – Матеріали Міжнародної наукової конференції молодих вчених. - Одеськ. держ. екологічний університет – Одеса: ТЕС, 2014. – 259-261 с.

- 72.Піліпюк В.В. Оцінка самоочисної здатності річок Псел та Ворскла / В.В. Піліпюк, Н.С. Лобода // Матеріали міжнародної наукової конференції студентів і молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія сучасні проблеми та шляхи їх вирішення». Одеськ. держ. екологічний університет. – Одеса ТЕС, 2014. – С.116-117.
- 73.Подземный сток на территории СССР. Под ред. проф. Б.И. Куделина. – М.: Изд. МГУ, 1966. 303 с.
- 74.П'яте національне повідомлення України з питань зміни клімату. – К: Мінприроди України, 2009. – 282 с.
- 75.Ресурсы поверхностных вод СССР: Т. 6 Вып. 2 / под. редакцией канд., техн., наук. М.С. Каганера. – Л.: Гидрометиздат, 1971. – 510 с.
- 76.Ресурсы поверхностных вод СССР. Среднее и Нижнее Поднепровье.- Л.: Гидрометеиздат, 1971. - т.6. - вып.2 - 655с.
- 77.Ромась І.М. Мінералізація річкових вод басейну Дніпра при мінімальних витратах різної забезпеченості в літньо-осінню та зимову межені/ І.М Ромась, В.К. Хільчевський// Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2004. – Т.6. – С. 172-179.
- 78.Ромась М.І. Про зв'язок головних іонів та мінералізації з витратами води у річках басейну Дніпра у межений період / М.І. Ромась, І.М. Ромась, І.О. Шевчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т.9. – С. 102-113.
- 79.Руденко Ф.А. Гідрогеологія Української РСР. – К.: Вища школа, 1972. – 174 с.
- 80.Савицький В.М. Формування і динаміка хімічного складу річкових вод притока Дніпра у зоні лісостепу / В.М. Савицький, І.О. Шевчук, В.І. Пелешенко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2001. – Т.2. – С. 504-510.
- 81.СанПін 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПін 2.2.4-171-10)

- 82.Снежко С.И. Особенности формирования речного стока биогенных элементов бассейна Днепра (в пределах УССР): автореф. дис. канд. геогр. наук: 11.00.07 / Гидрохимический институт/ С.И. Снежко. – Ростов-на Дону, 1989. – 23 с.
- 83.Степаненко С.М. / Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового – Одеса: Екологія, 2011. – 605 с.
- 84.Тірон О.Е. Визначення часу добігання стоку на основі взаємної кореляційної функції при вирішенні гідроекологічних задач / О.Е. Тірон // Матеріали XIII наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ.; Одеськ. держ. екологічний університет.- Одеса: ТЕС, 2014.- 56с.
- 85.Хільчевський В.К. Роль агрохімічних засобів у формуванні якості вод басейну Дніпра/ В.К. Хільчевський. – К.: ВПЦ «Київський університет», 1996. – 222 с.
- 86.Хільчевський В.К. Порівняльна оцінка якості річкових вод басейну Дніпра/ В.К. Хільчевський, В.В. Маринич, В.М. Савицький // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2002. – Т.4. – С. 167-178.
- 87.Хільчевський В.К. Характеристика іонного стоку річок басейну Дніпра / В.К. Хільчевський, В.В. Маринич, В.М. Савицький // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2003. – Т.5. – С. 226-240.
- 88.Хільчевський В.К. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.І. Ромась та ін. – К.: Ніка-Центр, 2007. – 184 с.
- 89.Хільчевський В.К. Основи гідрохімії / В.К. Хільчевський, В.І. Осадчий, С.М. Курило // підручник – К.: Ніка-Центр, 2012. – 312 с.
- 90.Швебс Г.І., Ігошин М.І. Каталог річок і водойм України: Навчально-довідковий посібник. – Одеса: Астропринт, 2003. – 392 с.
- 91.Шевчук В. Екологічне оздоровлення Дніпра / В. Шевчук, О. Мазуркевич, В. Навроцький. – К.: 2001. – 267 с.

- 92.Швебс Г.И. Каталог річок і водойм України: Навчально-довідковий посібник / Г.И. Швебс, М.І. Ігошин. – Одеса: Астропринт, 2003. – 390 с.
- 93.Шеляг-Сосонко Ю.Г. Андрієнко Т.Л. // Енциклопедія Сучасної України. — Т. 1. — К., 2001. — С. 491.
- 94.Barnston, A. G., and R. E. Livezey. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. // Mon. Wea. Rev., 1987. – 115. – P. 1083–1126.
- 95.Giorgi F., Mearns L.O. Introduction to special issue: Regional climate modeling revisited // Journal of Geophysical Research – 1999. – Vol. 104. – P. 6335-6352.
- 96.Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // Proceedings of The Second International Conference on Climate and Water. - vol.3. - Espoo, Finland: Edita Ltd, Hesinki. – 1998.
- 97.Loboda N.S, Assessment of water quality of the Psel river using hydrochemical indicators in the different seasons of year / N.S. Loboda, V.V. Pilipyuk // Sustainable development. – 2014/ - №16. – С. 114 – 117.
- 98.Loboda N.S. Hydrochemical composition of Psyol and Vorskla river waters under conditions of antropogenic influence. / N.S. Loboda, V.V. Pilipyuk // European Applied Sciences/ - 2014/ - №7. – С. 57 – 60.
- 99.Loboda N.S. Evaluation of ability for natural purification of the Psyol and Vorskla rivers / N.S.Loboda, V.V. Pilipyuk // International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences/ - 2015/ - №1/ - P. 28 – 32.
100. Roeckner E. The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate / E. Roeckner, K. Arpe, L. Bengtsson, M. Cristoph, M. Claussen, L. Dumenil, M. Esch, U. Schlese, U. Schulzweida. // Max-Planck-Institute fur Meteorologie, Report. – 1996. – No.218

101. Samuelsson P. The Rossby centre regional climate model RCA3: Model description and performance / P. Samuelsson, C.G. Jones, U. Willén, A. Ullerstig, S. Gollvik and co-authors. // Tellus. - 2011.- 63A, 4–23.

ДОДАТОК А

ГІДРОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РІЧОК

Таблиця А.1

Гідрографічні характеристики річок Псел та Ворскла й їх притоки

Назва річки	Куди впадає	Права (п) чи ліва притока (л)	Відстань від гирла основної річки, км	Довжина, км	Похил, ‰	Площа басейну, км ²
Псел	Дніпро	л	564	692	0,23	22800
Удава	Псел	л	502	21	2,0	88,3
Рибиця	Псел	л	495	29	1,7	270
Олешня	Псел	п	455	33	1,3	311
Сумка	Псел	п	444	29	1,2	389
Сироватка	Псел	л	424	58	1,3	738
Устя	Псел	л	394	24	1,5	106
Ворожба	Псел	п	385	22	1,4	101
Ольшанка	Псел	л	356	34	1,1	186
Будилка	Псел	л	345	16	1,8	103
Бобрик	Псел	л	334	22	1,9	98,5
Веприк	Псел	л	319	17	2,2	200
Грунь	Псел	п	304	85	1,0	1090
Рашівка	Псел	л	257	17	3,0	72,8
Лютенька	Псел	л	257	32	2,7	207
Грунь-Ташань	Псел	л	222	91	0,69	1870

Вовнянка	Псел	п	181	17	0,88	149
Тух	Псел	л	180	19	1,4	123
Гнилиця	Псел	л	152	23	2,2	175
Бакай	Псел	л	122	21	0,96	185
Хорол	Псел	п	110	301	0,30	4030
Голтва	Псел	л	94	34	0,21	1680
Манжелія	Псел	п	56	21	1,5	117
Омельник	Псел	п	42	41	0,75	422
Ворскла	Дніпро	л	514	452	0,30	14700
Лозова	Ворскла	л	378	15	3,1	54,2
Березова	Ворскла	л	369	16	3,2	61,5
Лозова	Ворскла	л	363	27	1,9	169
Грайворонка	Ворскла	л	348	35	1,4	138
Без назви	Ворскла	л	339	15	3,2	83,2
Братениця	Ворскла	л	336	30	1,6	233
Івани	Ворскла	л	308	24	1,8	182
Рябинка	Ворскла	л	296	37	1,0	286
Весела Долина	Ворскла	л	293	18	1,5	104
Ворсклиця	Ворскла	п	286	96	0,77	1480
Ахтирка	Ворскла	л	252	24	1,2	158
Рукав Киселиха	Ворскла	л	232	16	0,13	217
Котильва	Ворскла	л	210	31	1,8	497
Мерло	Ворскла	л	186	116	0,80	2030
Ковжиг	Ворскла	л	178	17	1,5	157
Без назви	Ворскла	л	157	16	0,81	62,8
Тагамлик	Ворскла	л	122	64	0,95	525

ДОДАТОК Б

ГІДРОЛОГІЧНІ ПОСТИ

Таблиця Б.1

Список гідрологічних постів

№ поста	№ поста за картою	Річка	Пост	F, км ²	Період спостережень
158	343	р. Псел	м. Обоянь	1100	1943-1980
159	344	р. Псел	с. Крупець	4700	1927-1941, 1948-1980
160	345	р. Псел	м. Суми	7700	1938-1940, 1948-2010, діючий
161	346	р. Псел	м. Гадяч	11300	1936-39, 1958-2010, діючий
162		р. Псел	с. Ярески	14300	1948-1951, 1953-1990, закритий
163	347	р. Псел	с. Запсілля	21800	1928-1940, 1950-2010, діючий
164	348	р. Пена притока р. Псел	с. Пени	1000	1933-41, 1944-1980, діючий
165	349	р. Суджа притока р. Псел	с. Замостя	972	1929-42, 1944-80, діючий
166	350	р. Грунь притока р. Псел	с. Римарівка	958	1944-75, закритий

167	351	р. Хорол притока р. Псел	с. Петрівка- Роменська	722	1933-41, 1945-75, закритий
168	352	р. Хорол притока р. Псел	м. Міргород	1740	1919-1945, 1956-2010, діючий
169	353	р. Говтва притока р. Псел	с. Міхновка	1560	1951-1952, 1954-2010, діючий
170		р. Ворскла	сmt. Яковлево	56	1962-1980, діючий
171		р. Ворскла	с. Ново- борисівка	1140	1946-80, діючий
172	355	р. Ворскла	с. Козинка	1870	1914-16, 1924-41, 1944-80, діючий
173	356	р. Ворскла	с. Чернет- чина	5790	1953-2009, діючий
174		р. Ворскла	м. Полтава	9370	1914-27, 1930-41, 1943-2000, закритий
175	357	р. Ворскла	м. Кобеляки	13500	1965-2010, діючий
176	358	р. Ворсклиця притока р. Ворскла	с. Мокра Орловка	612	1946-1980, закритий
177	359	р. Ворсклиця притока р. Ворскла	с. Березівка	1460	1930-1941, 1944-1988, закритий
178	360	р. Мерла притока р. Ворскла	м. Богодухів	309	1951-2010, діючий

ДОДАТОК В

ОСНОВНІ РОДОВИЩА У МЕЖАХ ВОДОЗБОРІВ РІЧОК

Таблиця В.1

**Основні родовища нафти, газу та залізної руди у межах водозборів річок
Псел та Ворскла (територія Ураїни)**

№ п/п	Назва родовищ
1	Талалаєвське
2	Малодівіцьке
3	Прилуцьке
4	Анастасіївське
5	Коржівське
6	Лесяківське
7	Гнідицівське
8	Глинсько - Розбишівське
9	Рудівське - Червонозаводське
10	Бугруватівське
11	Кочанівське
12	Яблучне
13	Рибальське
14	Котелівське
15	Очеретівське
16	Опішнянське
17	Матвіївське
18	Юлівське
19	Розпашнінське
20	Західно - Хрестищінське

21	Мелехівське
22	Шебелінське
23	Абазівське
24	Машівське
25	Ведмедівське
26	Єфремівське
27	Руденківське
28	Макеївське
29	Багатойське
30	Лобачевське
31	Кондрашевське

ДОДАТОК Д

ВІДОМОСТІ ПРО ВОДОВИКОРИСТАННЯ

Таблиця Д.1

**Вилучення поверхневих вод об'ємом 0,5 млн. м³ та більше з річок у
межах України у 2001 році**

Найменування водокористувача	Адміністративне положення (область)	Джерело води		Об'єм вилучення води, млн. м ³
		Назва водного об'єкту	Відстань від гирла, км	
ЗАО «Предприятие тепловых сетей»	Сумська, м. Суми	р. Псел	465	1.296
АТ «СМПО им. Фрунзе» виробляє хімічне обладнання	Сумська, м. Суми	р. Псел	452	1.30
Виробниче об'єднання «Хімпром»	Сумська, м. Суми	р. Псел	450	10.49
Краснопільське райсільгоспуправління по 15 колгоспах	Сумська, смт. Червонопільське	р.Сироватка, притока р. Псел (439 км)	42	1.775
Рибцех «Сироватка» Сумського облрибкомбінату	Сумська, Червонопільський район	р.Сироватка	28	1.763
Рибцех «Сироватка» Сумського облрибкомбінату	Сумська	р.Сироватка	23	1.563
Ахтирське нафтобазо - видобувне управління	Сумська м.Ахтирка	р.Ворскла	256	0.835

Фермерське господарство «Нива»	Харківська, Золоче-вський	р. Мерла, притока р.Ворскла (168 км)	114	1.363
СООО «Нептун»	Харківська, Краснокутський	р. Мерла	48	2.280
Первухинський цукрозавод	Харківська, Богусла-вський	р.Мерчик, притока р. Мерла (64 км)	18	1.198
Ново - Іванівський цукрозавод	Харьковська, Колома-кський	р.Коломак, притока р.Ворскла (139 км)	52	0.505

Таблиця Д.2

Вилучення та скидання води підприємствами (Україна)

Водокористувач	Забір поверхневих вод		Водовідведення у поверхневі водні джерела				
	Джерело води	Об'єм забору води, млн.м ³	приймач стічних вод	Об'єм стічних вод, млн.м ³			
				всього	недостатньо очищених нормативно	чистих після очищення	очищення
АО "СМПО им. Фрунзе" вироблення хімічного обладнання, м. Суми	р. Псел	1.3	р.Сумка. притока р. Псел	0.423	0.423		

Продовження табл. Д.2

ПО "Химпром" м. Суми		10.49	р. Псел	5.692	4.894	0.798
ТЭЦ м. Кременчуг				0.977	0.977	
Ахтирське нафтобазо- видобувне підприємство, м. Ахтирка	р. Ворскла	0.835	р.Вор- скла			
ПУВКХ, м. Полтава		0.16		29.83		29.83
Цукрові заводи в басейні р. Ворскла		3.287				

ДОДАТОК Ж

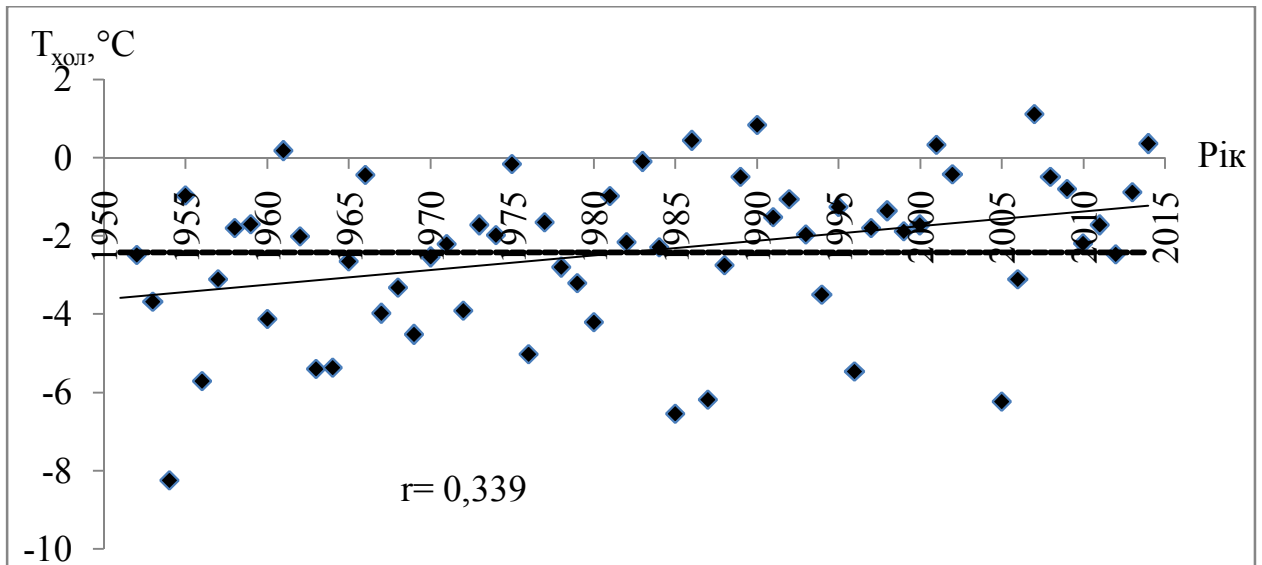
ЗМІНИ ОПАДІВ ТА ТЕМПЕРАТУР ПОВІТРЯ ЗА ДАНИМИ
СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Рис. Ж.1. Хронологічний хід середніх температур повітря за холодний період (метеостанція м. Полтава) (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

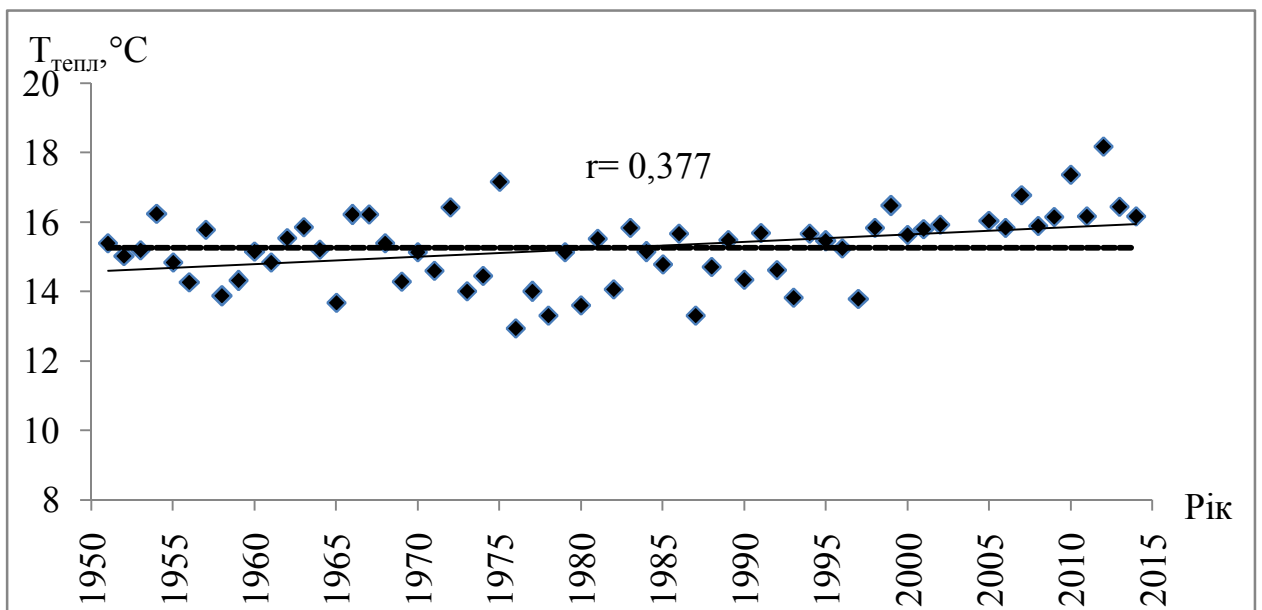


Рис. Ж.2. Хронологічний хід середніх температур повітря за теплий період (метеостанція м. Полтава) (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

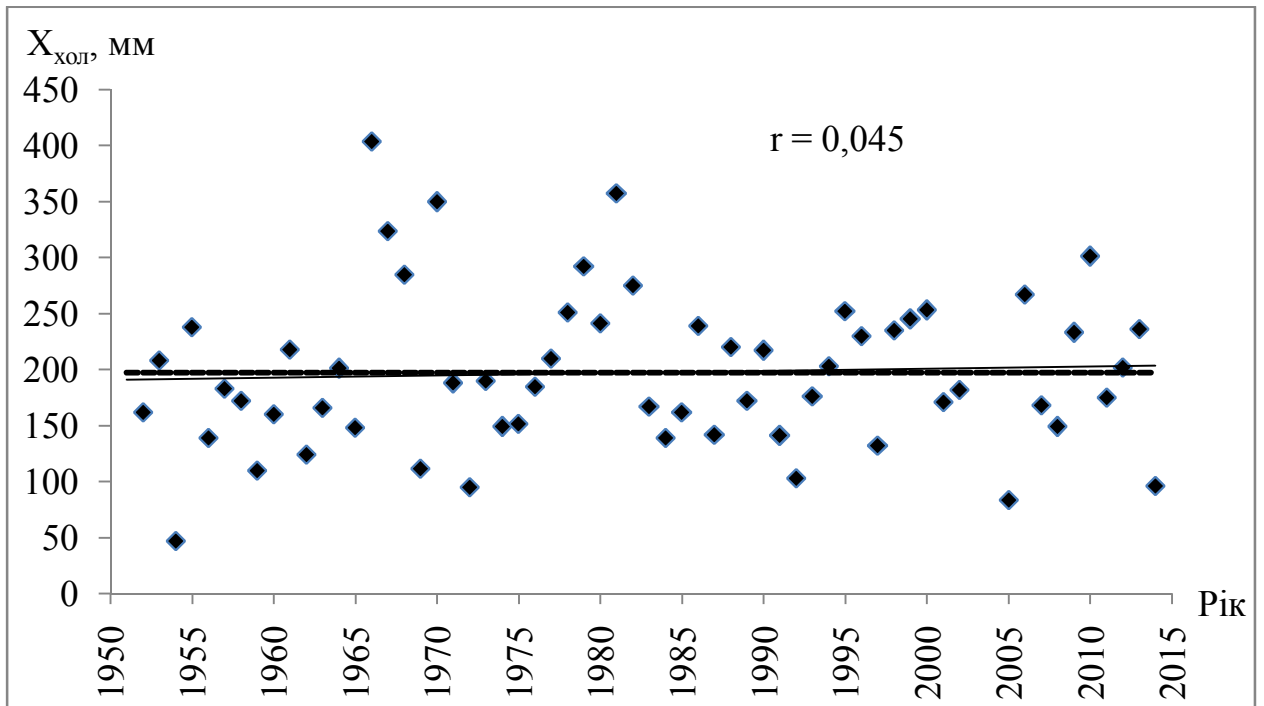


Рис. Ж.3. Хронологічний хід сум опадів за холодний період (метеостанція м. Полтава) (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

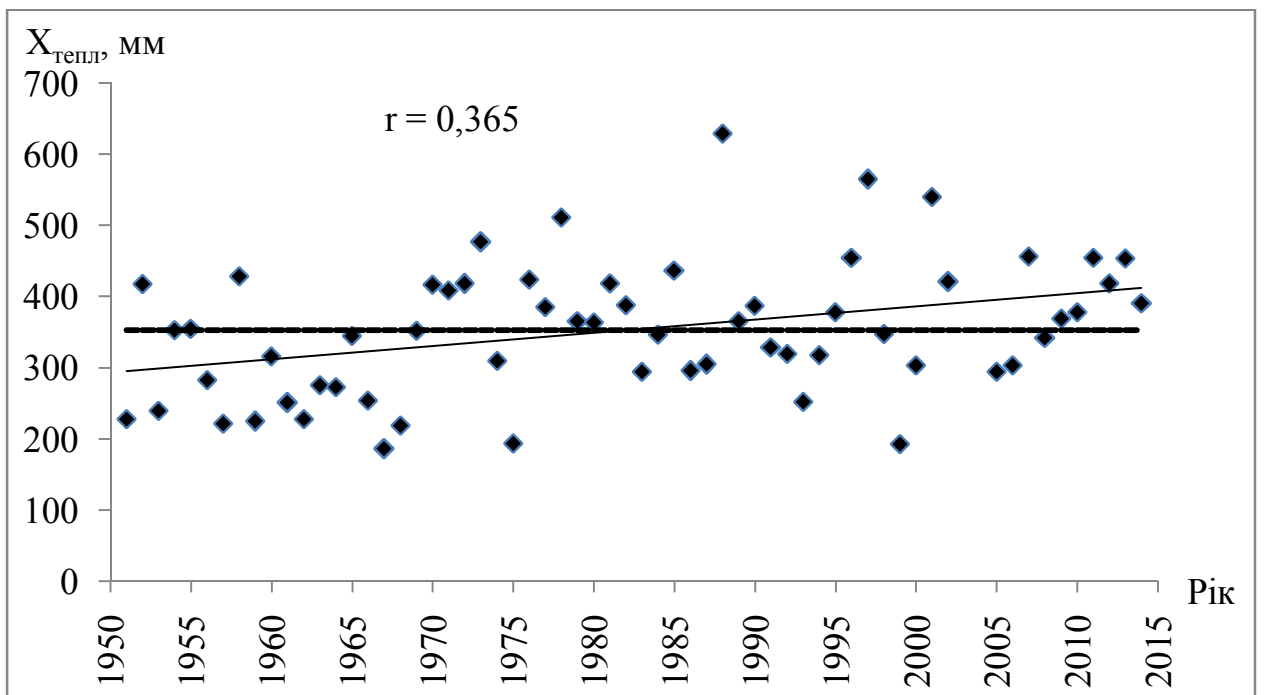


Рис. Ж.4. Хронологічний хід сум опадів за теплий період (метеостанція м. Полтава) (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

ДОДАТОК 3

СТАТИСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ МІНІМАЛЬНОГО 30-ТИ ДОБОВОГО
СТОКУ

Таблиця 3.1

Статистичні параметри мінімального 30-ти добового стоку літньо-осінньої межні , розраховані за методом моментів

Річка – пост	n	$\bar{Q}_{\min,30},$ $\text{м}^3/\text{с}$	$\bar{q}_{\min,30},$ л/с/км^2	$\varepsilon_{\bar{Q}},$ %	C_V	$\varepsilon_{C_V},$ %	C_S	$\frac{C_S}{C_V}$	$\sigma_{\frac{C_S}{C_V}}$
р. Псел – м. Суми	63	9.75	1.27	7.31	0.58	10.1	0.86	1.40	0.53
р. Псел- м. Гадяч	52	10.3	0.91	8.04	0.58	11.1	0.90	1.50	0.59
р. Псел- с. Запсілля	70	14.8	0.68	6.57	0.55	9.48	1.12	2.00	0.53
р. Хорол- м. Миргород	34	1.04	0.60	7.75	0.45	13.0	0.21	0.47	0.93
р. Ворскла- с. Чернетчина	53	3.73	0.64	10.6	0.77	11.7	1.41	1.80	0.44
р. Ворскла- с. Кобеляки	32	11.7	0.87	5.48	0.31	12.9	0.21	0.68	1.40
р. Ворсклиця- с. Березівка	31	0.82	0.56	14.9	0.83	15.2	1.17	1.40	0.53
р. Мерла- м. Богодухів	50	0.21	0.68	9.76	0.69	11.7	0.89	1.30	0.50
Середні значення		6.54	0.78	8.80	0.60	11.9	0.85	1.32	0.68

**Статистичні параметри мінімального 30-ти добового стоку зимової
межені , розраховані за методом моментів**

Річка – пост	n	$\bar{Q}_{\min,30}$, м ³ /с	$\bar{q}_{\min,30}$, л/с/км ²	$\varepsilon_{\bar{Q}}$, %	C_V	ε_{C_V} , %	C_S	$\frac{C_S}{C_V}$	$\sigma_{\frac{C_S}{C_V}}$
р. Псел – м. Суми	63	9.66	1.25	7.31	0.58	10.1	0.79	1.40	0.53
р. Псел-м. Гадяч	52	13.6	1.20	7.21	0.52	10.8	0.74	1.40	0.65
р. Псел - с. Запсілля	70	18.5	0.85	7.77	0.65	9.84	1.69	2.60	0.45
р. Хорол - м. Миргород	34	0.98	0.56	7.72	0.45	13.0	0.21	0.47	0.93
р. Ворскла - с. Чернеччина	53	4.62	0.80	8.52	0.62	11.1	0.56	0.90	0.54
р. Ворскла - с. Кобеляки	32	18.3	1.35	5.48	0.31	12.9	0.21	0.68	1.40
р. Ворсклиця - с. Березівка	31	0.98	0.67	19.2	1.07	16.2	2.14	2.00	0.41
р. Мерла - м. Богодухів	50	0.28	0.91	10.2	0.72	11.8	1.56	2.20	0.48
Середні значення		8.36	0.95	9.18	0.62	1.98	0.99	1.46	0.68

Поверхнева ($Y_{ПОВ}$) і підземна ($Y_{ПДЗ}$) складові річного стоку ($Y_{РІК}$) в створі р. Ворскла – с. Чернеччина, отримані на основі розчленовування гідрографів

Рік	Забезпеченість річного стоку %	$Y_{РІК}$, мм %	$Y_{ПДЗ}$, мм %	$Y_{ПОВ}$, мм %
1957	24 Багатоводний	110 100%	8 8%	102 92%
1964	62 Середній за водністю	71 100%	13 4%	58 96%
1966	76 Маловодний	58 100%	23 40%	35 60%
1970	10 Багатоводний	149 100%	26 17%	123 83%
1971	50 Середній за водністю	84 100%	20 24%	64 76%
1975	44 Середній за водністю	24 100%	7 30%	18 70%
1980	2 Багатоводний	205 100%	66 32%	139 68%
1981	4 Багатоводний	192 100%	25 13%	167 87%
1987	26 Багатоводний	105 100%	38 36%	67 64%
1988	6 Багатоводний	157 100%	31 20%	126 80%
2004	38 Середній за водністю	90 100%	56 62%	34 38%
2005	58 Середній за водністю	80 100%	42 52%	38 48%

ДОДАТОК I

СЦЕНАРІЙ A1B (M1)

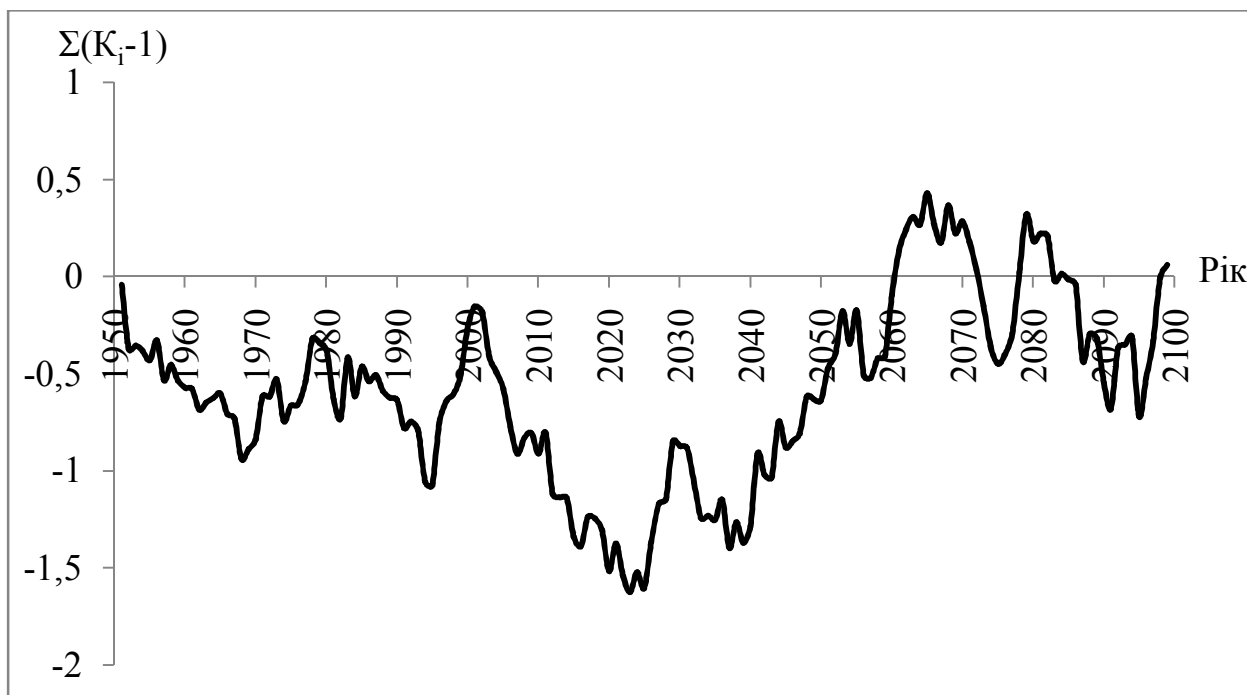


Рис. I.1 – Різницева інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм A1B (M1), м. Суми, 1951-2100 рр.

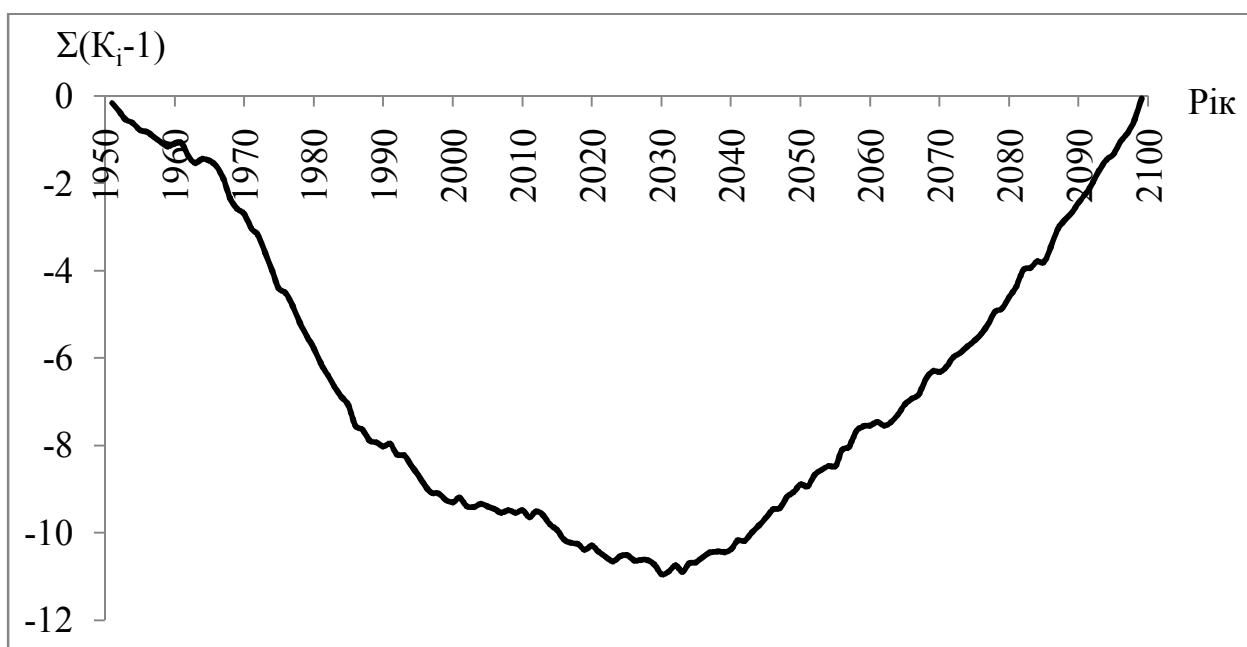


Рис. I.2 – Різницеви інтегральні криві середніх річних температур повітря за сценарієм A1B(M1), м. Суми, 1951-2100рр.

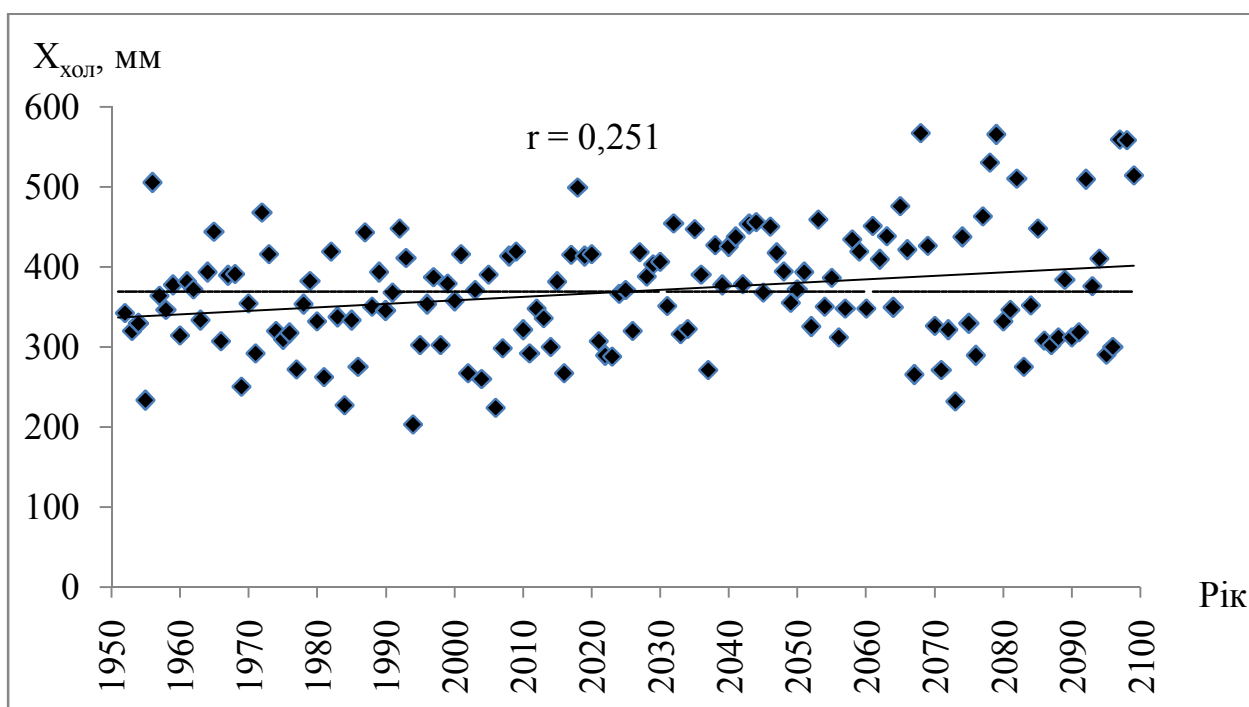


Рис. І.3 - Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А1В (М1), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

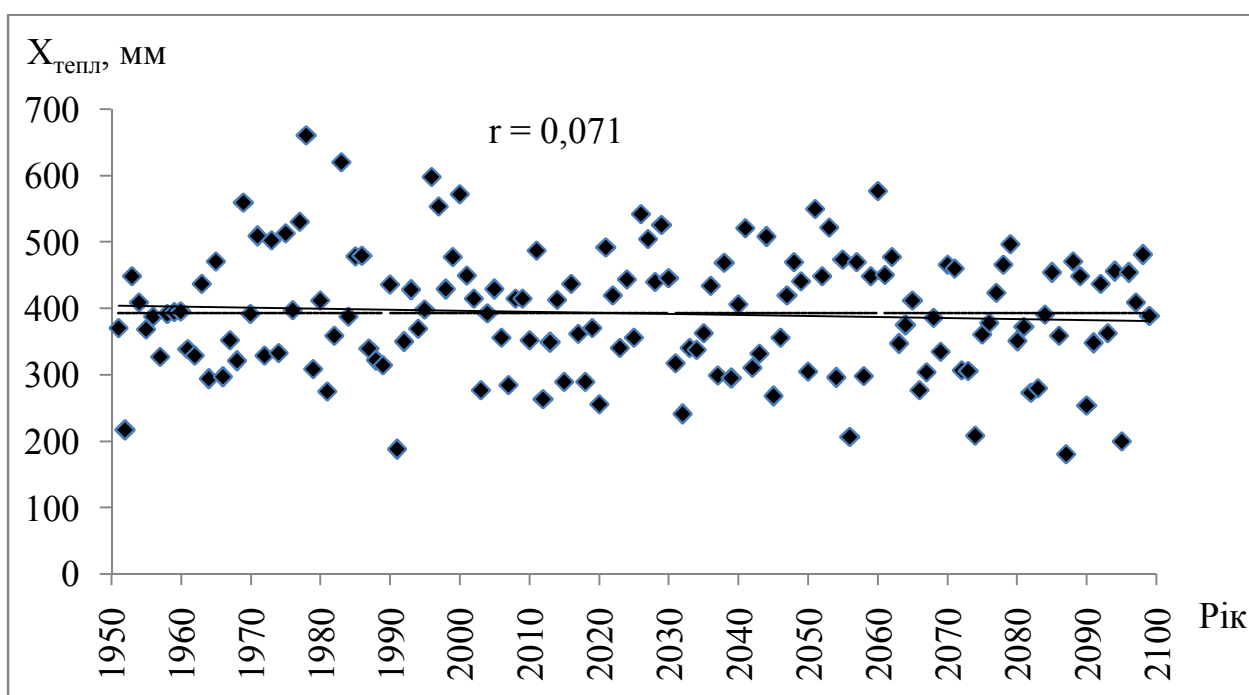


Рис. І.4 - Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В (М1), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

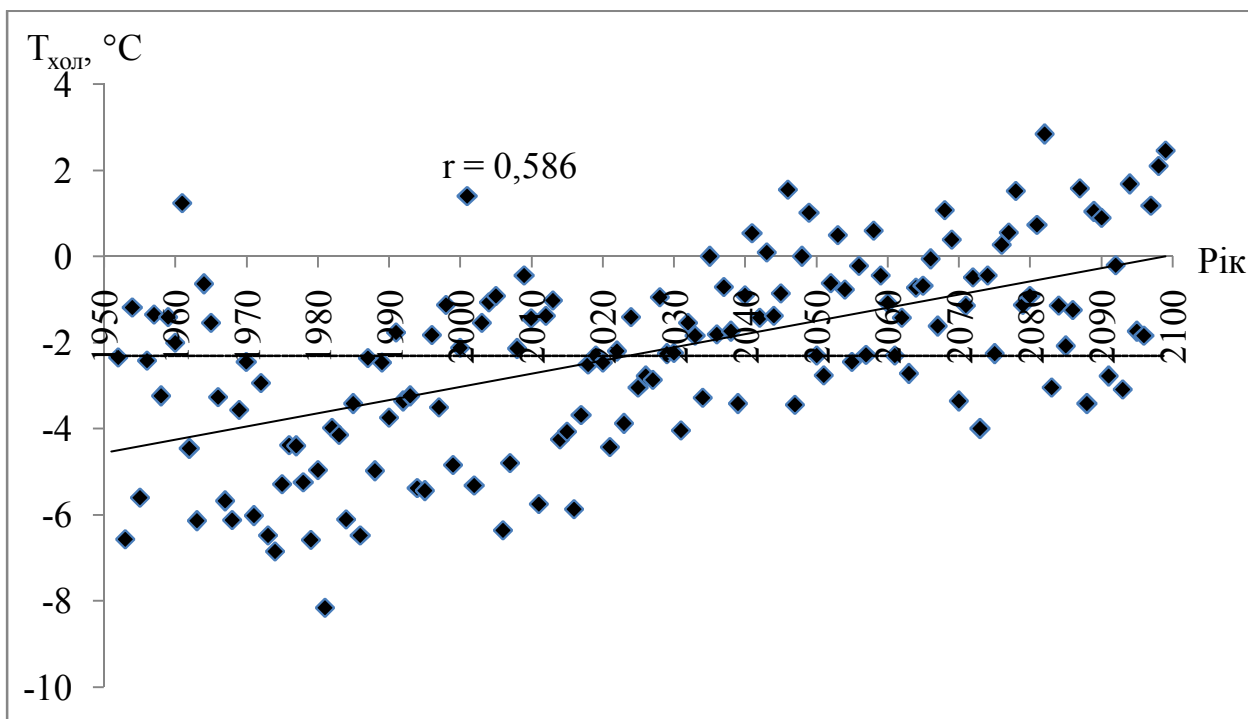


Рис. І.5 – Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А1В (М1), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

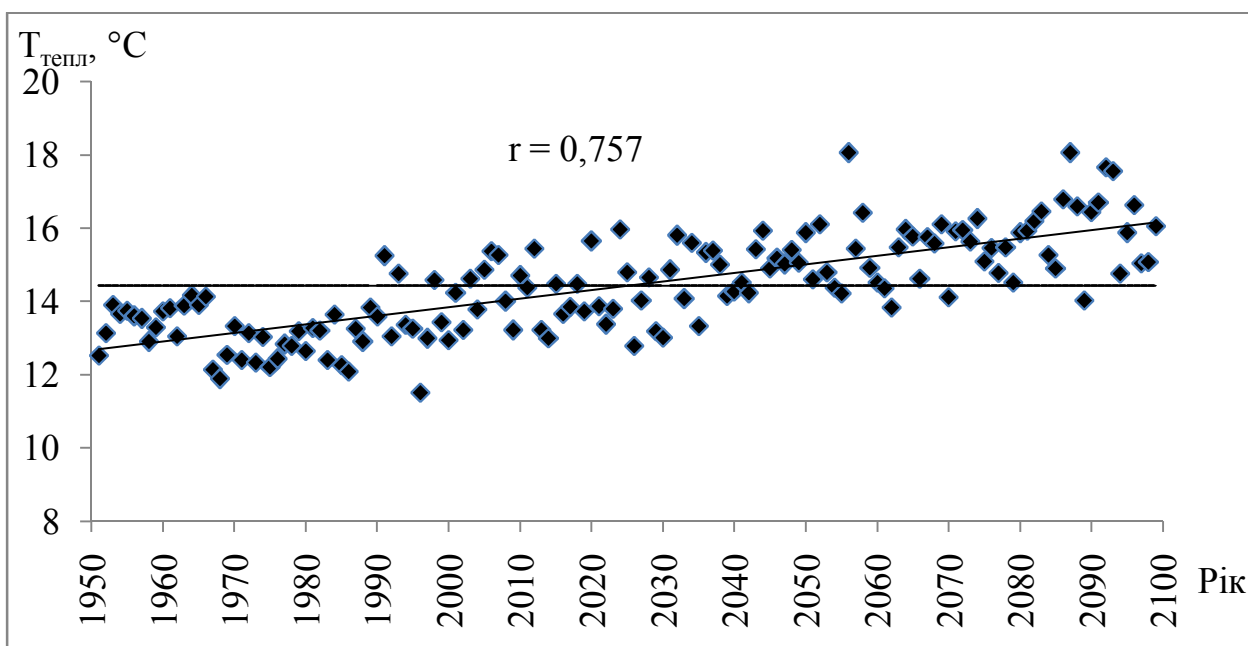


Рис. І.6 – Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-Хміс.) за сценарієм А1В (М1), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

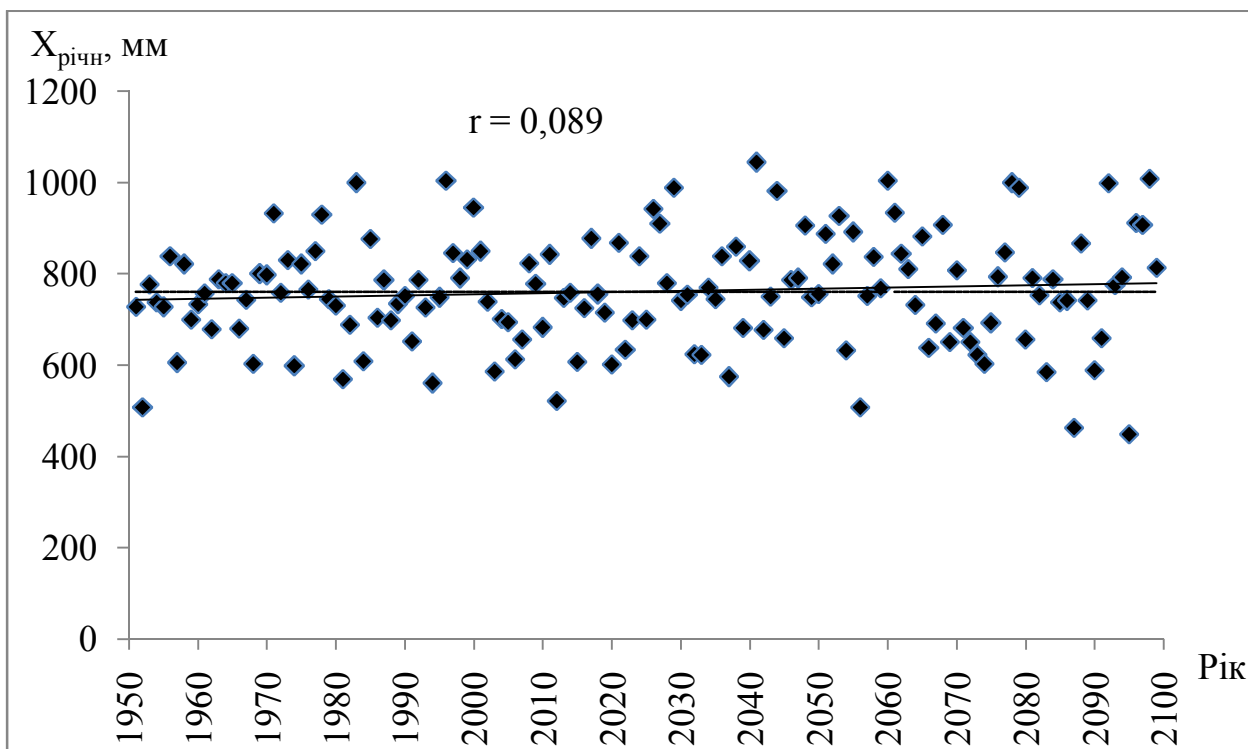


Рис. І.7 - Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М1), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

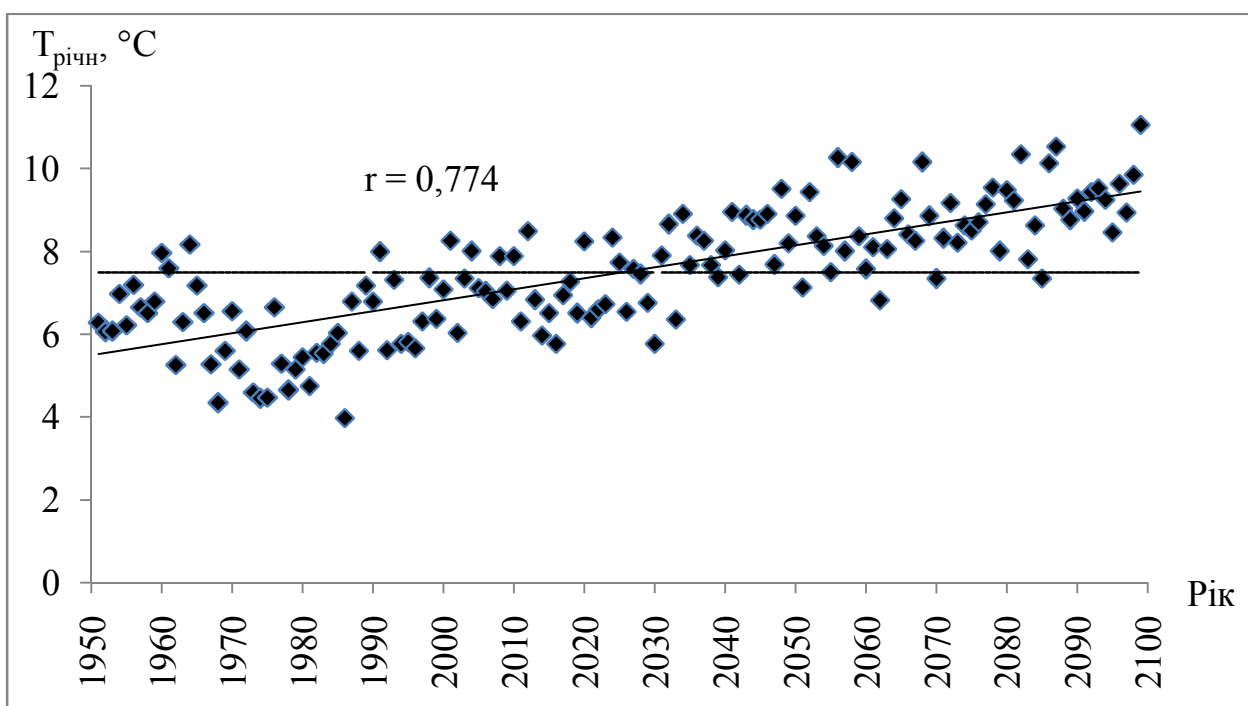


Рис. І.8 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М1), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

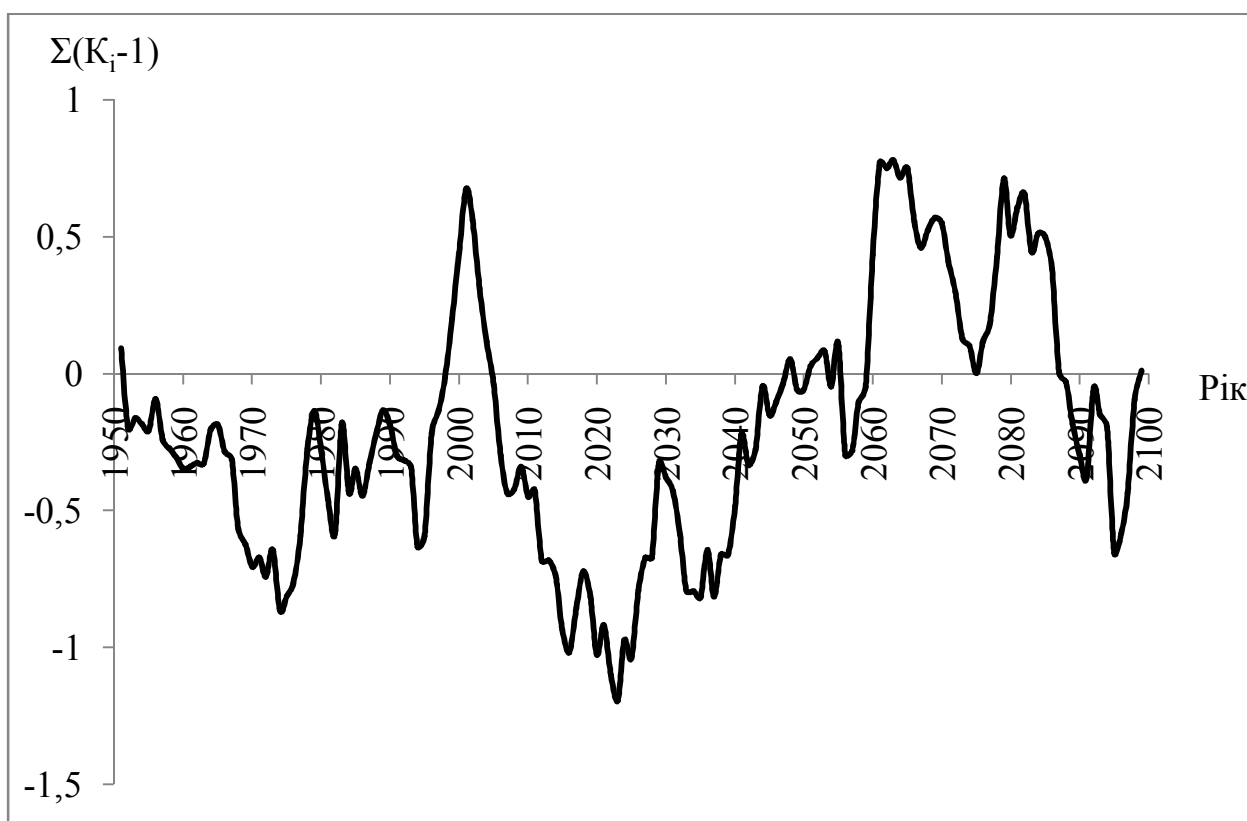


Рис. І.9 – Різницева інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М1), м. Полтава, 1951-2100 рр.

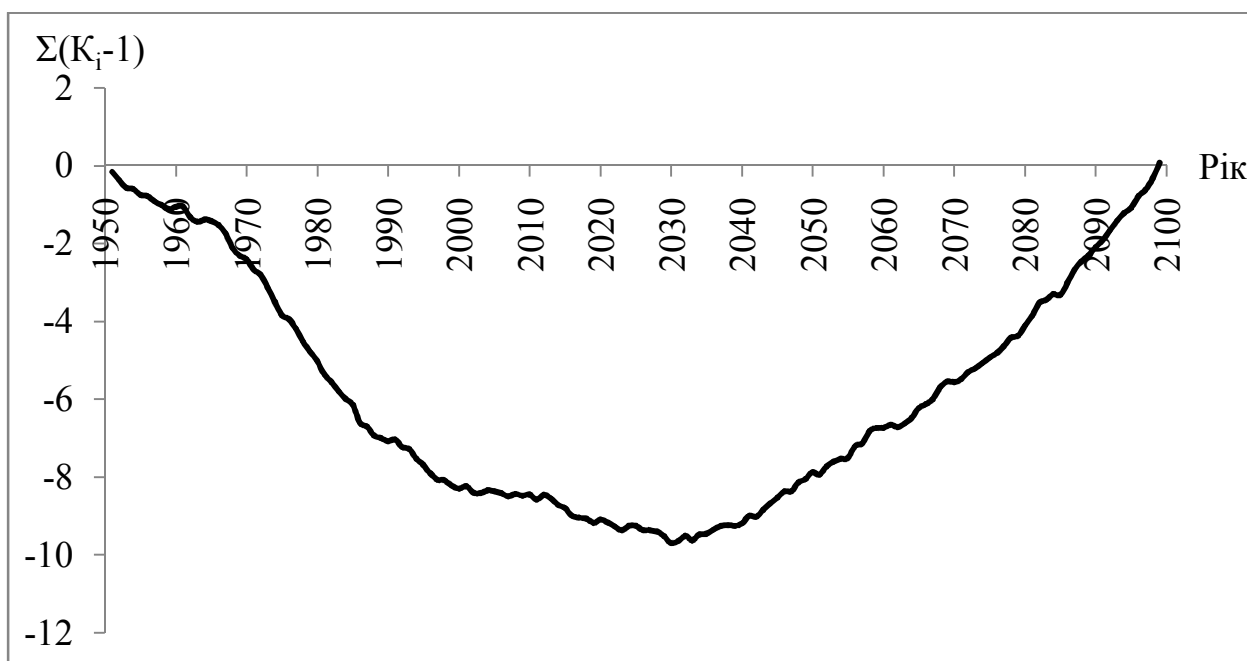


Рис. І.10 – Різницева інтегральна крива середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М1), м. Полтава, 1951-2100рр.

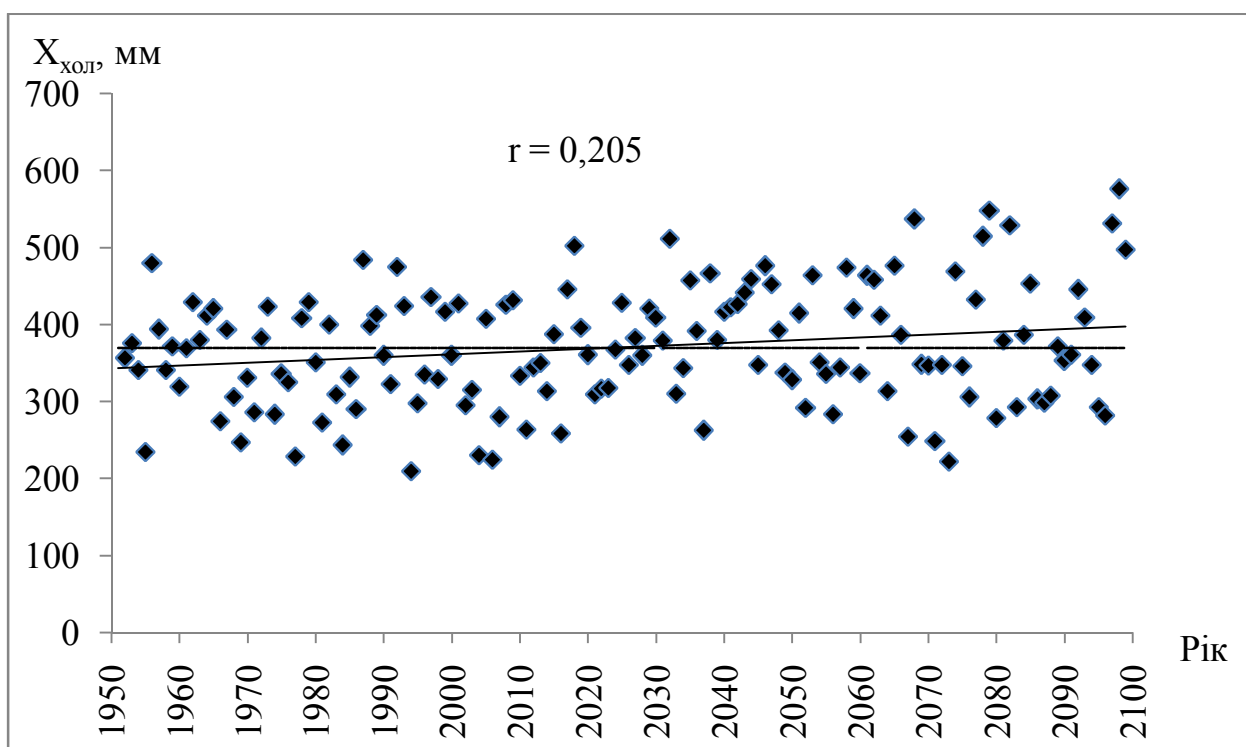


Рис. I.11 - Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А1В (М1), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

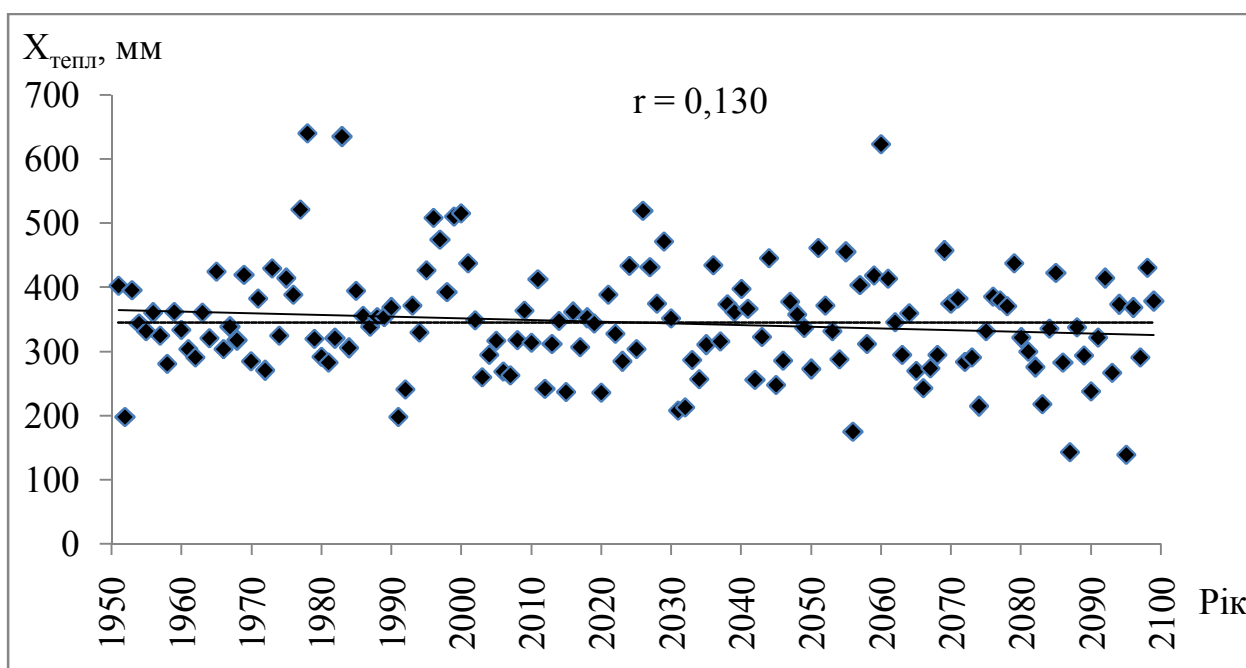


Рис. I.12 - Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В (М1), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

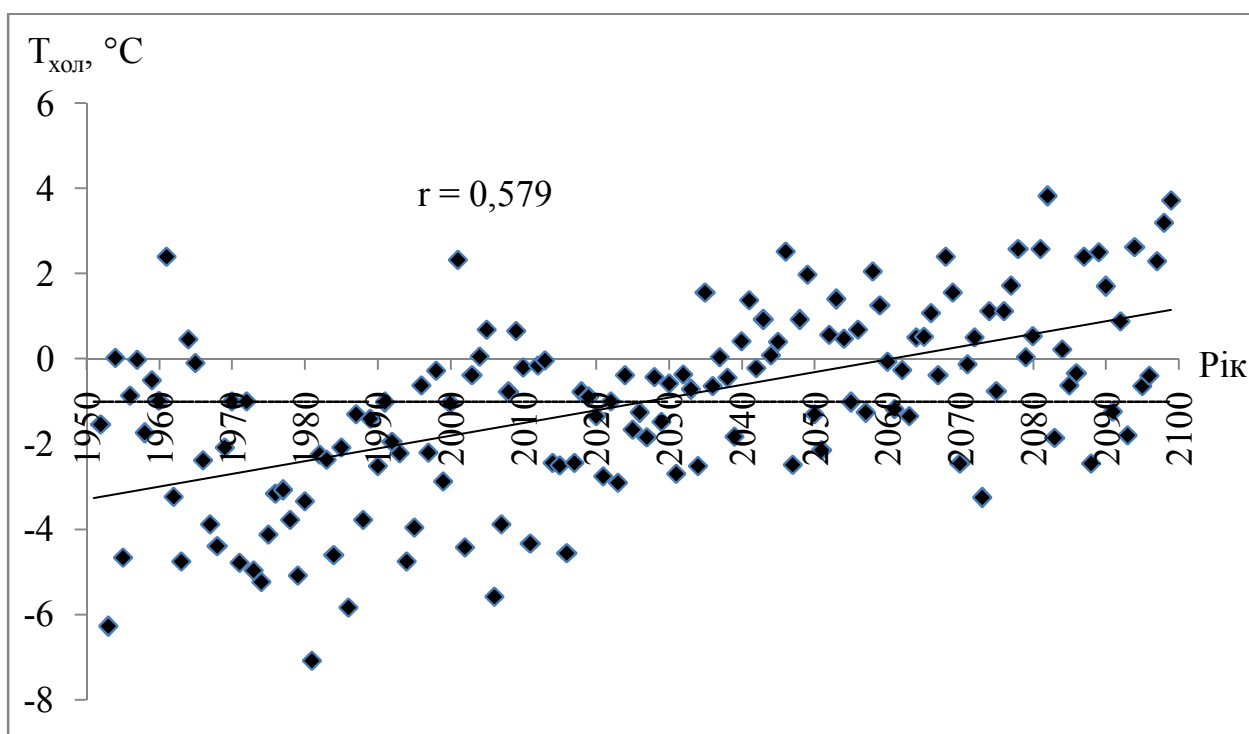


Рис. I.13 – Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм A1B (M1), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

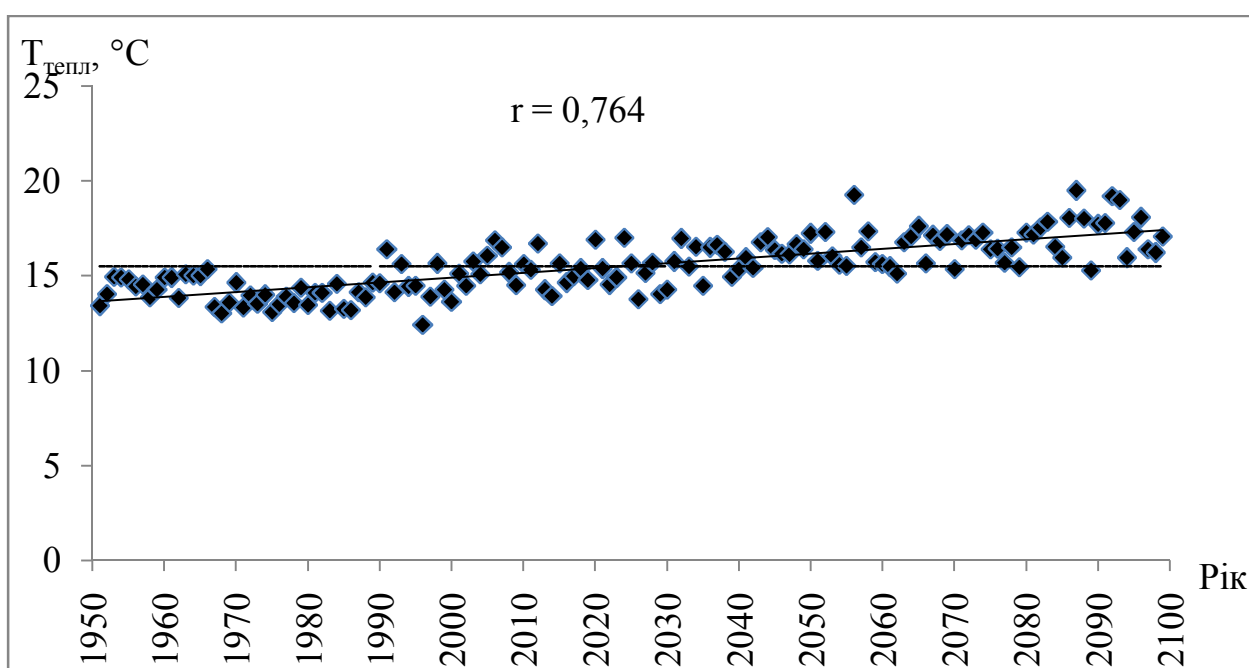


Рис. I.14 – Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-X міс.) за сценарієм A1B (M1), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

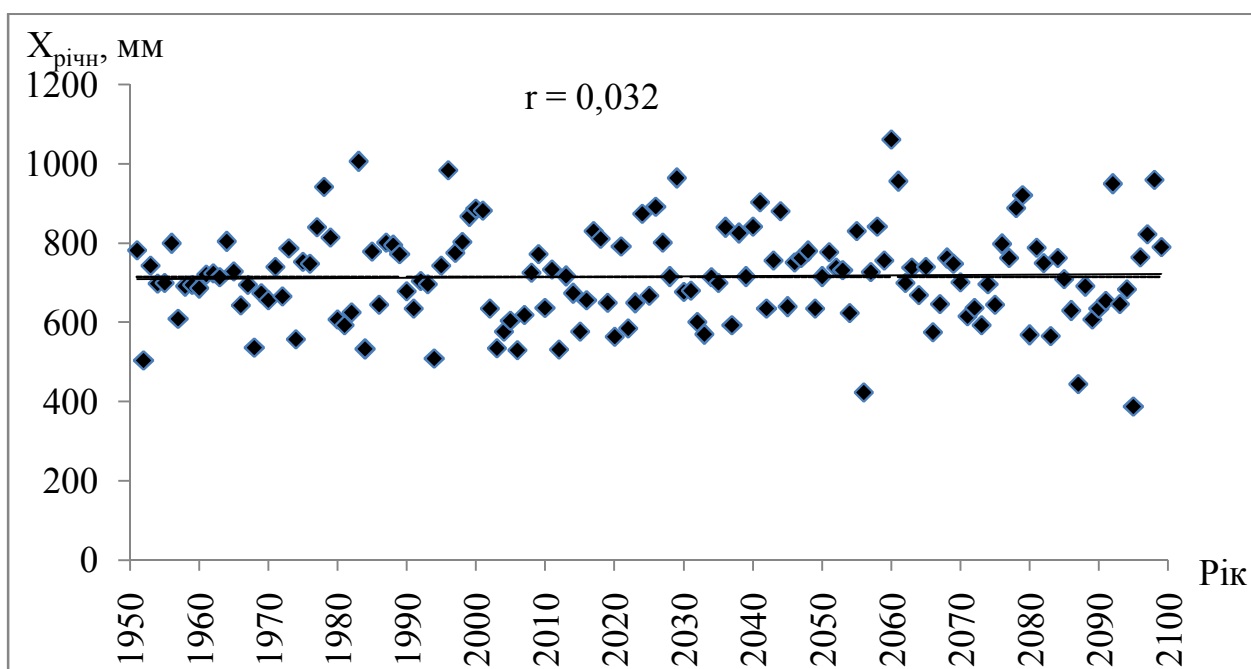


Рис. І.15 - Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М1), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

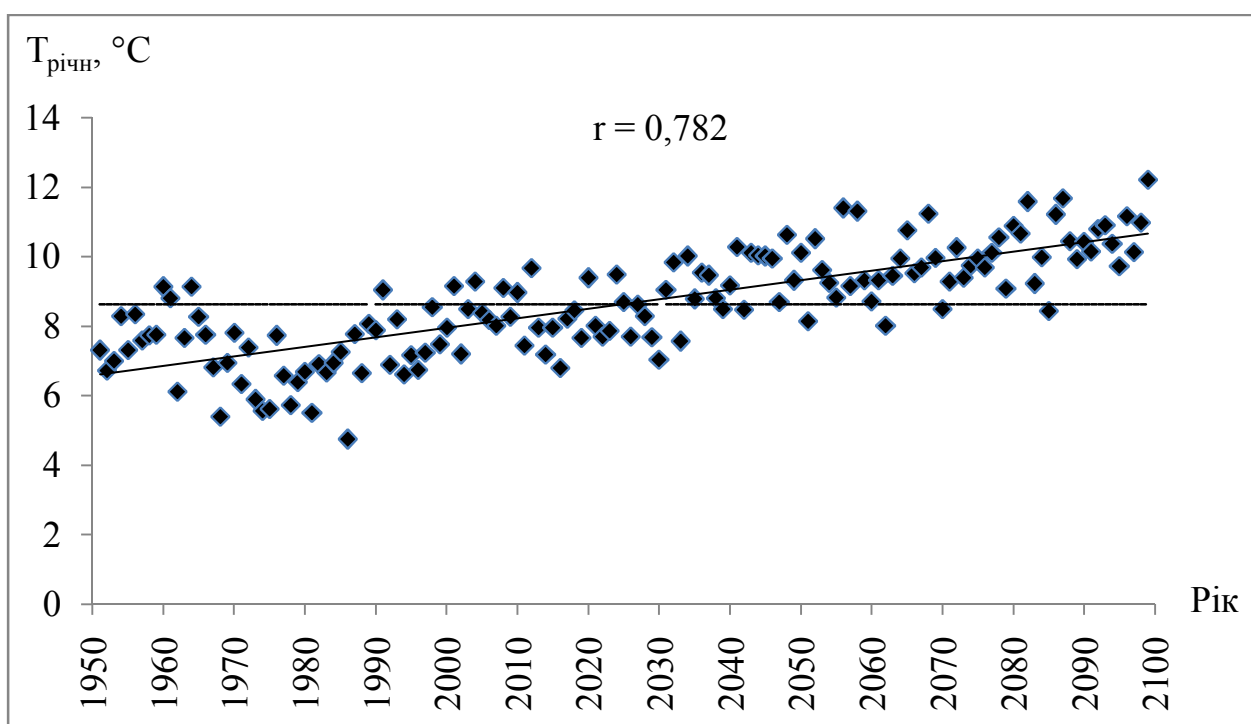


Рис. І.16 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М1), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм А1В (М1), м. Суми**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	749	-	743	-	1.01	156	-
1990-2020	739	-1.3	802	7.9	0.92	129	-17.3
2021-2050	783	4.5	852	14.7	0.92	136	-12.8
2051-2080	782	4.4	897	20.7	0.87	122	-21.8
2081-2100	756	0.9	947	27.5	0.80	97	-37.8

Таблиця І.2

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм А1В (М1), м. Полтава**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	713	-	810	-	0,88	113	-
1990-2020	694	-2,7	878	8,4	0,79	87	-23,0
2021-2050	738	3,5	935	15,4	0,79	92	-18,1
2051-2080	729	2,2	980	20,9	0,74	79	-30,1
2081-2100	696	-2,4	1041	28,5	0,67	58	-48,7

ДОДАТОК К

СЦЕНАРІЙ A1B (M11)

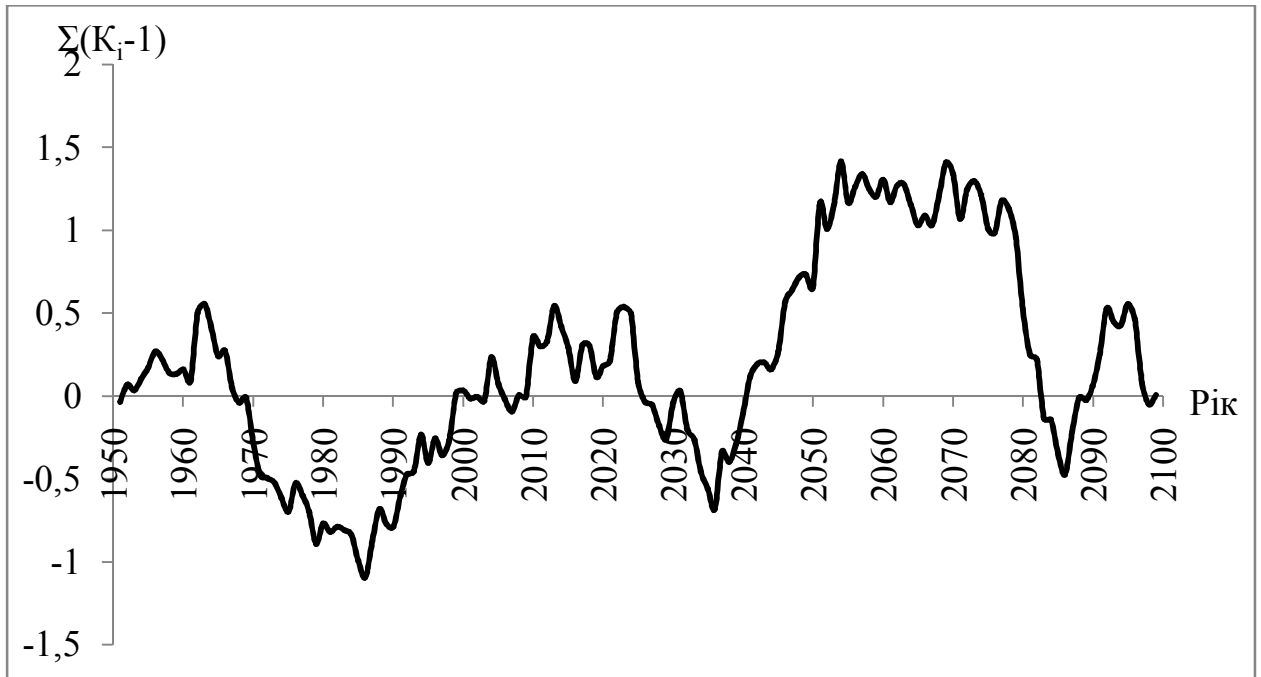


Рис. К.1 – Різницева інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм A1B (M11), м. Суми, 1951-2100 рр.

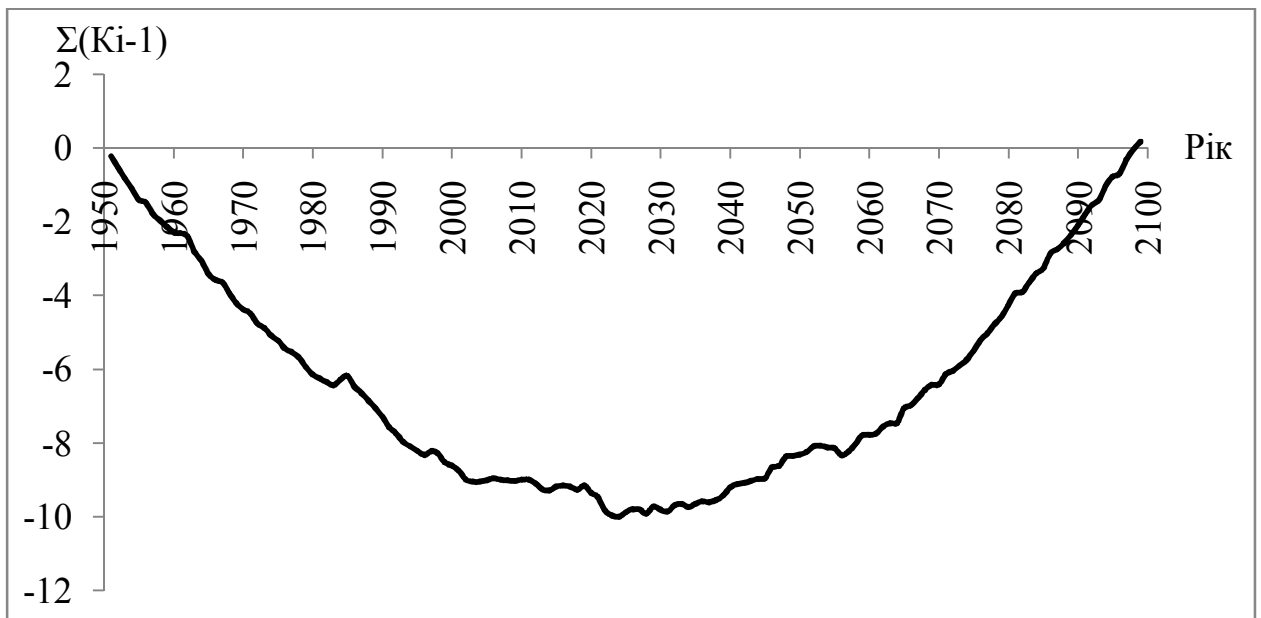


Рис. К.2 – Різницева інтегральна крива середніх річних температур повітря за сценарієм A1B(M11), м. Суми, 1951-2100рр.

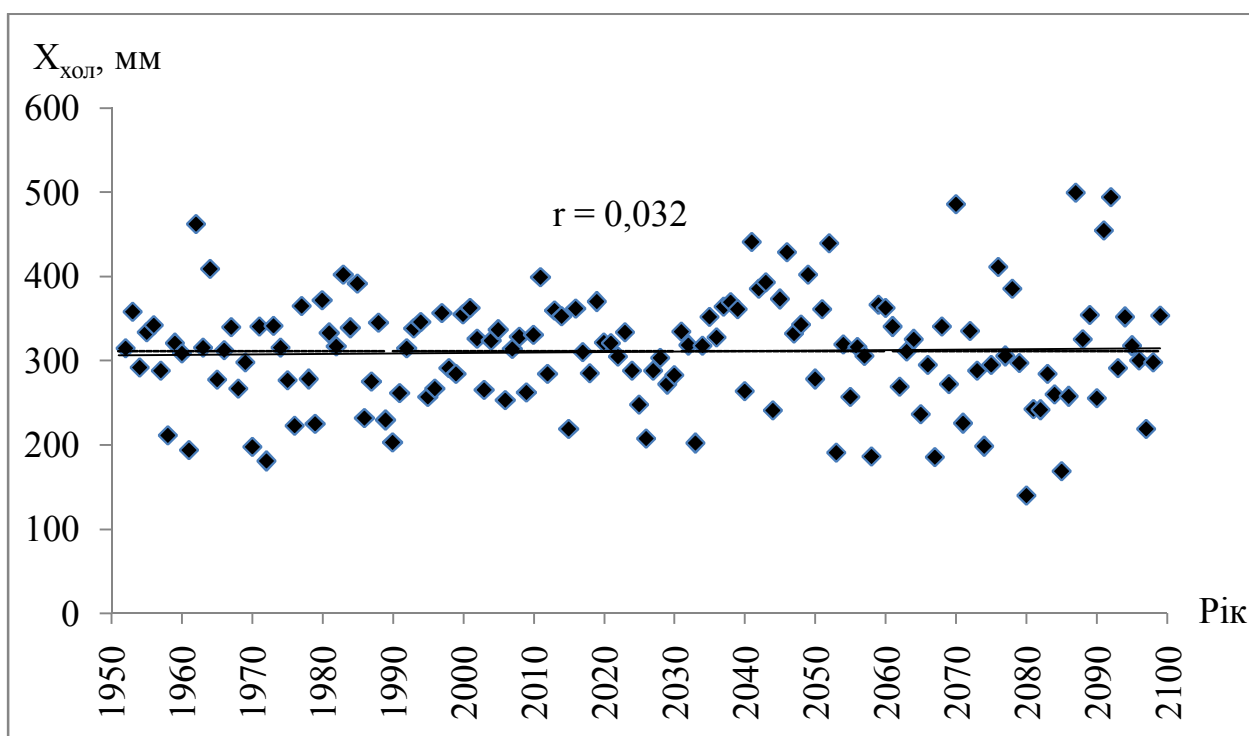


Рис. К.3 - Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А1В (М11), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

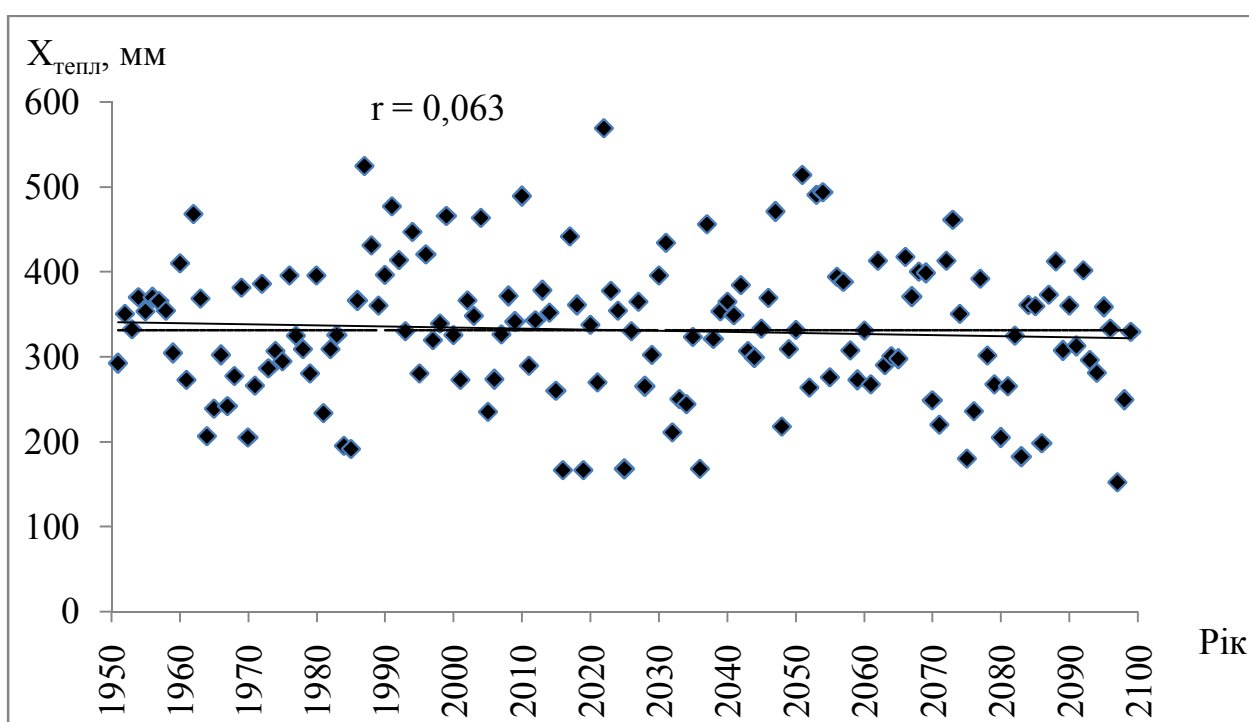


Рис. К.4 - Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В (М11), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

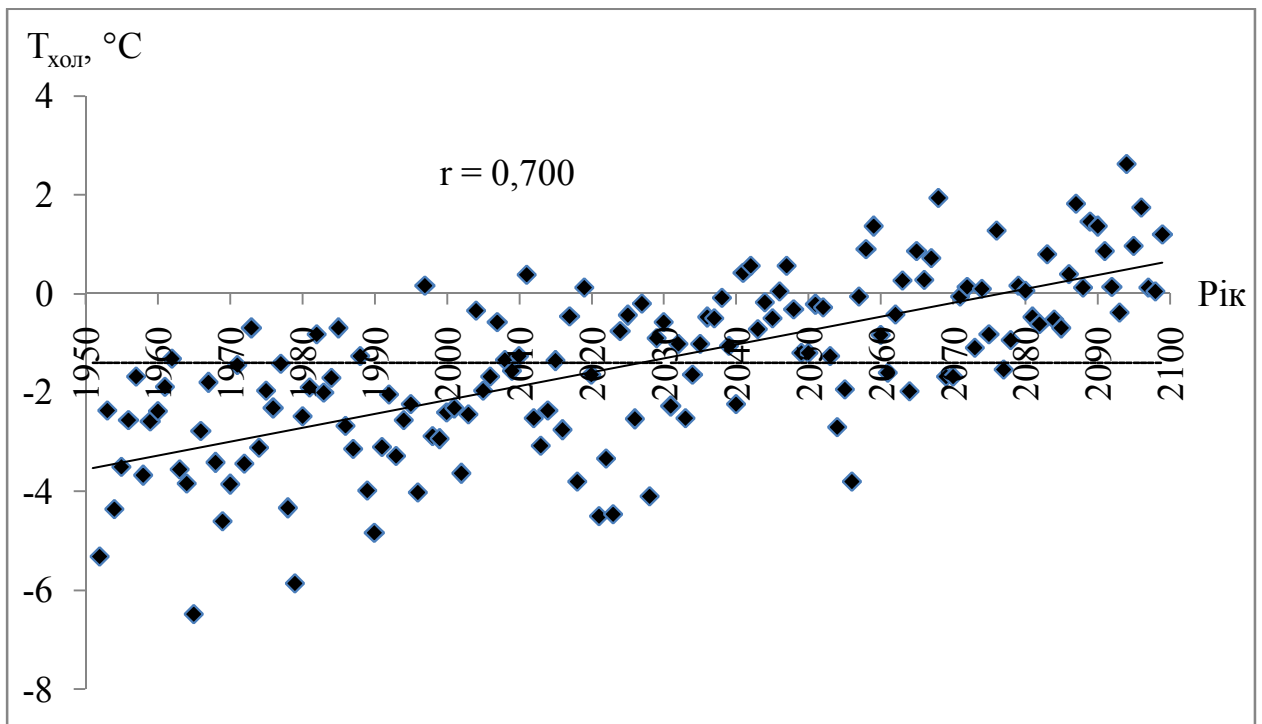


Рис. К.5 – Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм A1B (M11), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

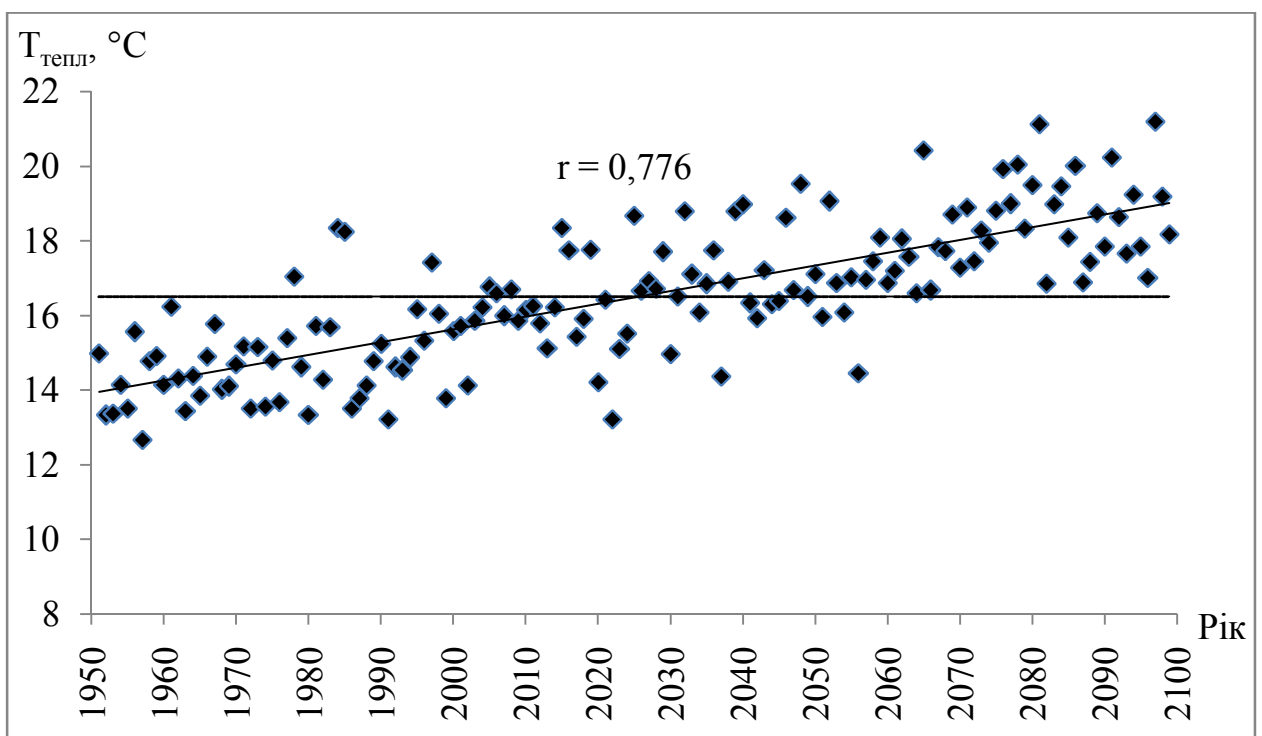


Рис. К.6 – Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-X міс.) за сценарієм A1B (M11), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

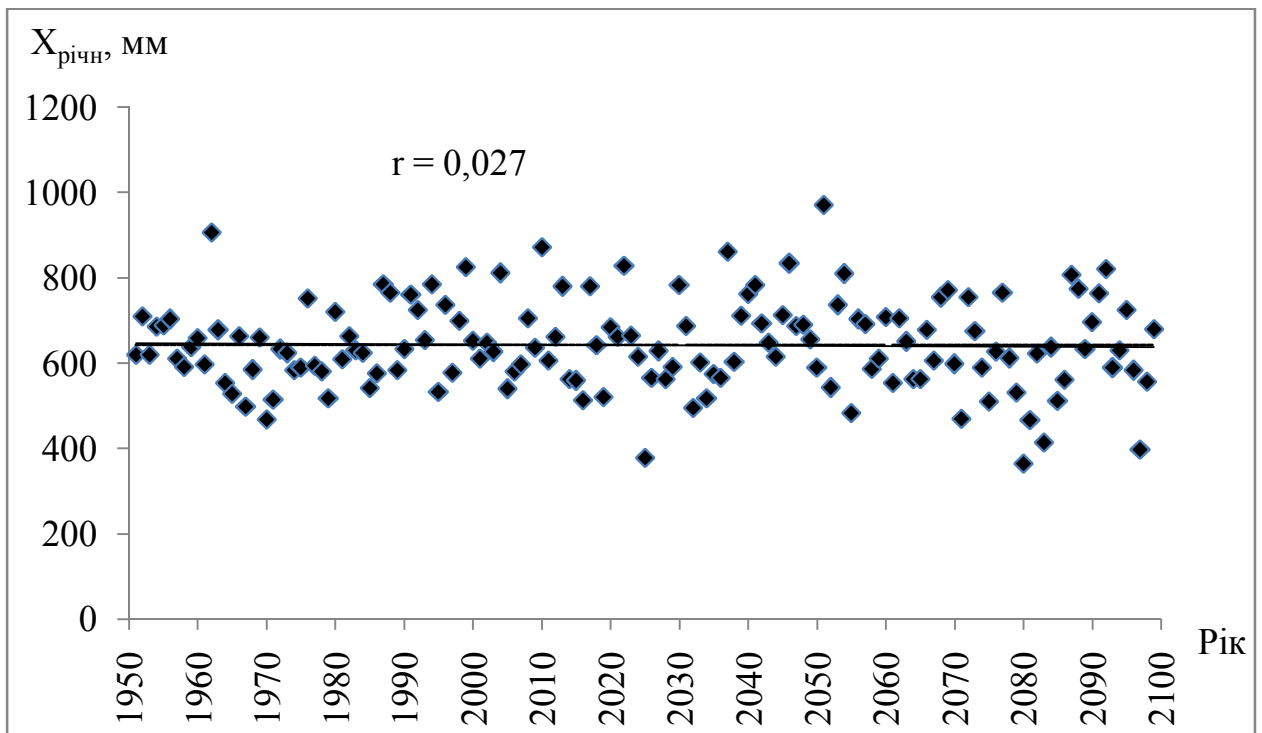


Рис. К.7 - Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М11), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

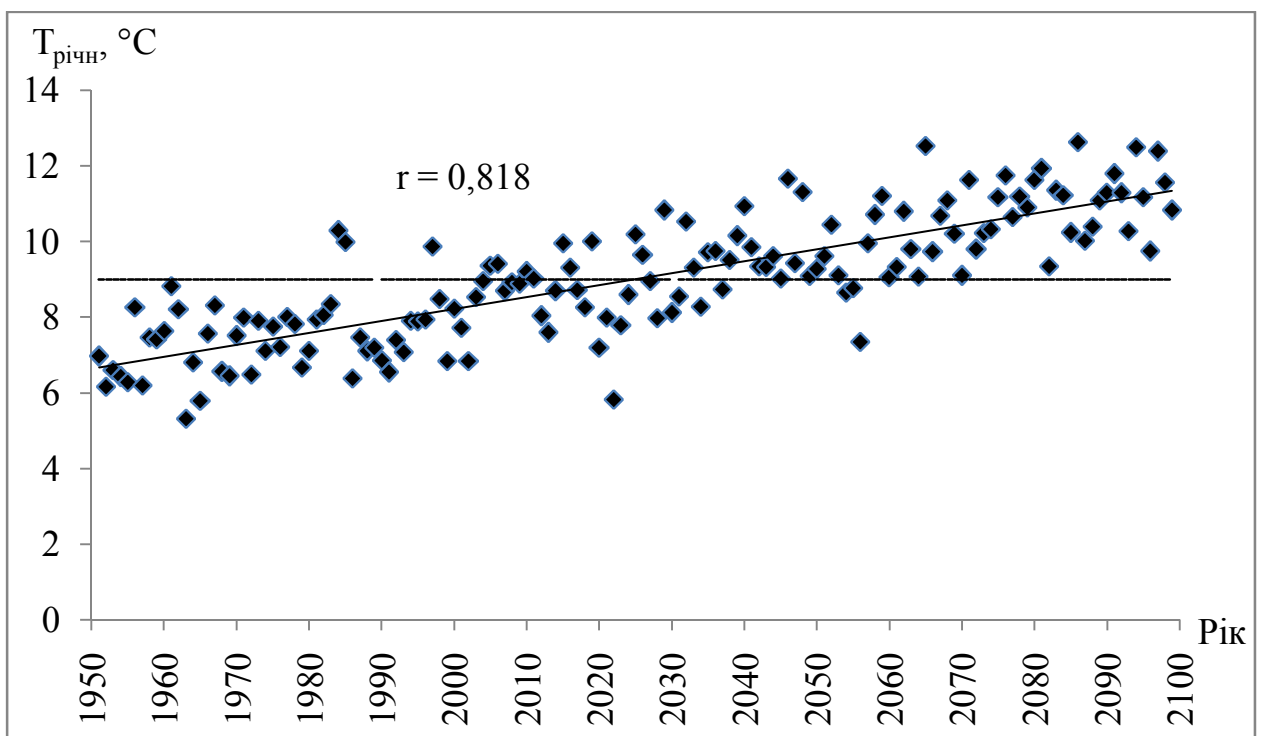


Рис. К.8 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М11), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

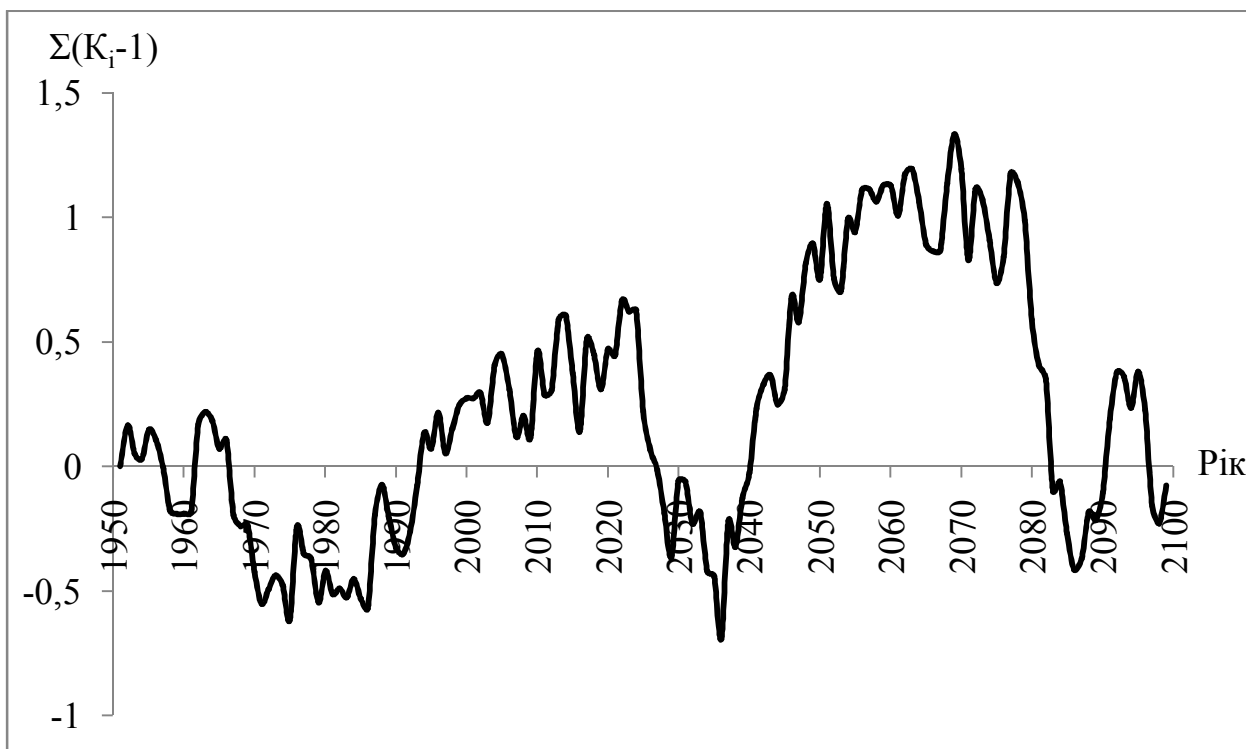


Рис. К.9 – Різницева інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М11), м. Полтава, 1951-2100 рр.

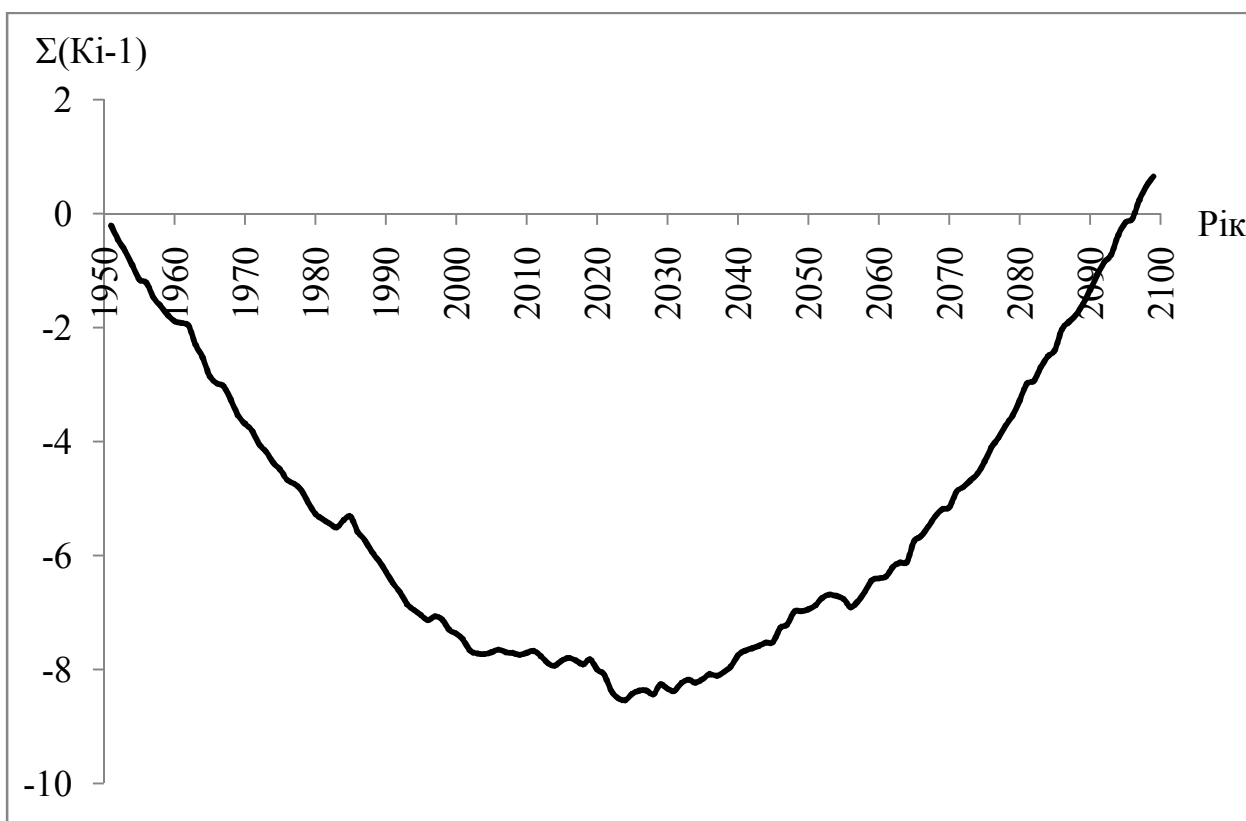


Рис. К.10 – Різницева інтегральна крива середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М11), м. Полтава, 1951-2100рр.

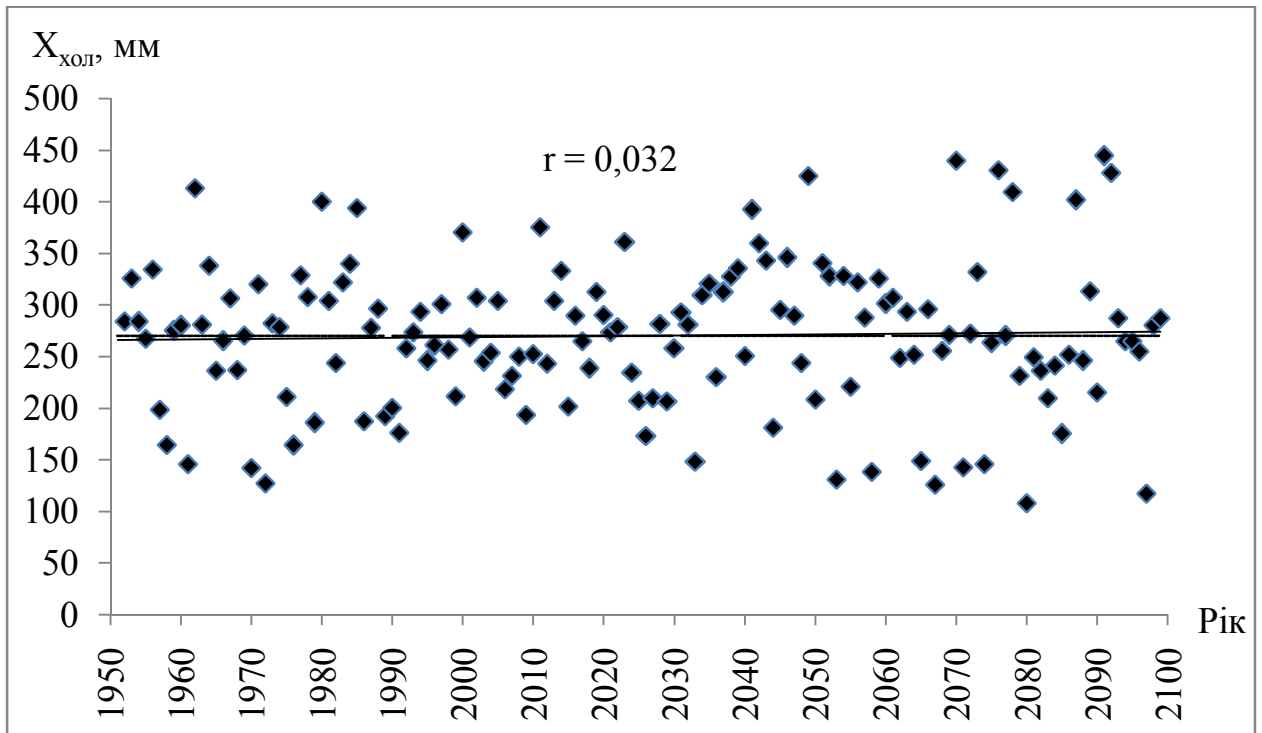


Рис. К.11 - Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А1В (М11), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

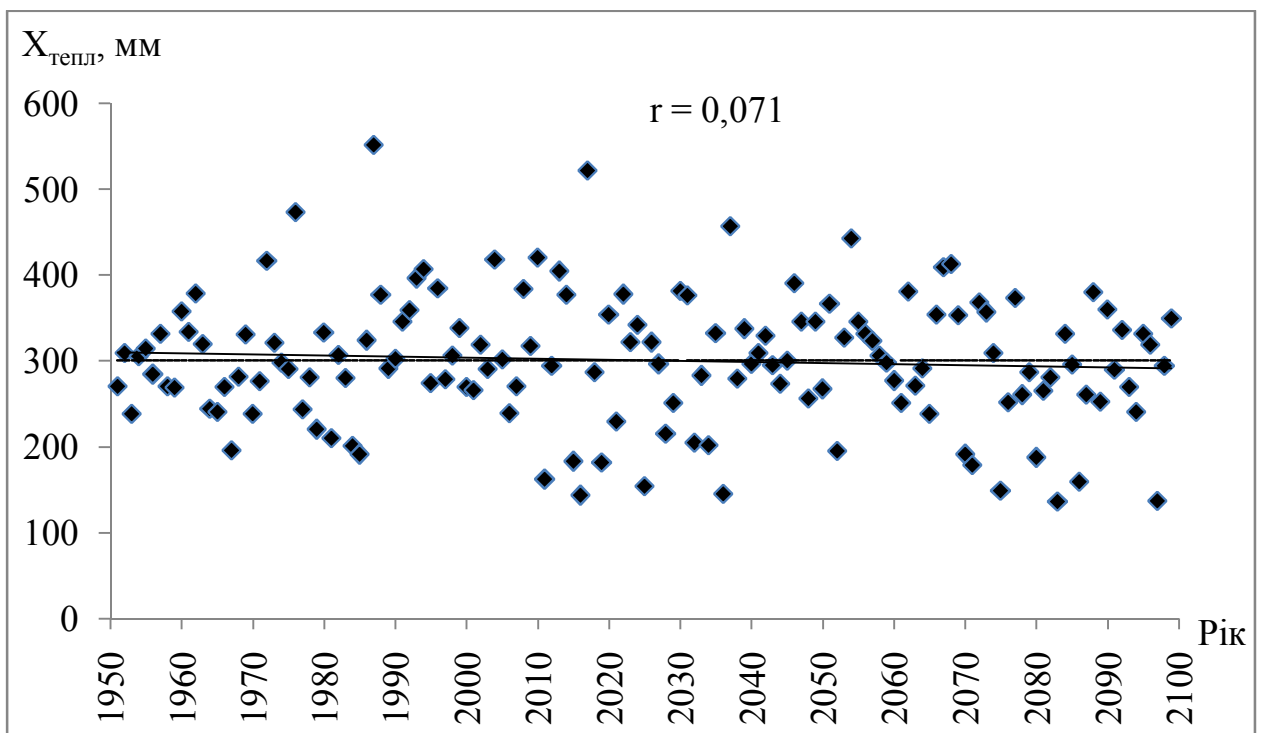


Рис. К.12 - Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В (М1), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

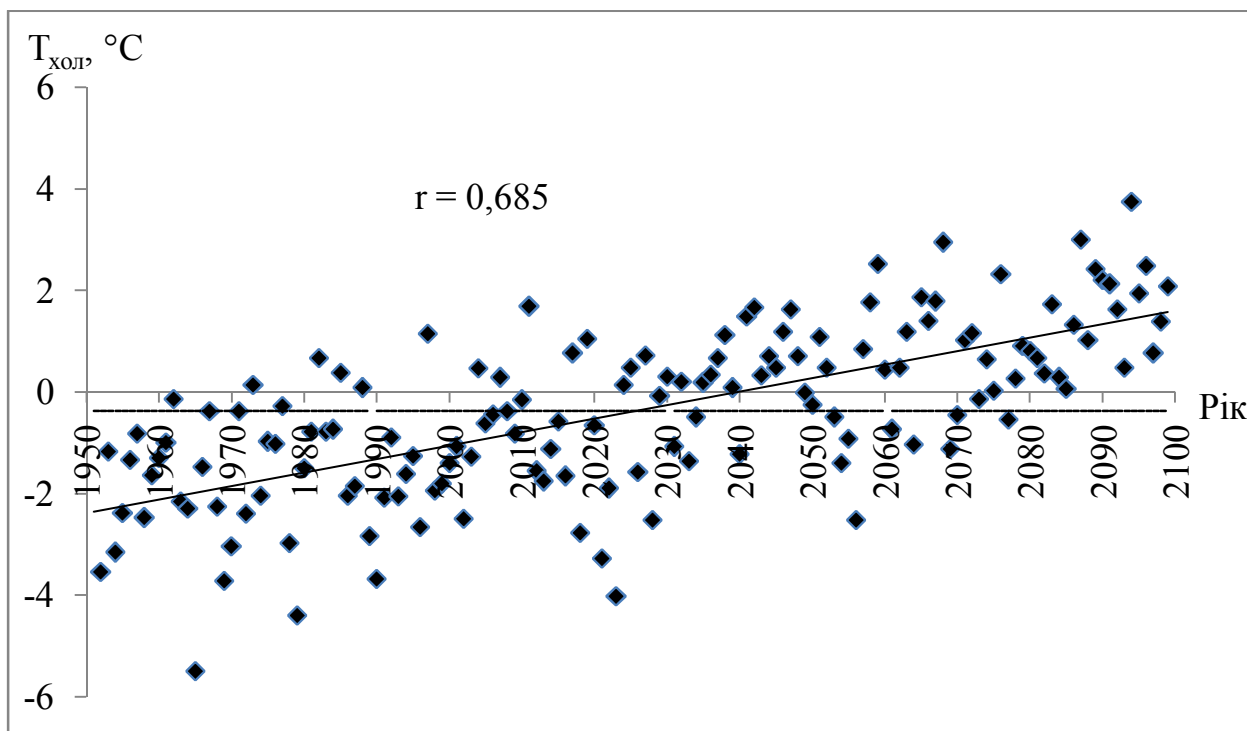


Рис. К.13 – Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А1В (М11), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

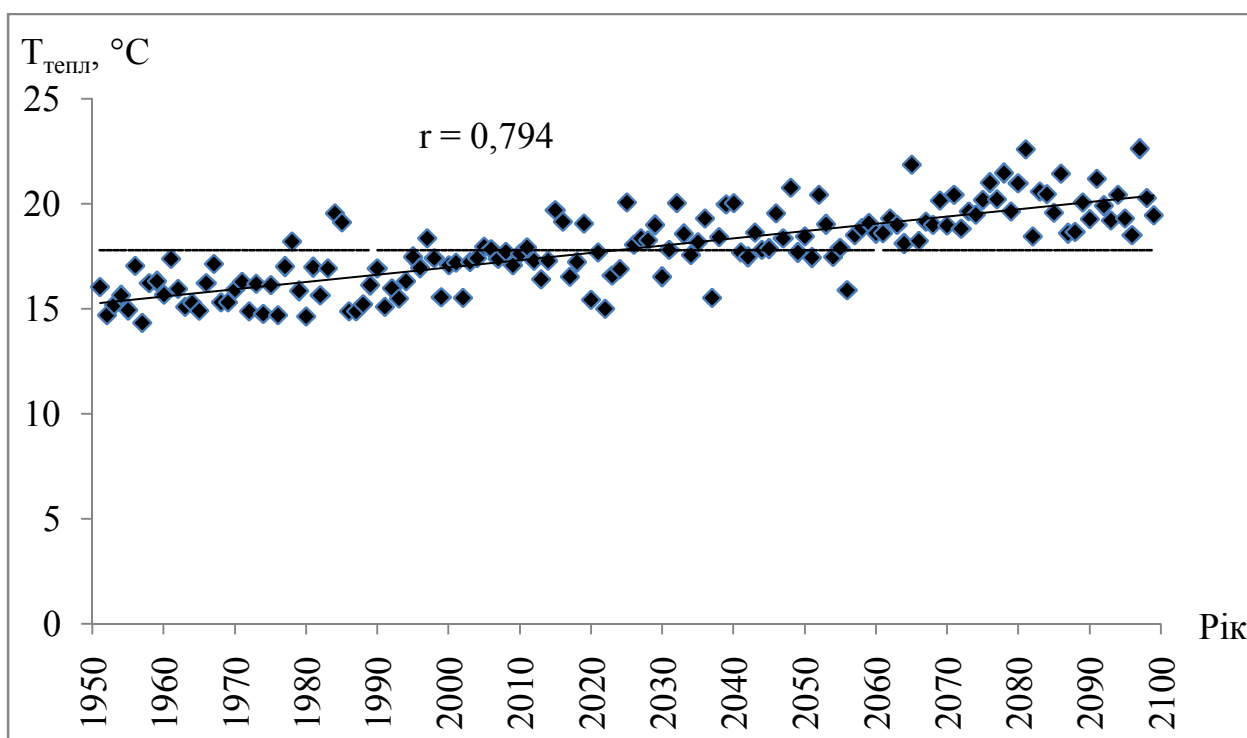


Рис. К.14 – Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-X міс.) за сценарієм А1В (М11), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

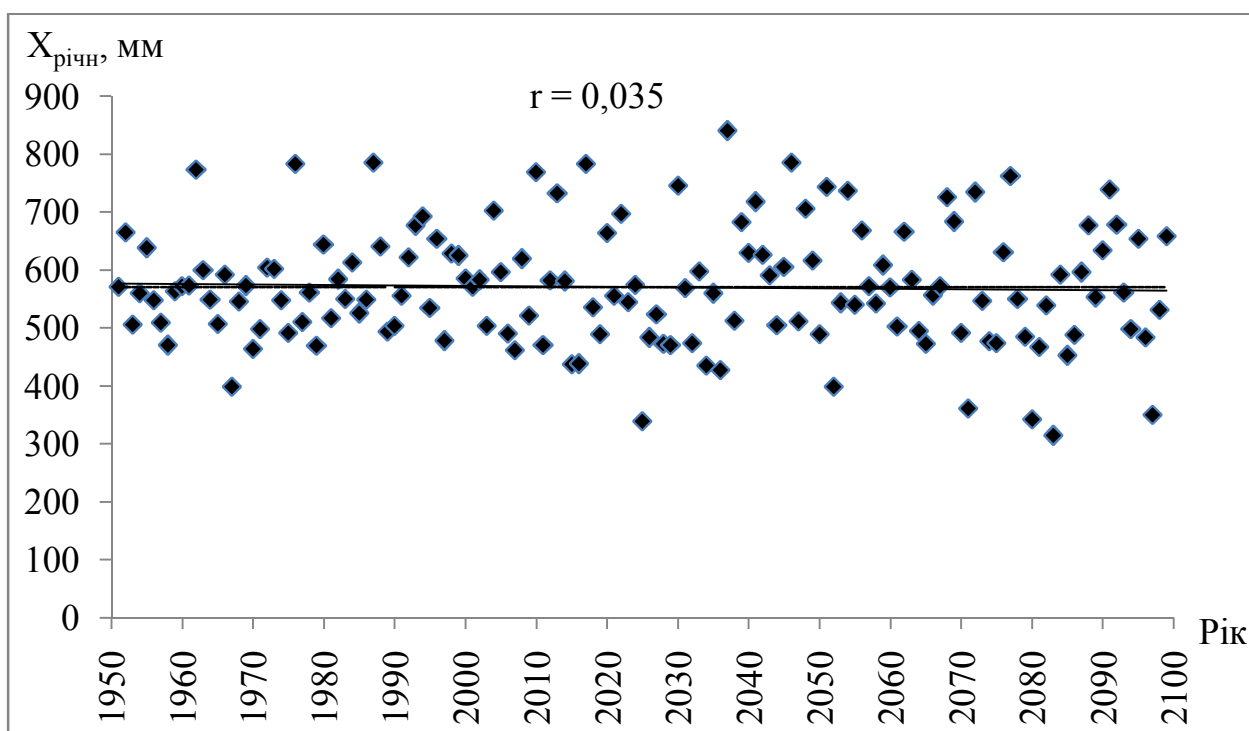


Рис. К.15 - Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М11), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

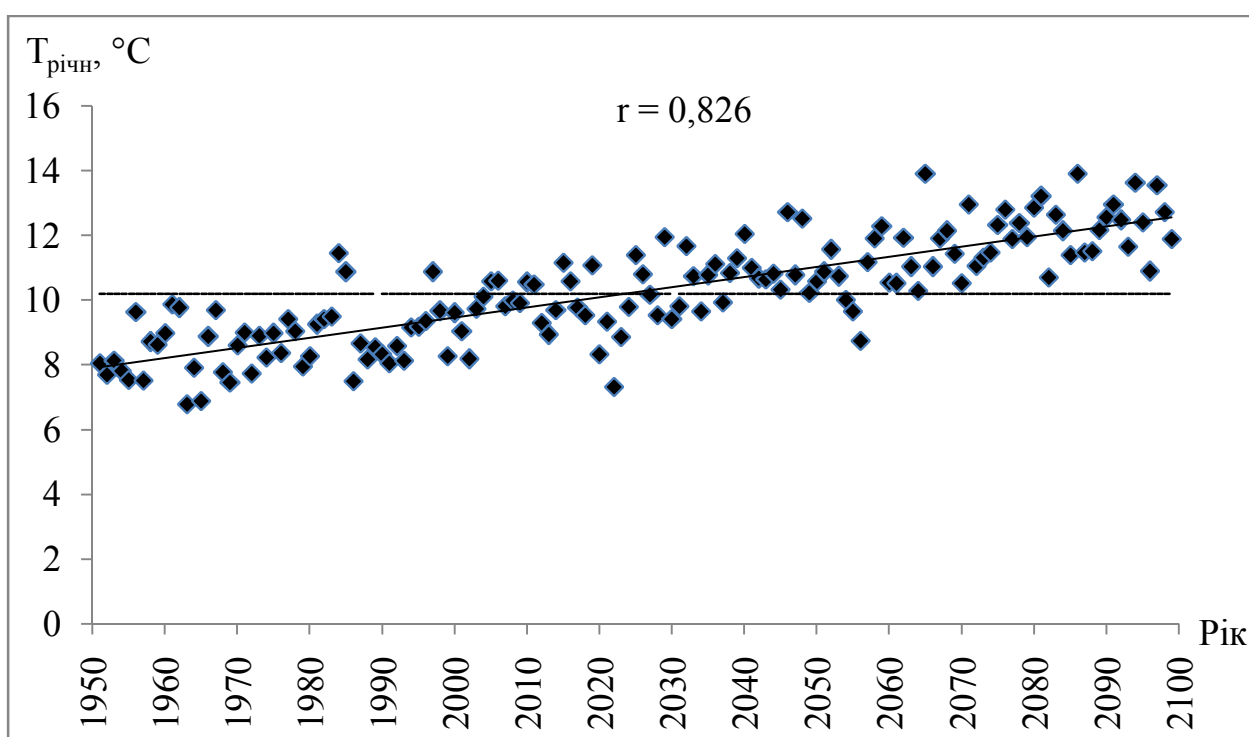


Рис. К.16 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М11), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм A1B (M11), м. Суми**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	629	-	900	-	0.70	58.7	-
1990-2030	654	3.9	980	8.9	0.67	54.2	-7.7
2031-2060	671	6.7	1063	18.1	0.63	48.3	-17.7
2061-2100	621	-1.3	1174	30.4	0.53	27.9	-52.5

Таблиця К.2

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм A1B (M11), м. Полтава**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	568	-	994	-	0.57	31.5	-
1990-2030	573	0.88	1078	8.5	0.53	26.1	-0.17
2001-2060	594	4.6	1158	16.5	0.51	24.5	-22.2
2061-2100	553	-2.6	1271	27.9	0.45	14.5	-53.9

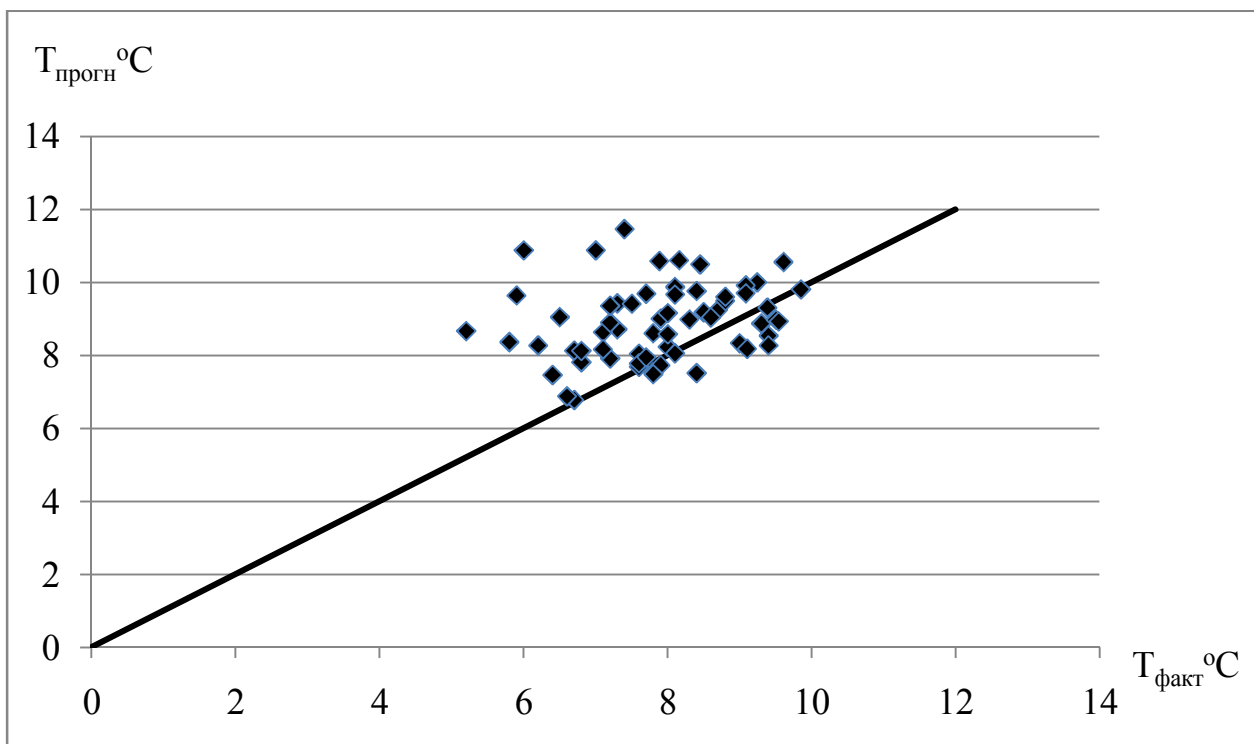


Рис.К.17 – Порівняльний графік фактичних та прогнозних (за сценарієм А1В (М11)) середньорічних значень температури повітря за 1951 – 2014 роки (м. Полтава)

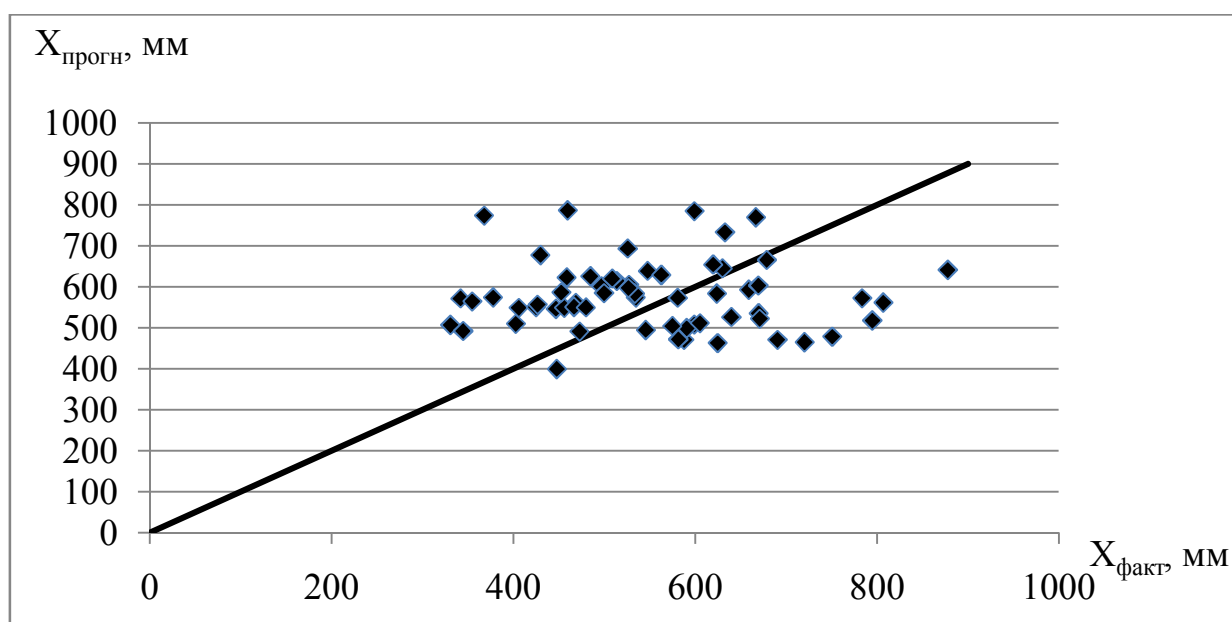


Рис. К.18 - Порівняльний графік фактичних та прогнозних (за сценарієм А1В (М11)) середньорічних значень опадів за 1951 – 2014 роки (м. Полтава)

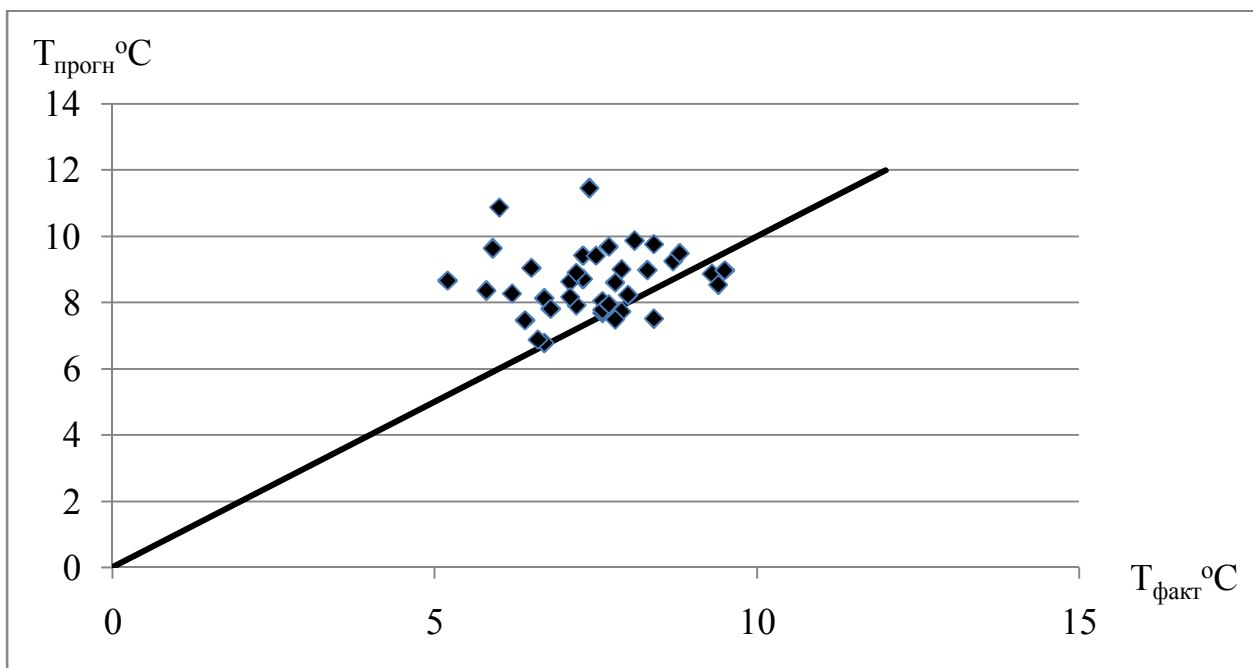


Рис.К.19 – Порівняльний графік фактичних та прогнозних (за сценарієм А1В (М11)) середньорічних значень температури повітря а 1951 – 1989 роки (м. Полтава)

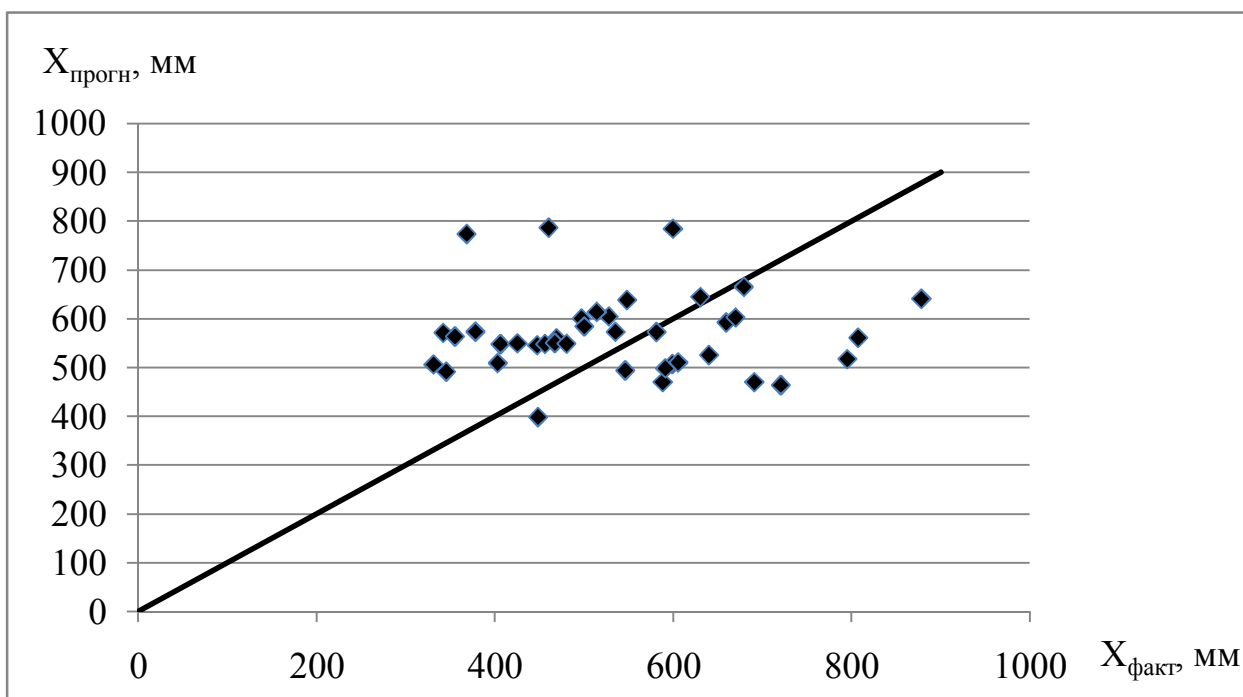


Рис. К.20 - Порівняльний графік фактичних та прогнозних (за сценарієм А1В (М11)) середньорічних значень опадів за 1951 – 1989 роки (м. Полтава)

ДОДАТОК Л

СЦЕНАРІЙ A1B (M10)

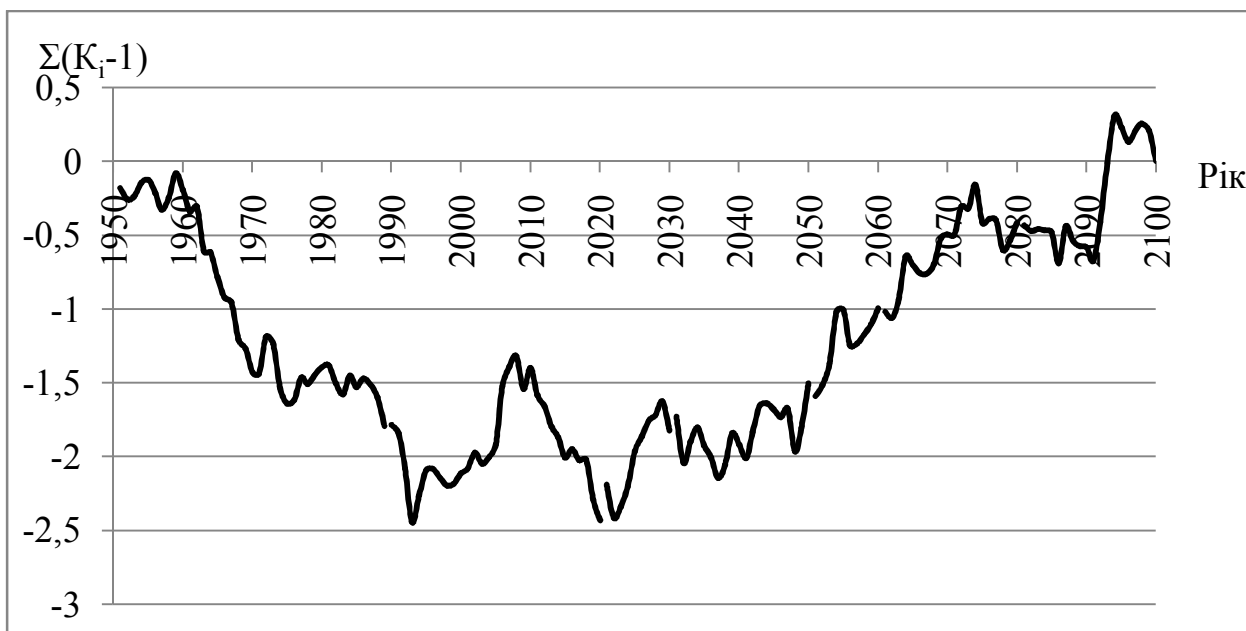


Рис. Л.1 – Різницева інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм A1B (M10), м. Суми, 1951-2100 pp.

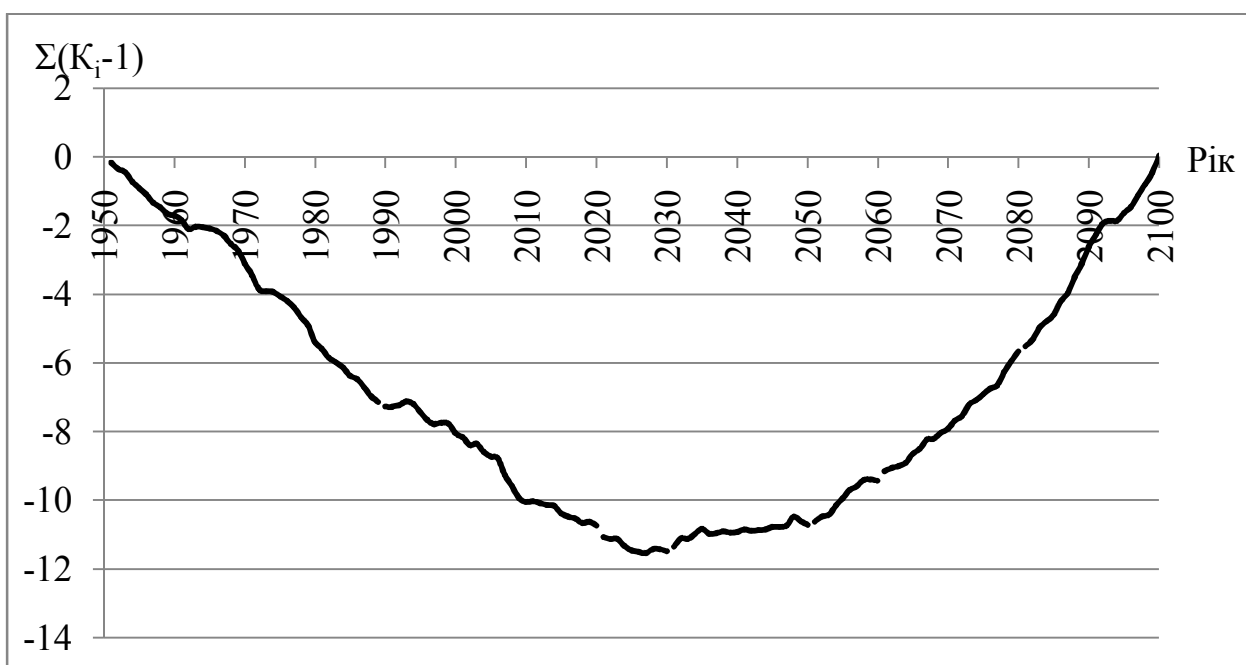


Рис. Л.2 – Різницева інтегральна крива середніх річних температур повітря за сценарієм A1B(M10), м. Суми, 1951-2100pp.

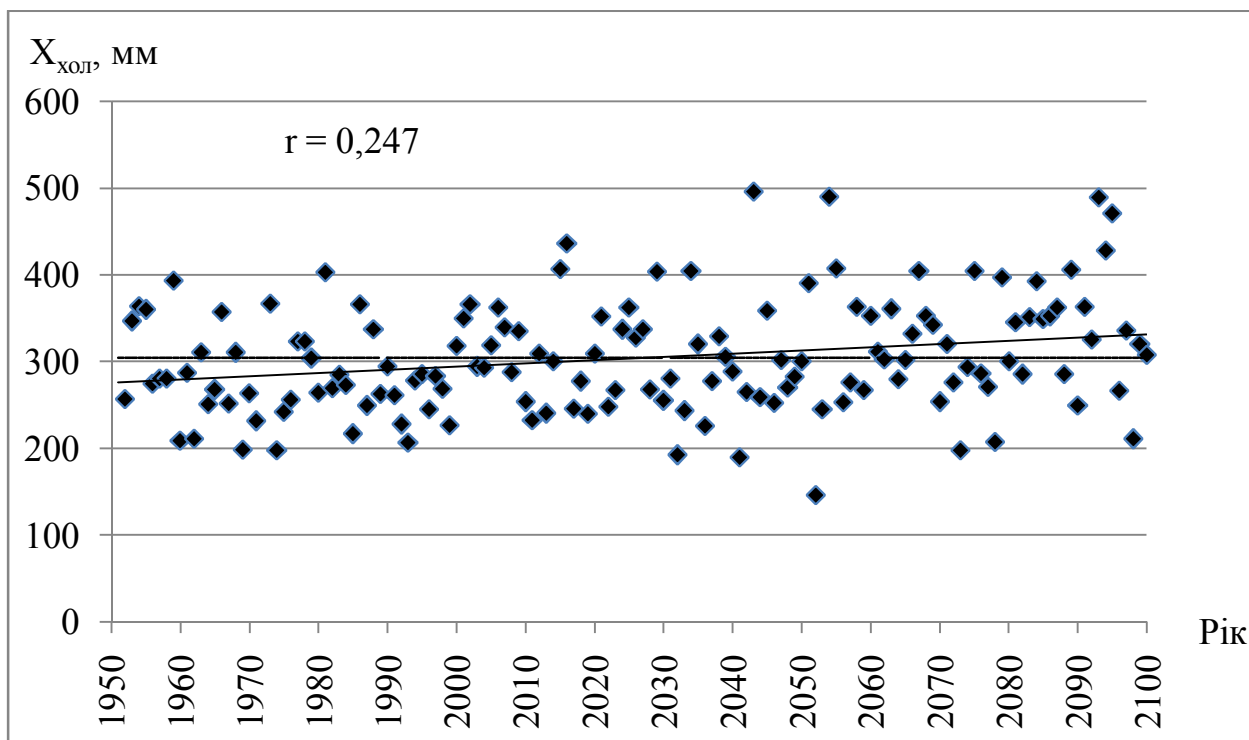


Рис. Л.3 - Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А1В (М10), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

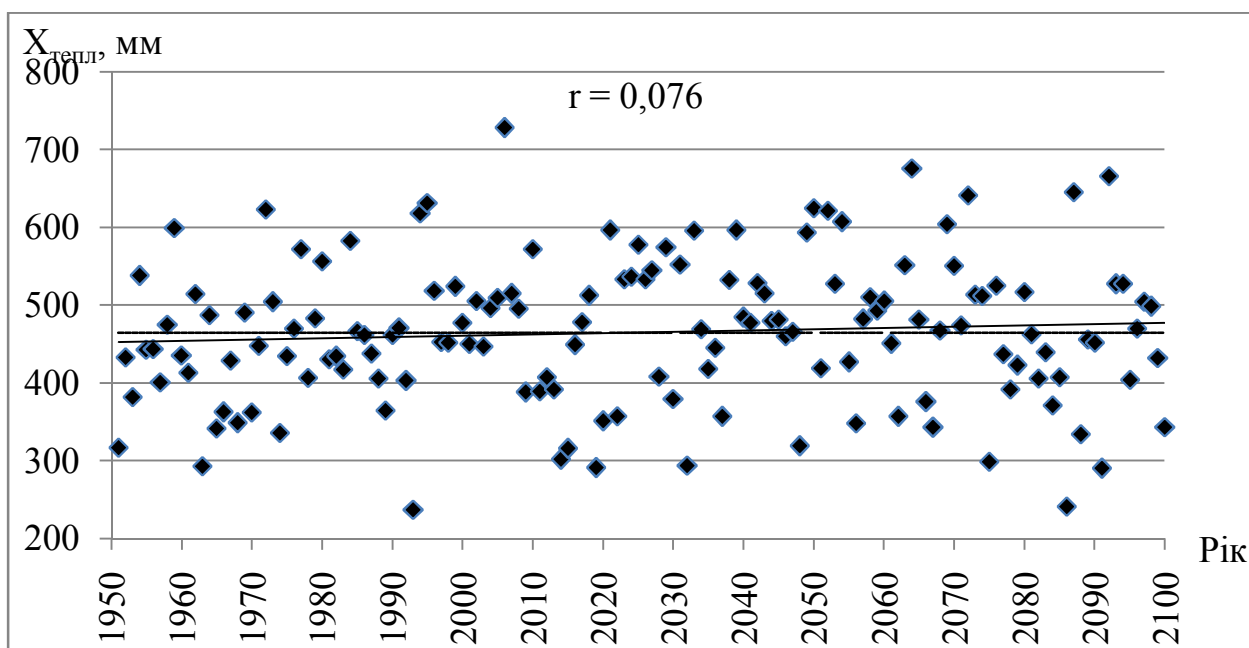


Рис. Л.4 - Хронологічний хід сум опадів теплового (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В (М10), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

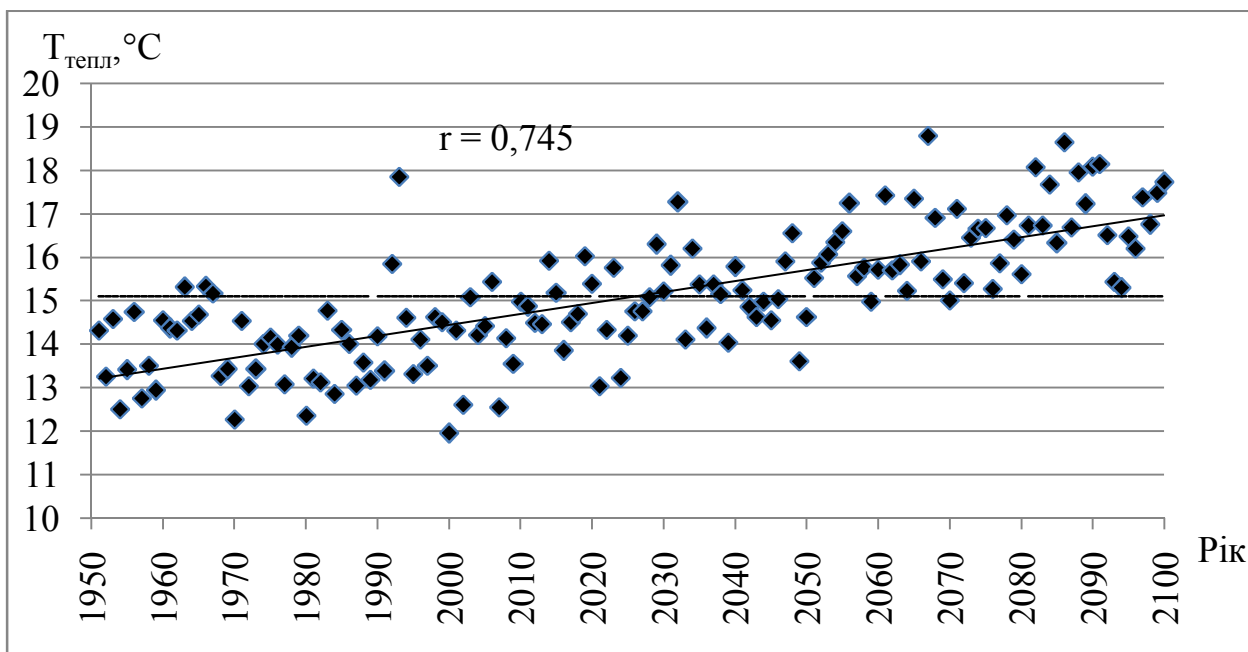


Рис. Л.5 – Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-Хміс.) за сценарієм А1В (М10), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

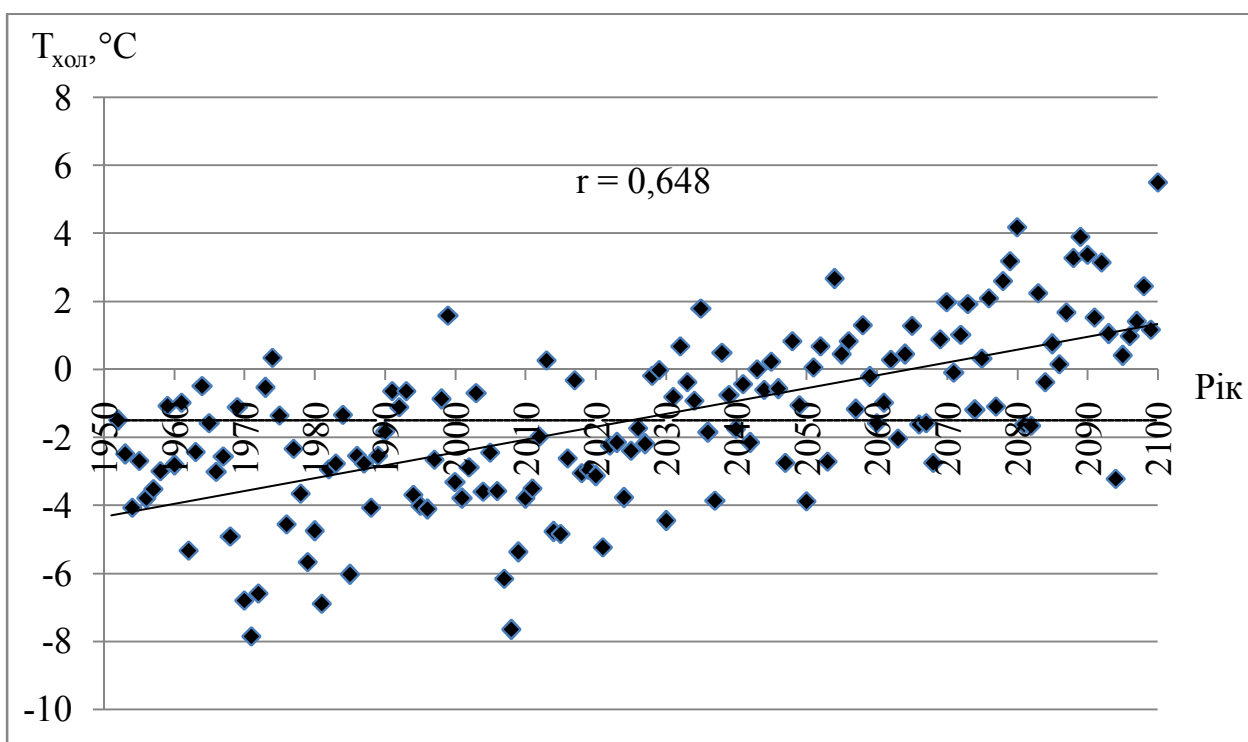


Рис. Л.6 – Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А1В (М10), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

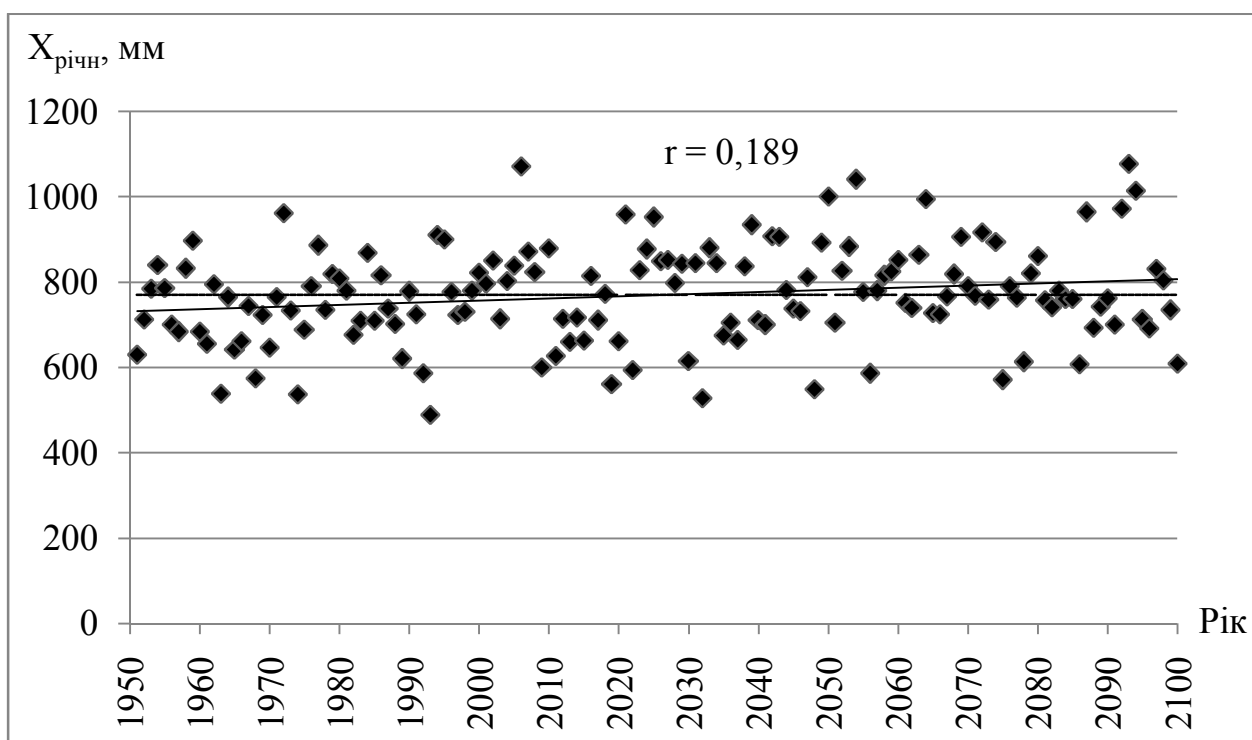


Рис. Л.7 - Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М1), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

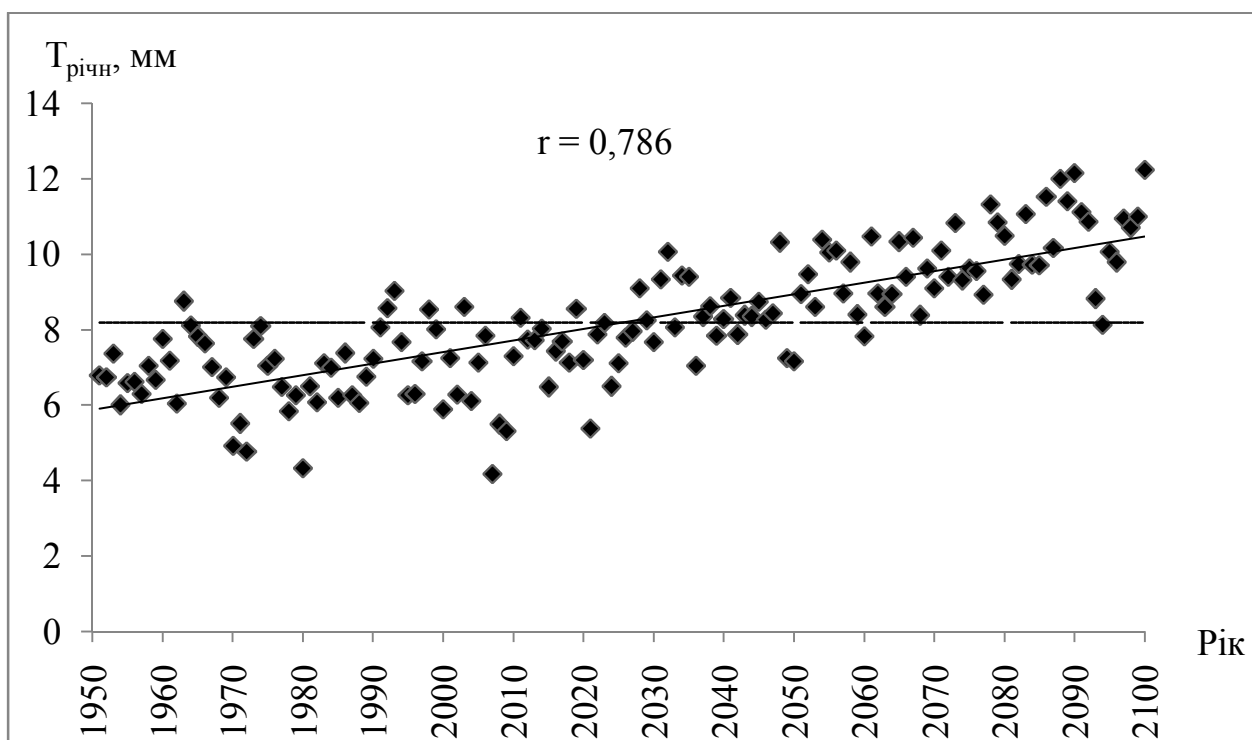


Рис. Л.8 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М10), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

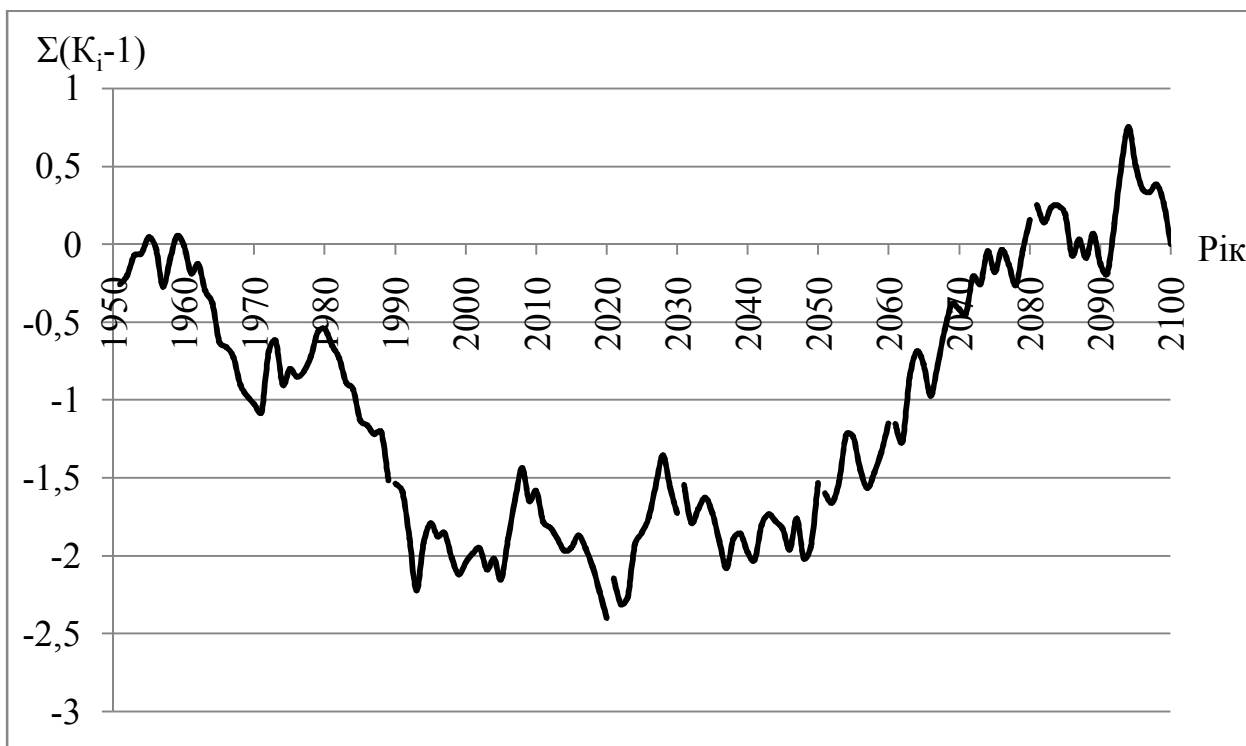


Рис. Л.9 – Різницева інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М10), м. Полтава, 1951-2100 рр.

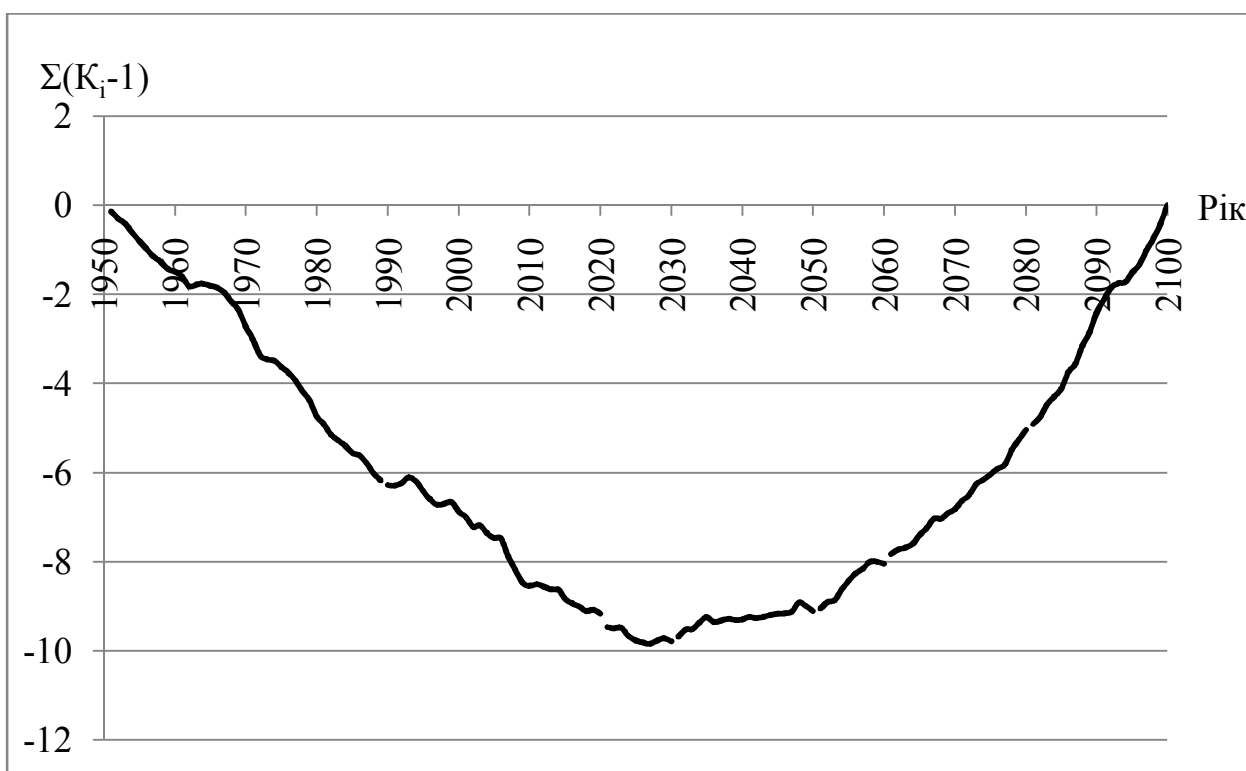


Рис. Л.10 – Різницева інтегральна крива середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М10), м. Полтава, 1951-2100рр.

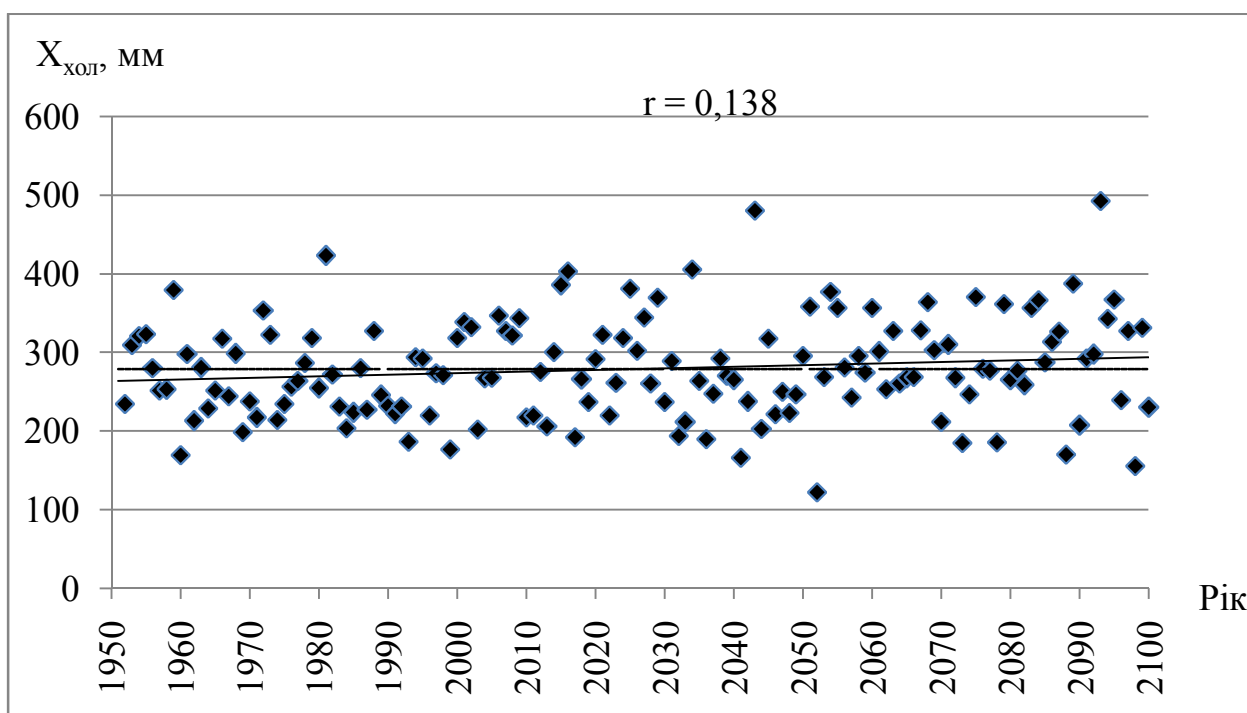


Рис. Л.11 - Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А1В (М10), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

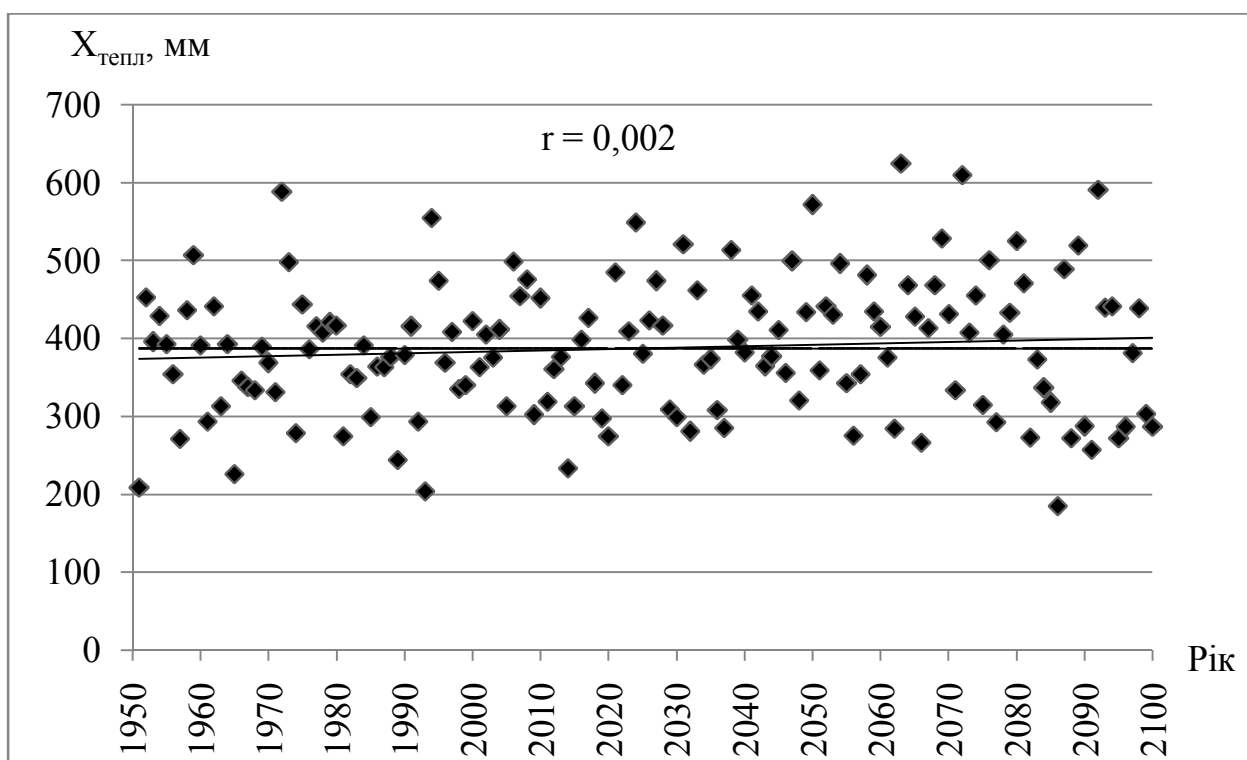


Рис. Л.12 - Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В (М1), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

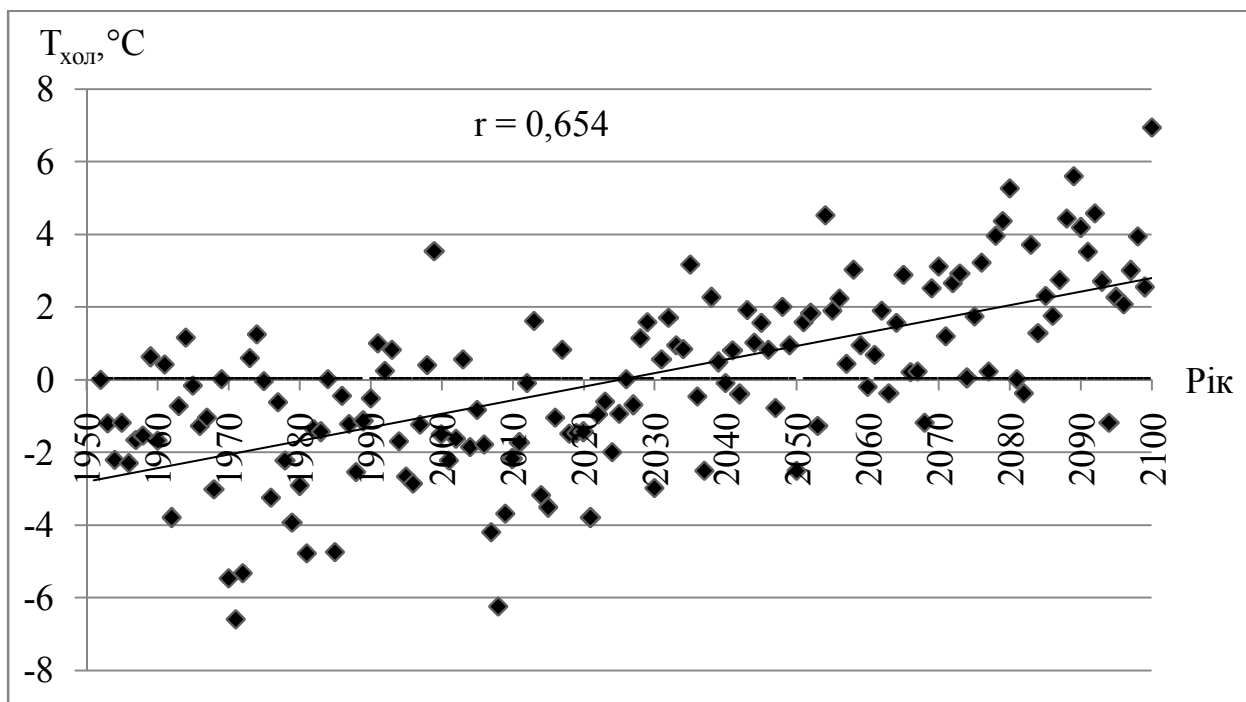


Рис. Л.13 – Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А1В (М10), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

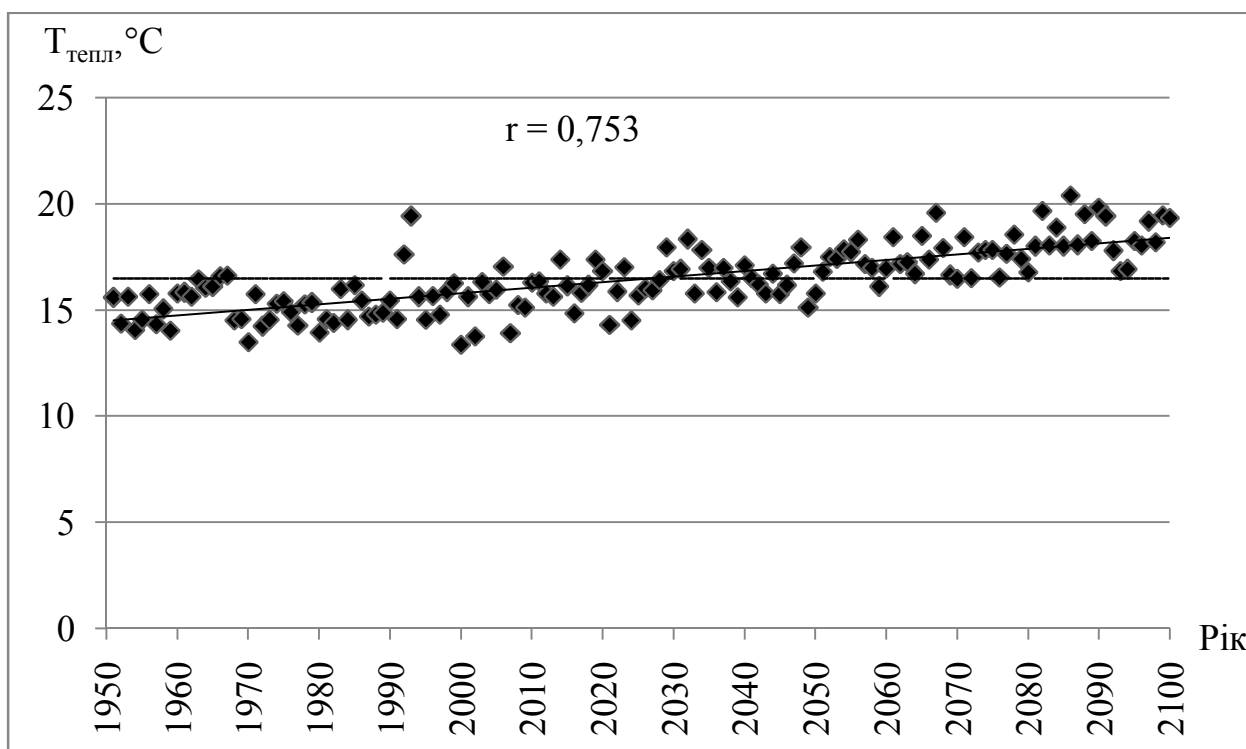


Рис. Л.14 – Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-X міс.) за сценарієм А1В (М10), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

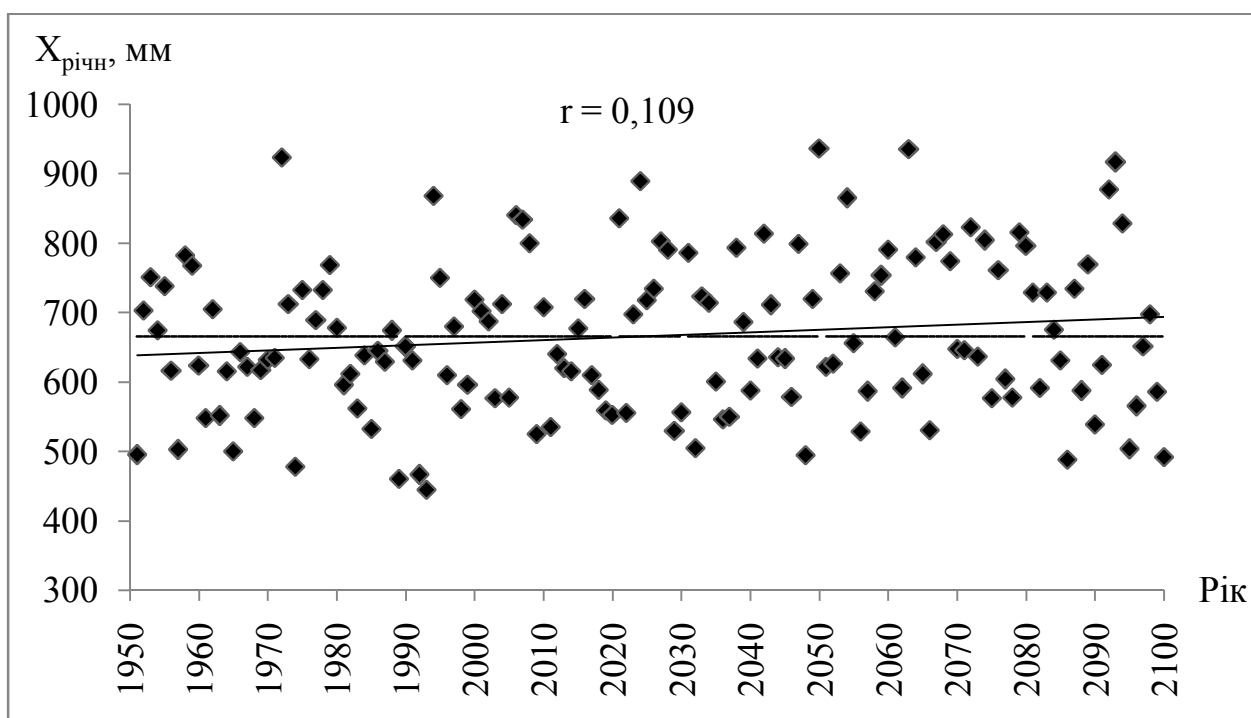


Рис. Л.15 - Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М10), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

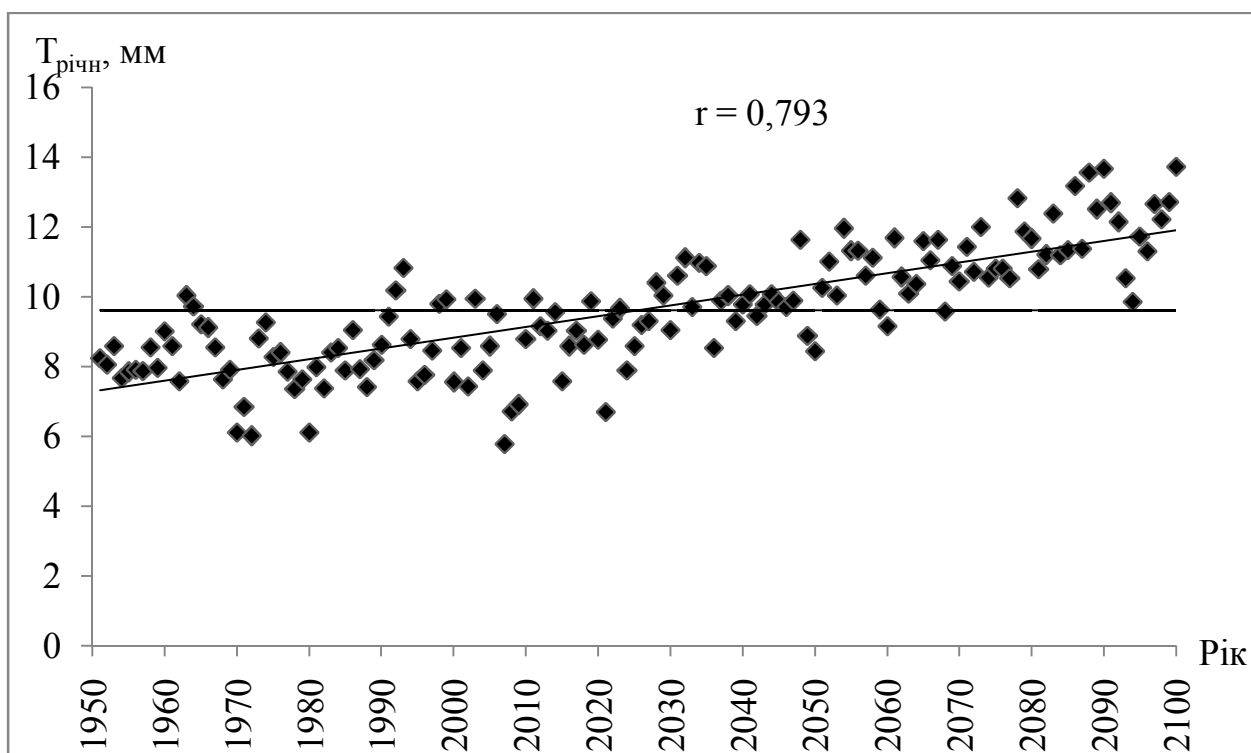


Рис. Л.16 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М10), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм A1B (M10), м. Суми**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	734		780		0.94	134	
1990-2020	754	2.7	816	4.6	0.92	132	-1.5
2021-2050	793	8.0	839	7.6	0.95	147	9.7
2051-2080	798	8.7	925	18.6	0.86	121	-9.7
2081-2100	786	7.1	982	25.9	0.80	101	-24.6

Таблиця Л.2

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм A1B (M10), м. Полтава**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	640		867		0.74	68	
1990-2020	647	1.1	906	4.5	0.71	64	-5.9
2021-2050	685	7.0	933	7.6	0.73	72	5.9
2051-2080	704	10.0	1013	16.8	0.69	65	-4.4
2081-2100	661	3.3	1088	25.5	0.61	43	-36.8

ДОДАТОК М

СЦЕНАРІЙ А1В (М5)

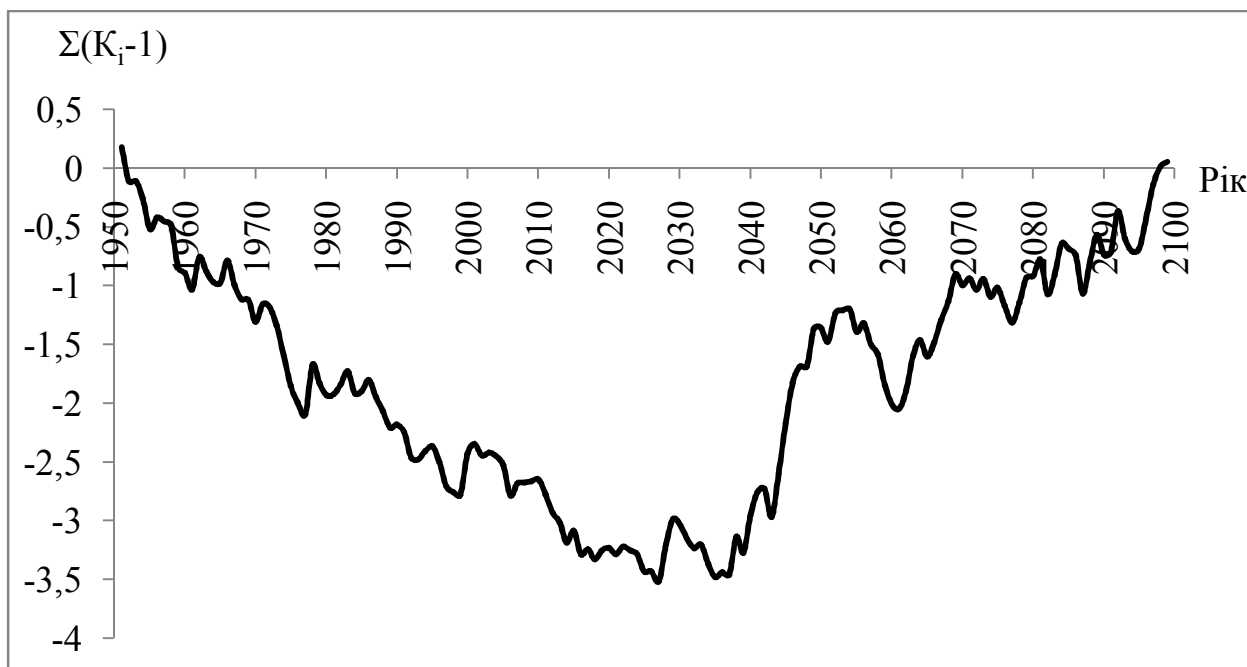


Рис. М.1 – Різницева інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М5), м. Суми, 1951-2100 рр.

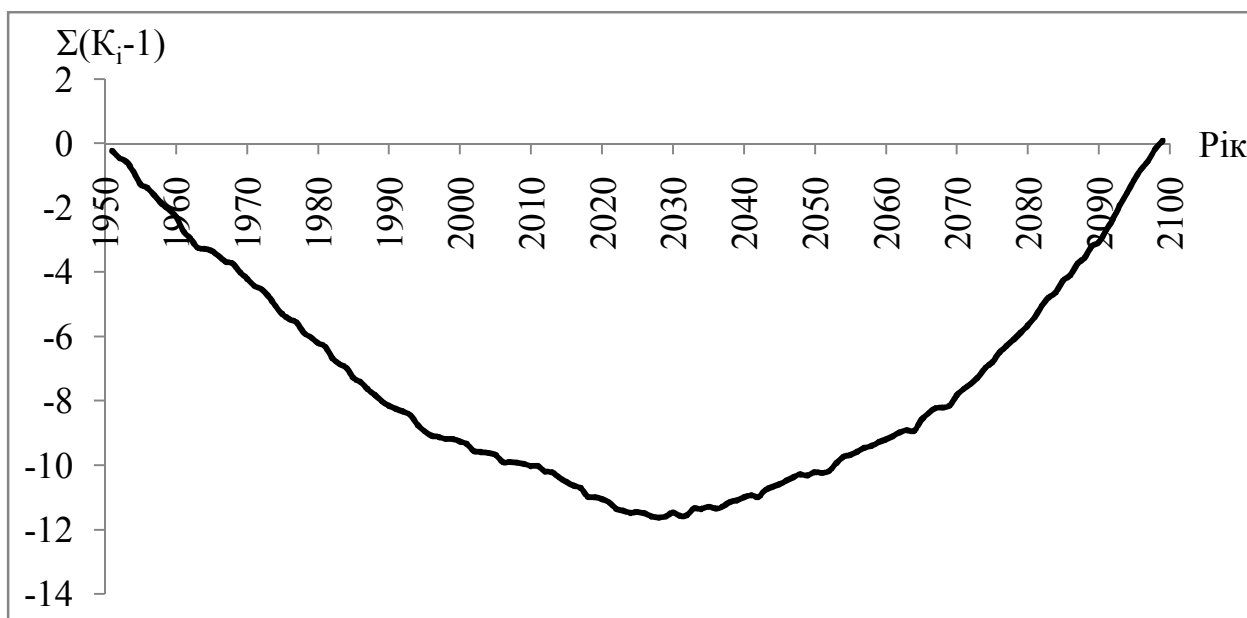


Рис. М.2 – Різницева інтегральна крива середніх річних температур повітря за сценарієм А1В(М5), м. Суми, 1951-2100рр.

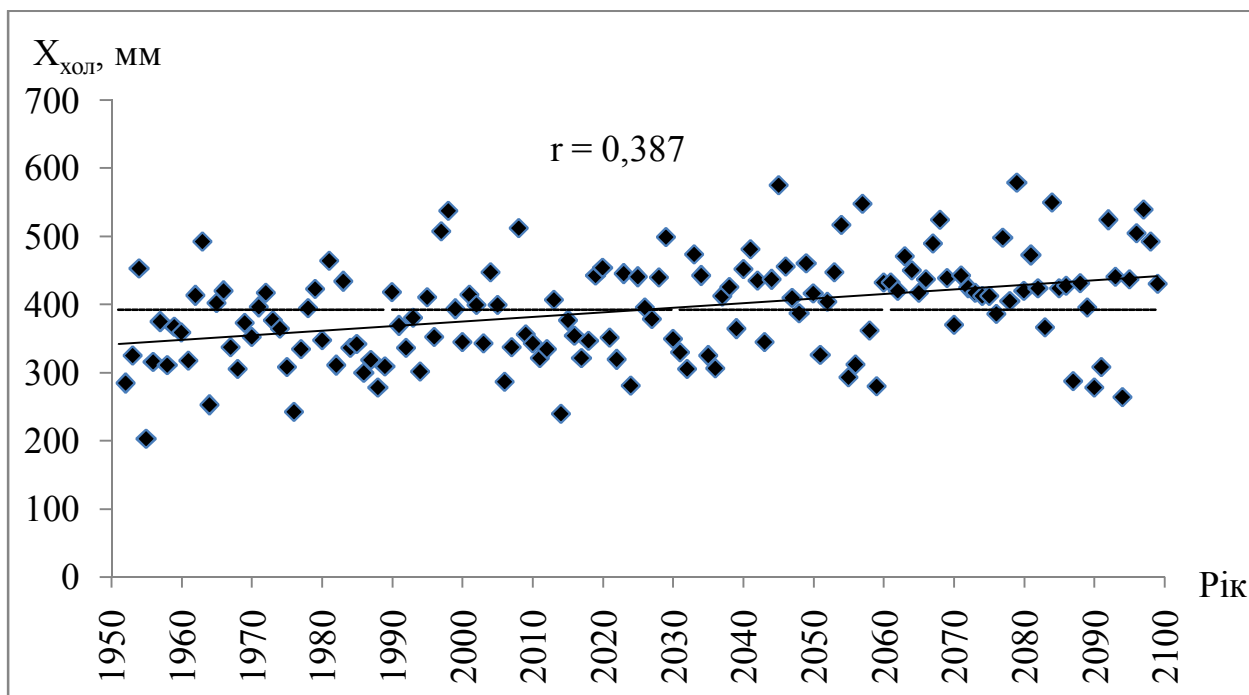


Рис. М.3 - Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А1В (М5), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

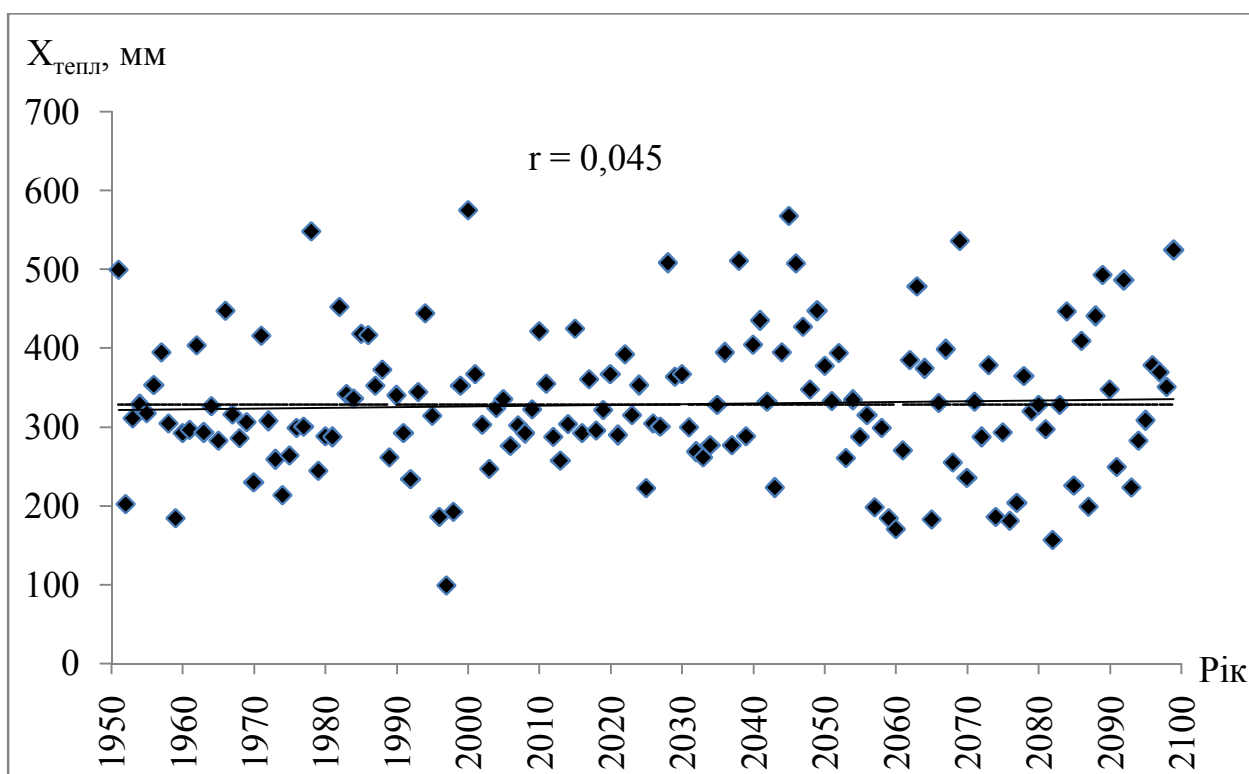


Рис. М.4 - Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В (М5), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

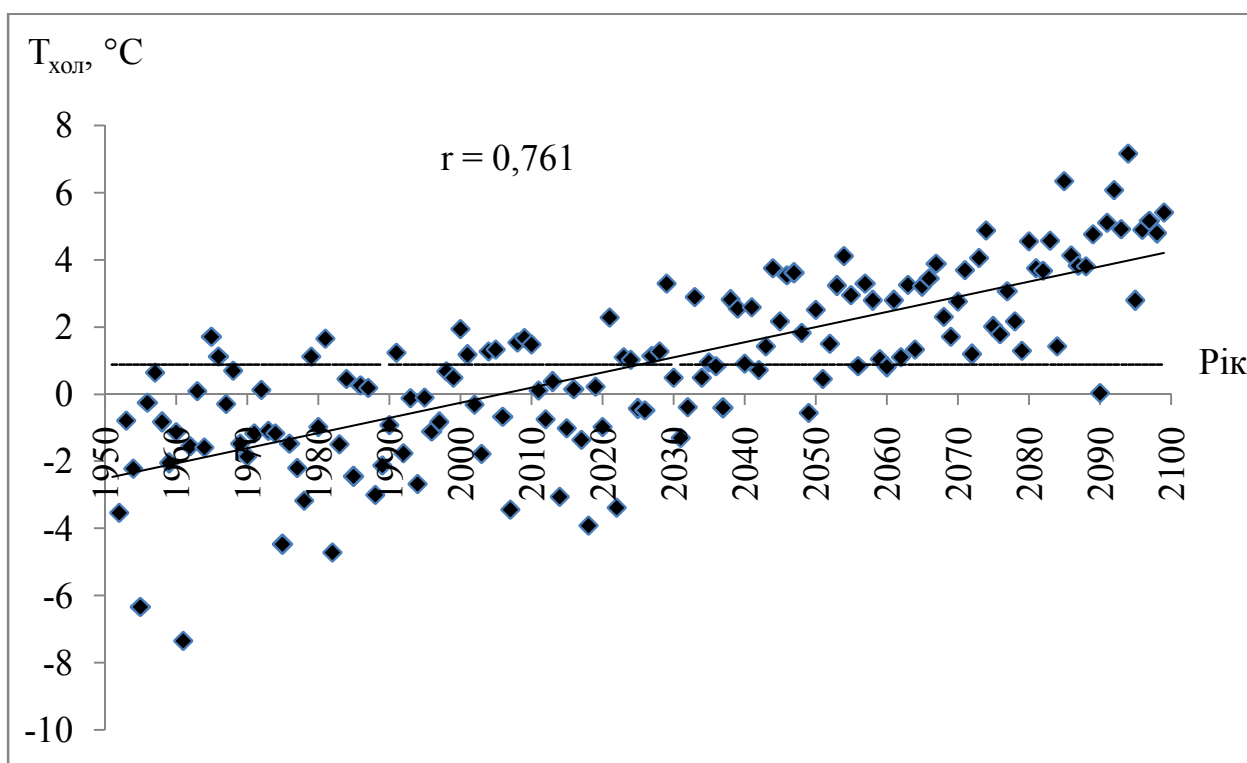


Рис. М.5 – Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А1В (М5), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

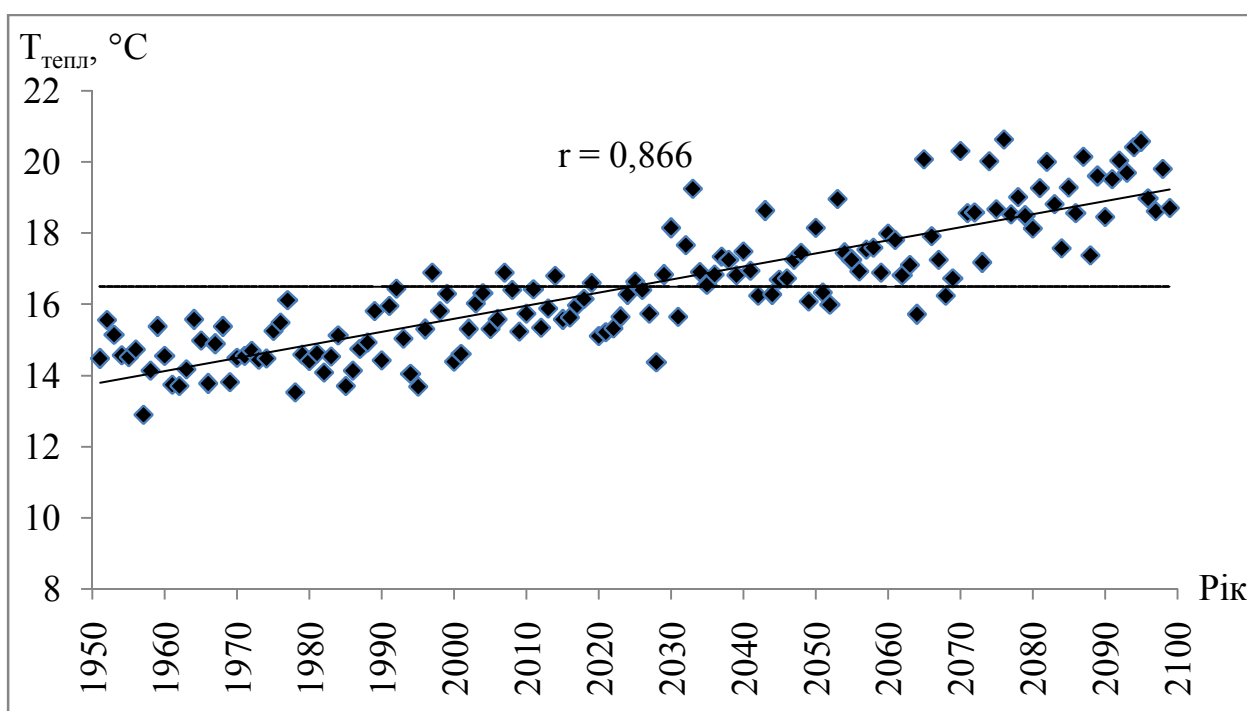


Рис. М.6 – Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-X міс.) за сценарієм А1В (М5), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

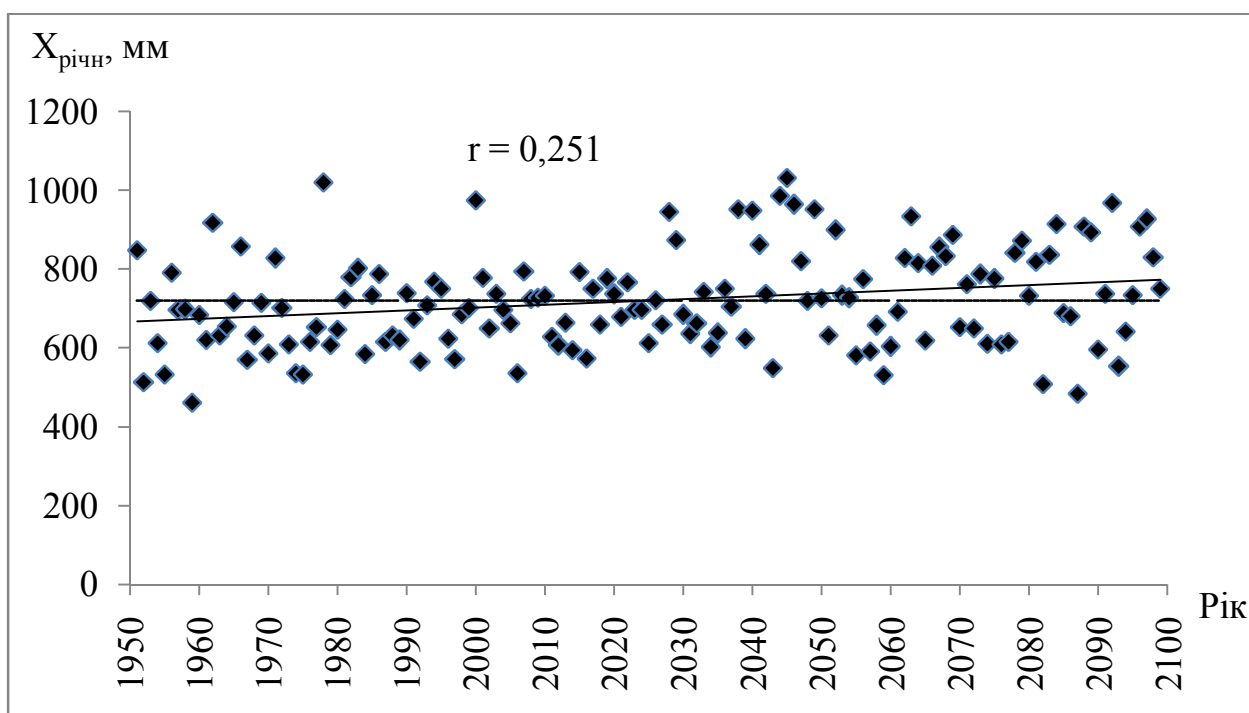


Рис. М.7 - Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М5), м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

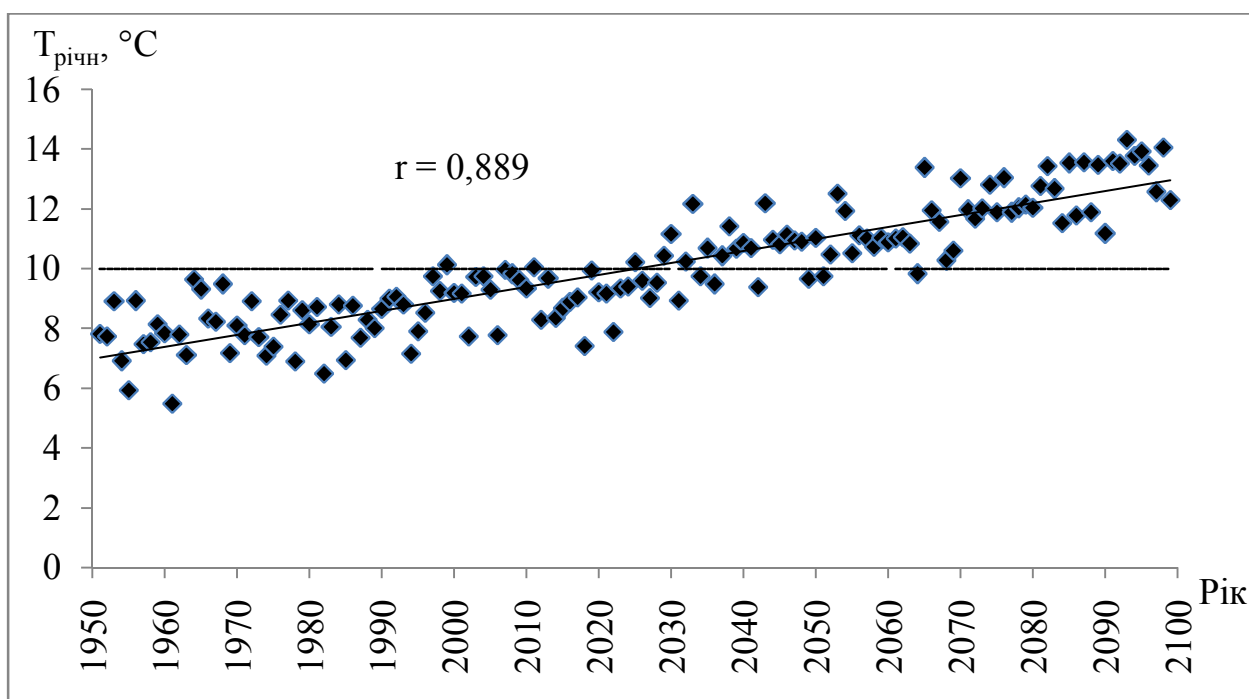


Рис. М.8 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М5), м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

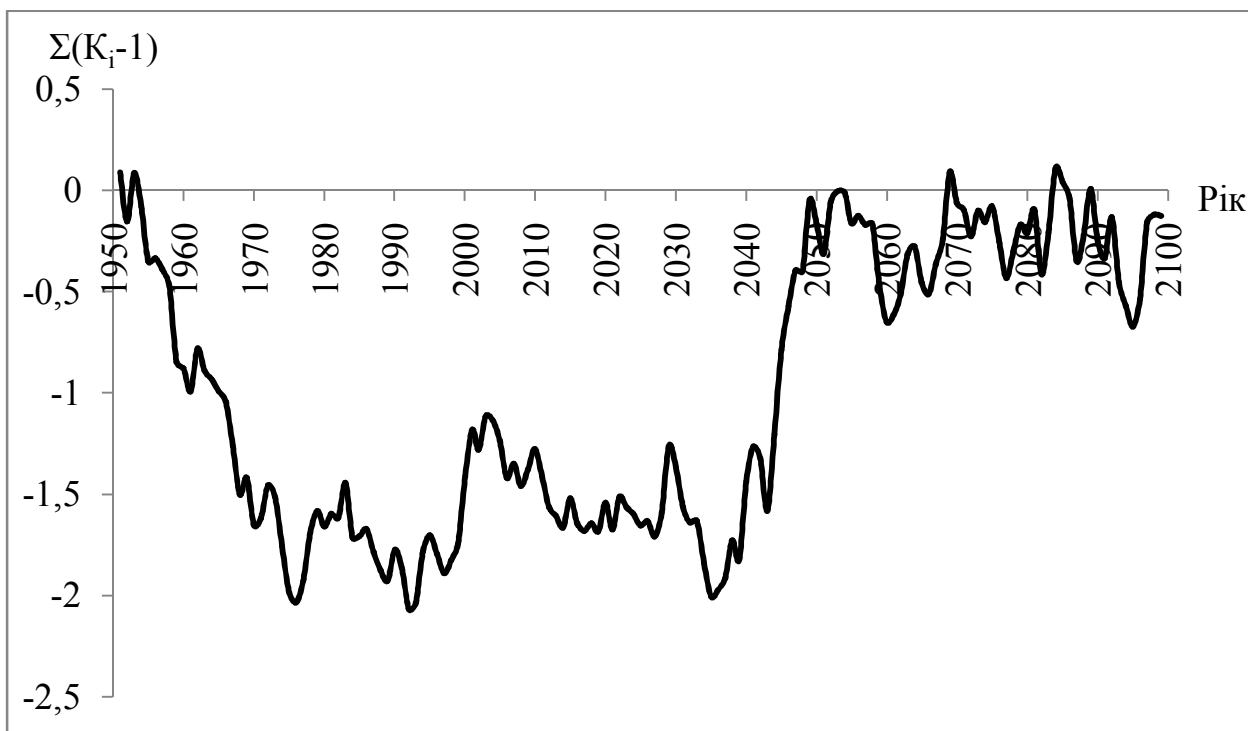


Рис. М.9 – Різницева інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М5), м. Полтава, 1951-2100 рр.

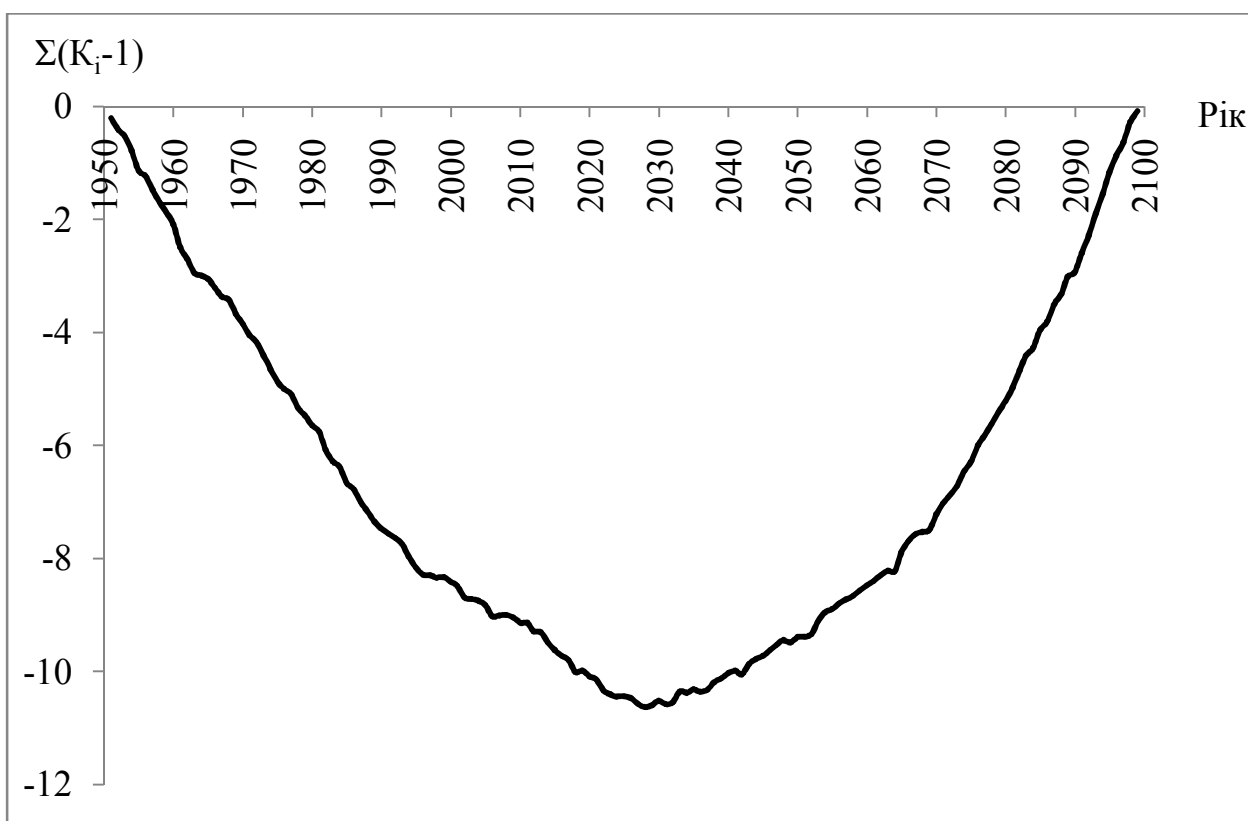


Рис. М.10 – Різницева інтегральна крива середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М5), м. Полтава, 1951-2100рр.

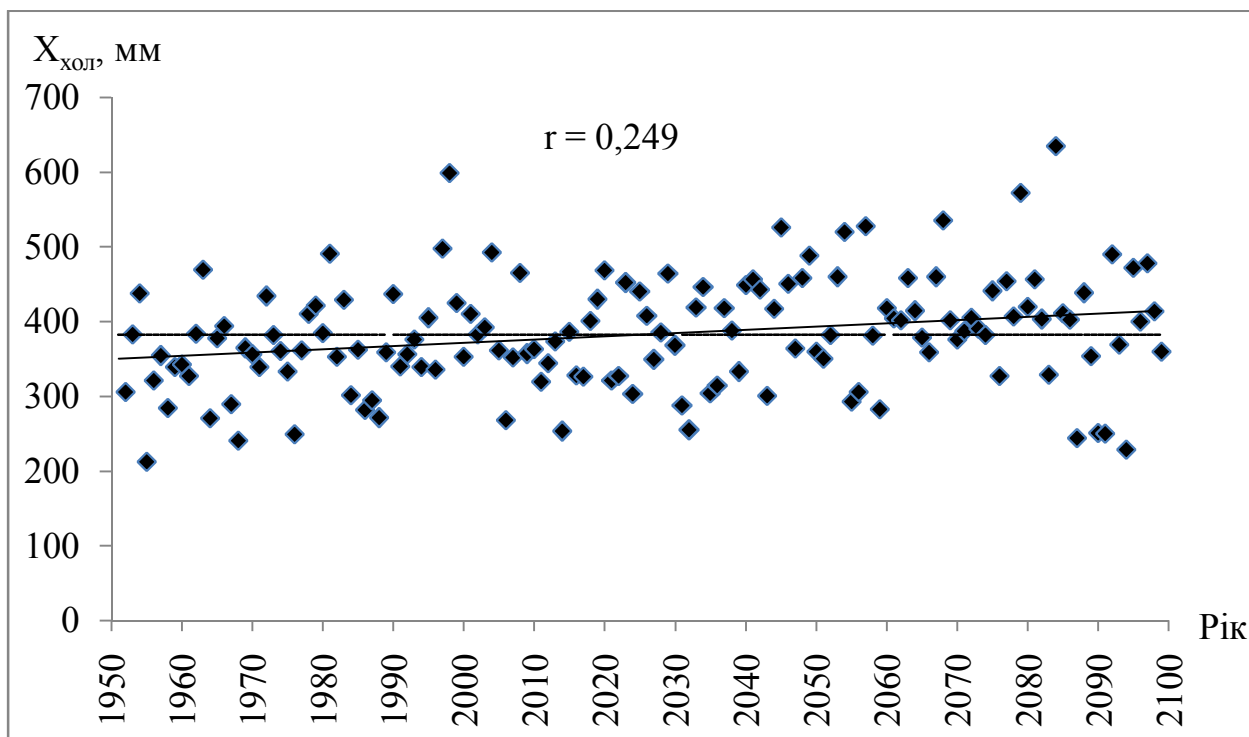


Рис. М.11 - Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А1В (М5), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

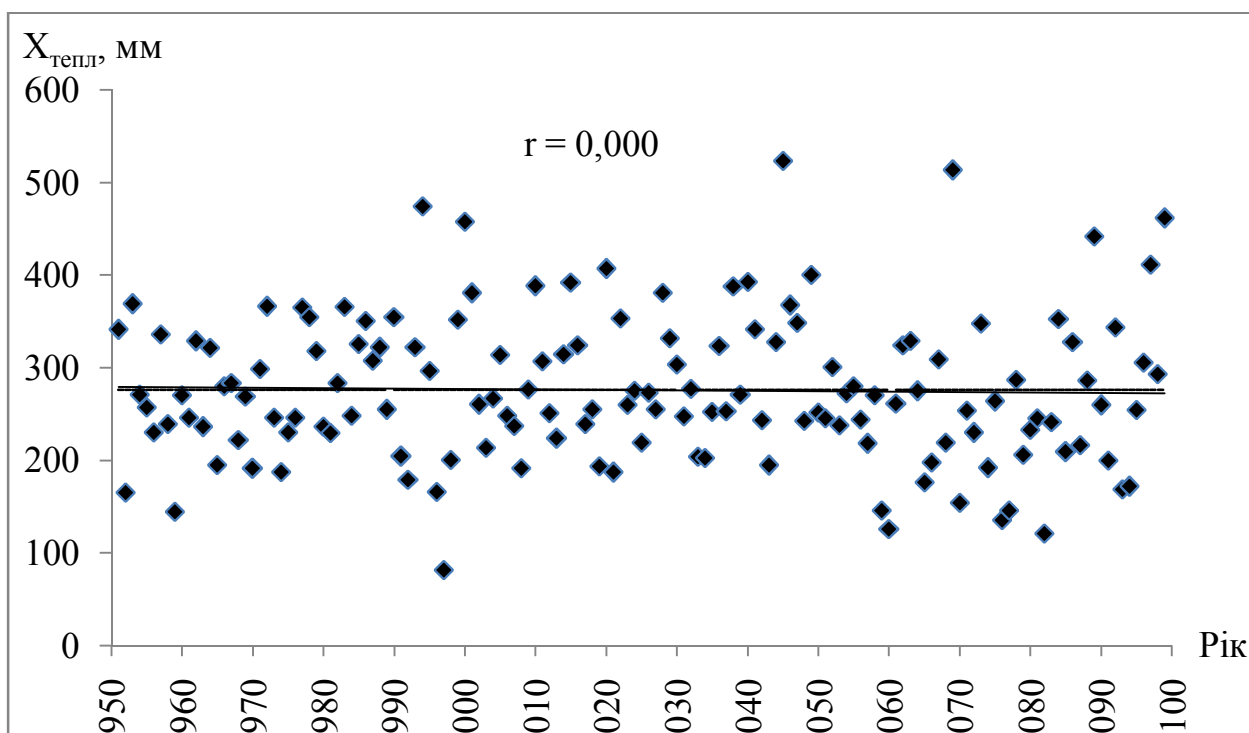


Рис. М.12 - Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В (М5), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

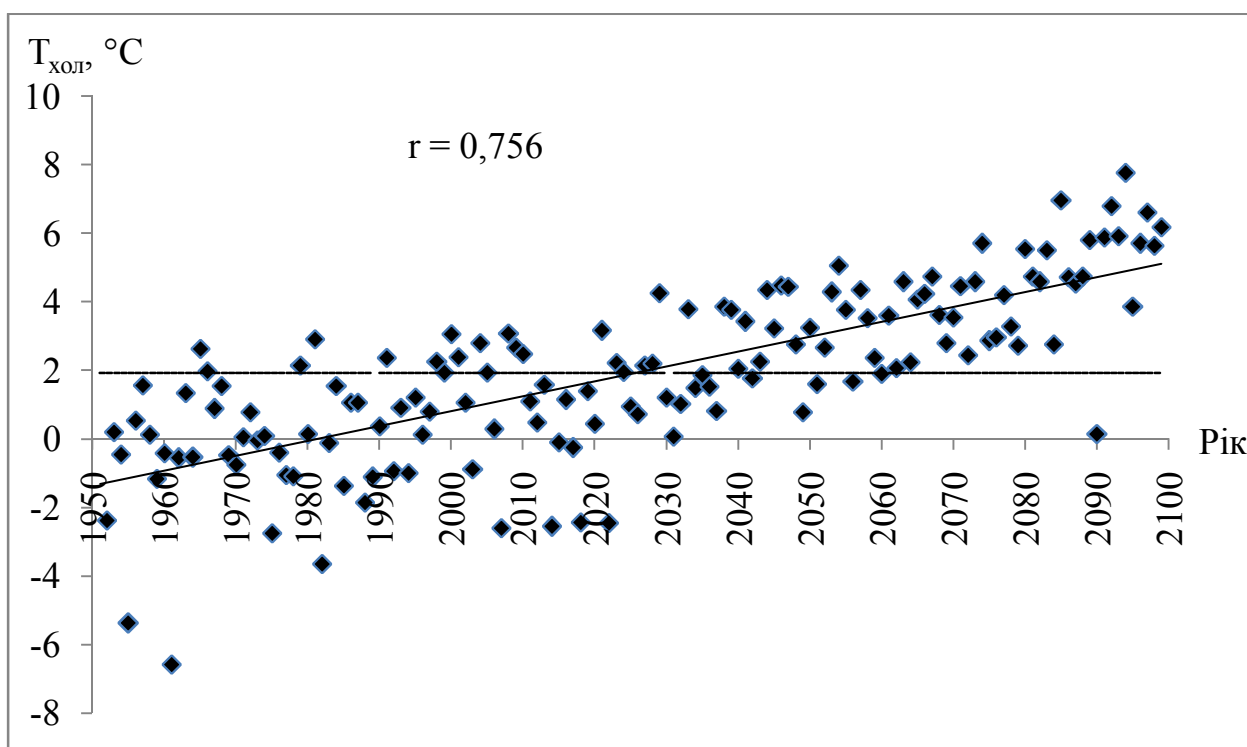


Рис. М.13 – Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А1В (М5), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

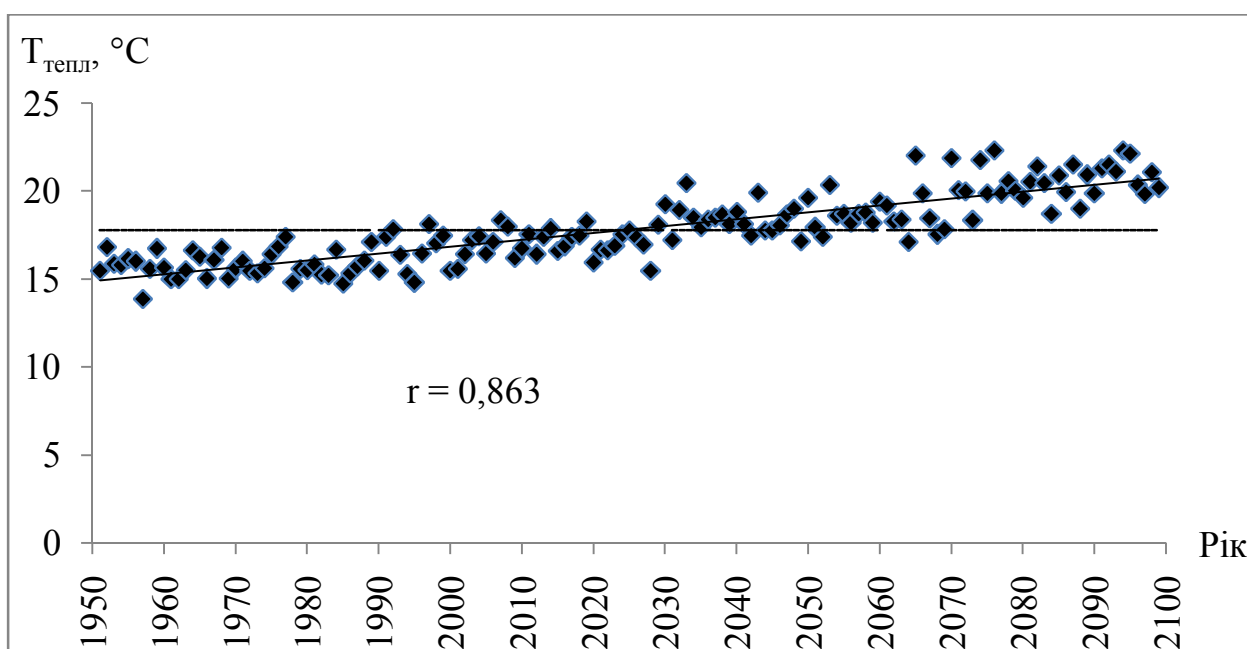


Рис. М.14 – Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-X міс.) за сценарієм А1В (М5), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

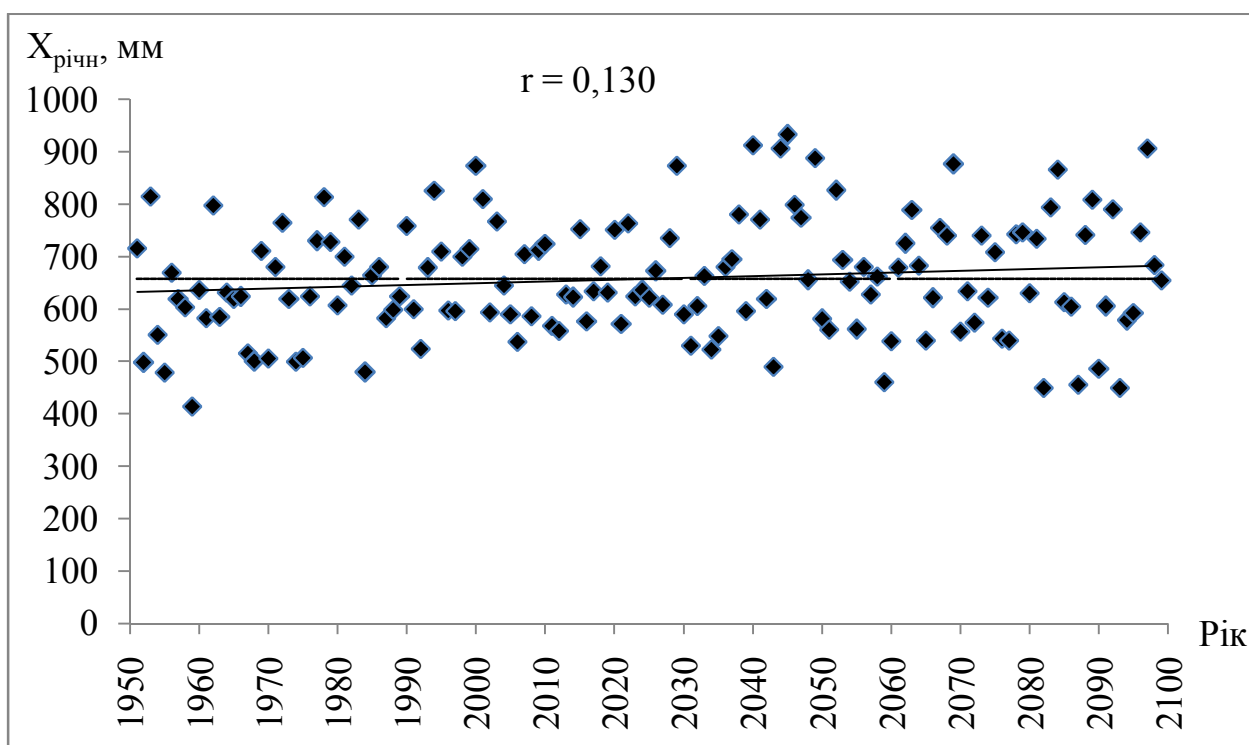


Рис. М.15 - Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В (М5), м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

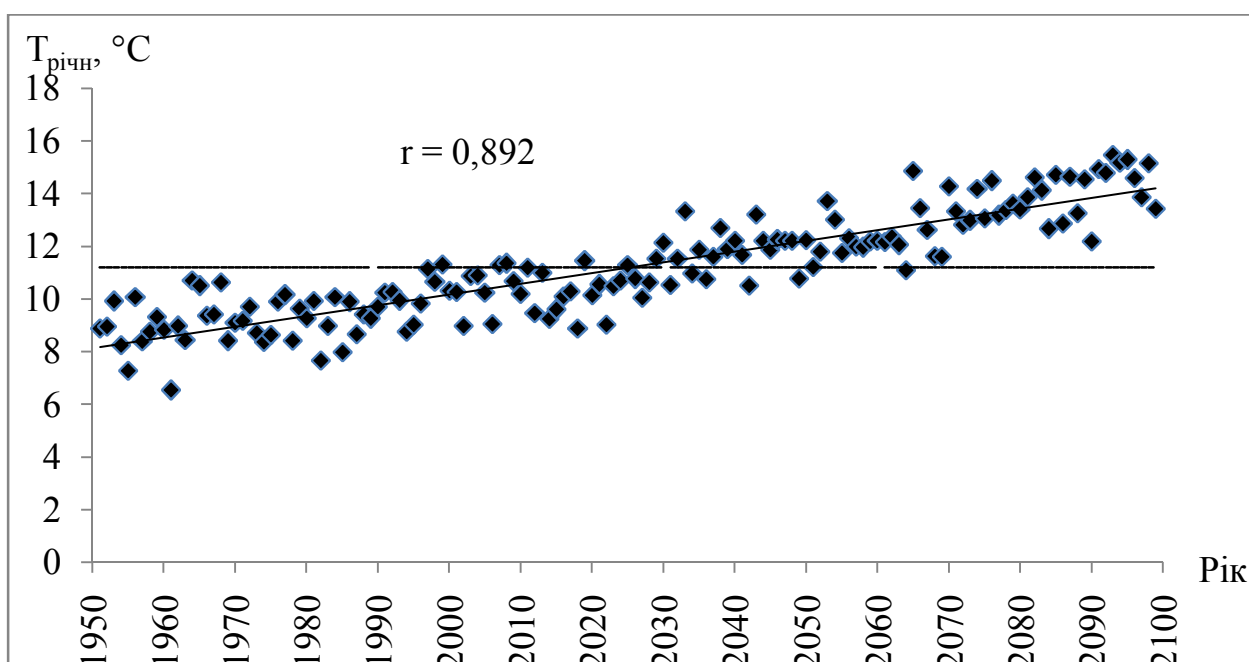


Рис. М.16 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А1В (М5), м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм А1В (М5), м. Суми**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	679	-	845	-	0.80	88	-
1990-2020	696	2.50	915	8.28	0.76	80	-9.10
2021-2050	765	12.7	1000	18.3	0.77	89	1.14
2051-2080	731	7.66	1074	27.1	0.68	64	-27.3
2081-2100	757	11.5	1161	37.4	0.65	59	-32.9

Таблиця М.2

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм А1В (М5), м. Полтава**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	626	-	928	-	0.68	53	-
1990-2020	666	6.39	1002	7.97	0.66	55	3.77
2021-2050	688	9.90	1094	17.9	0.63	49	-7.55
2051-2080	657	4.95	1179	27.1	0.56	34	-35.9
2081-2100	661	5.56	1269	36.8	0.52	29	-45.3

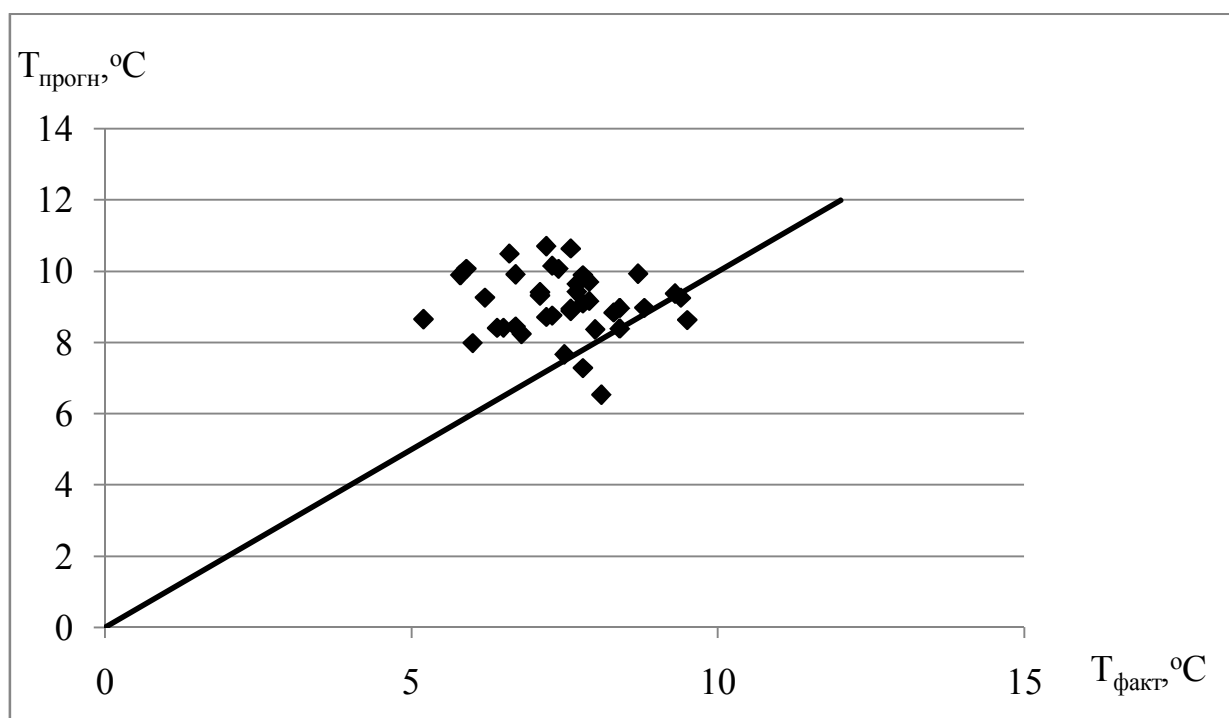


Рис. М.17 – Порівняльний графіки фактичної та прогнозованої, за сценарієм А1В (М5), температур повітря для річки Ворскла місто Полтава

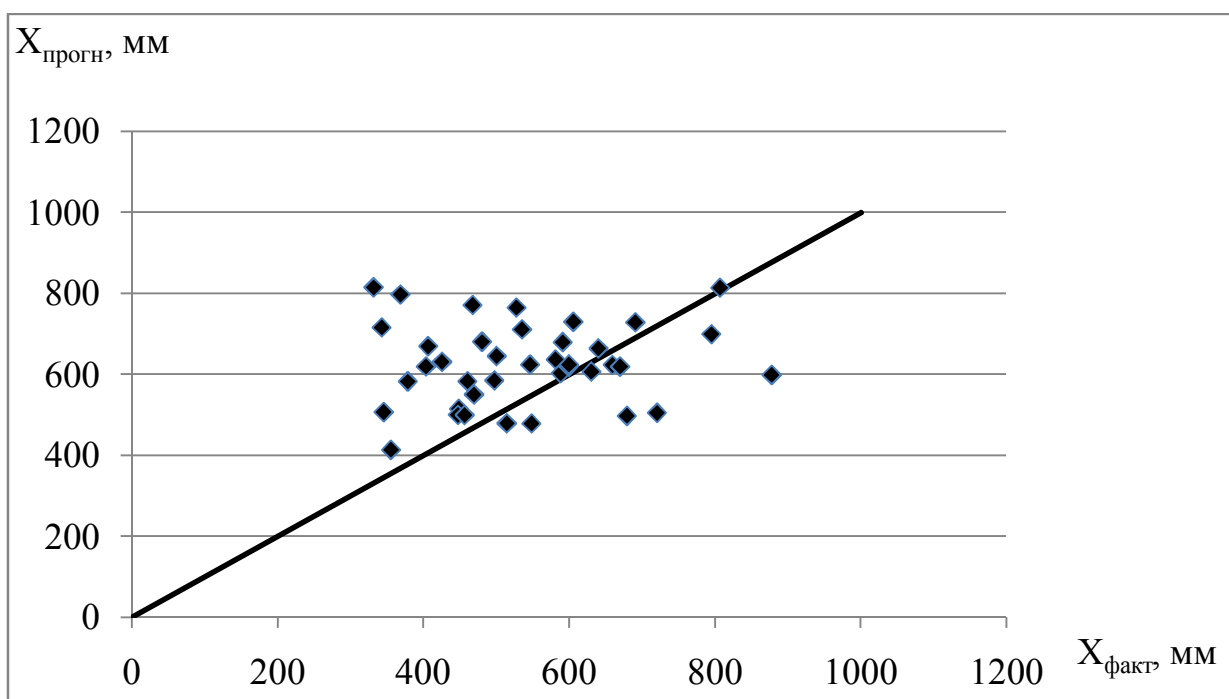


Рис. М.18 – Порівняльні графіки фактичних та прогнозованих, за сценарієм А1В(М5), опадів для річки Ворскла місто Полтава

ДОДАТОК Н

СЦЕНАРІЙ А2

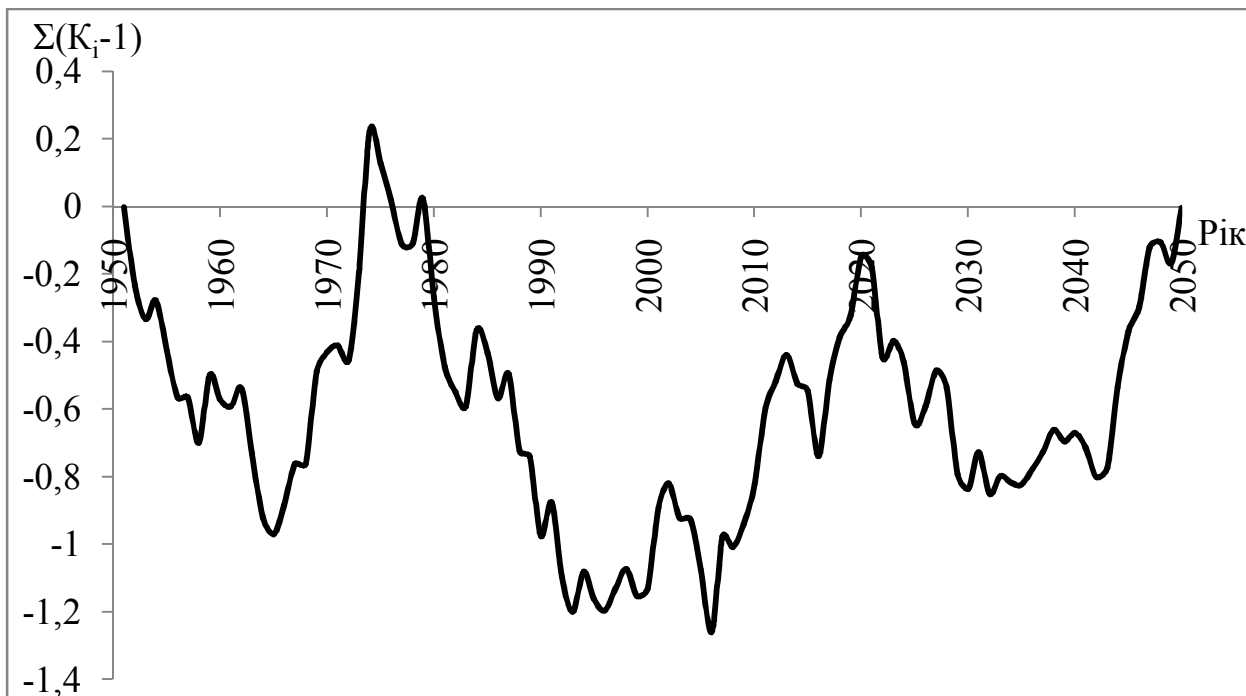


Рис. Н.1 – Різницева інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм А2, м. Суми, 1951-2100 рр.

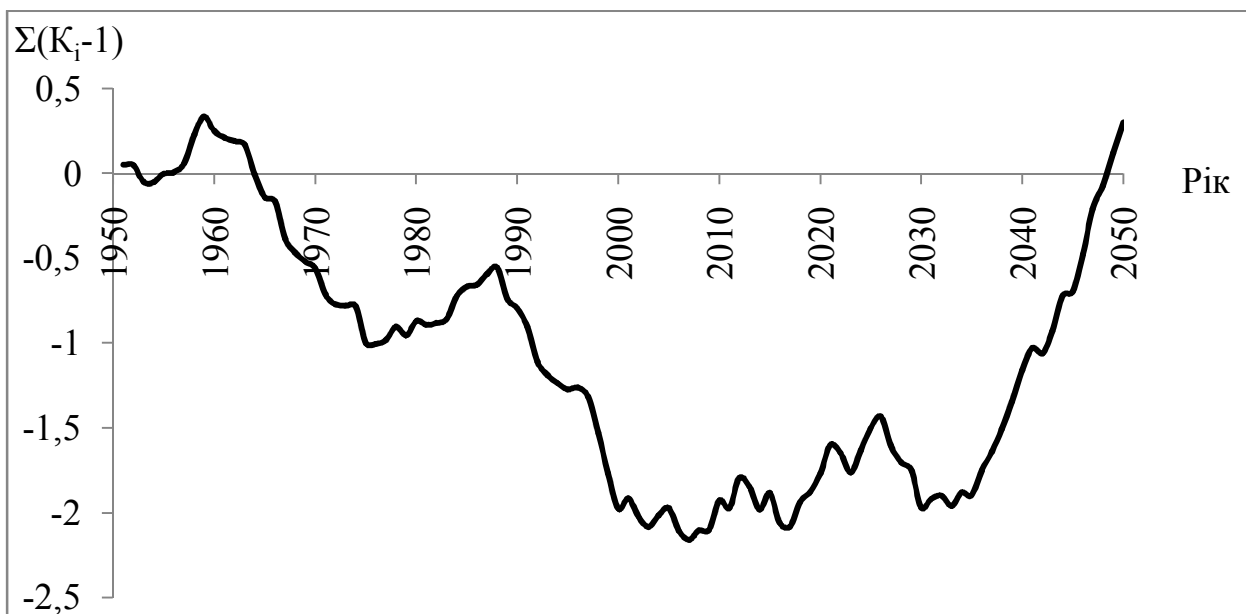


Рис. Н.2 – Різницева інтегральна крива середніх річних температур повітря за сценарієм А2, м. Суми, 1951-2100рр.

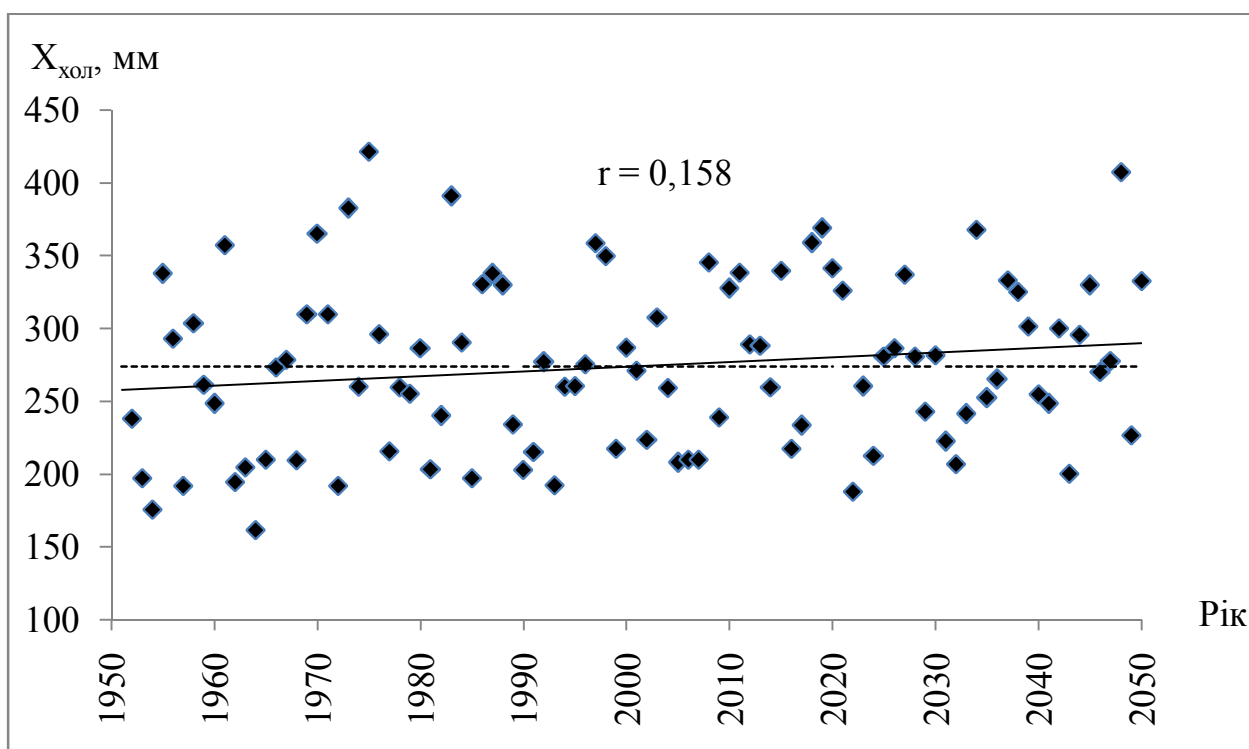


Рис. Н.3 - Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А2, м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

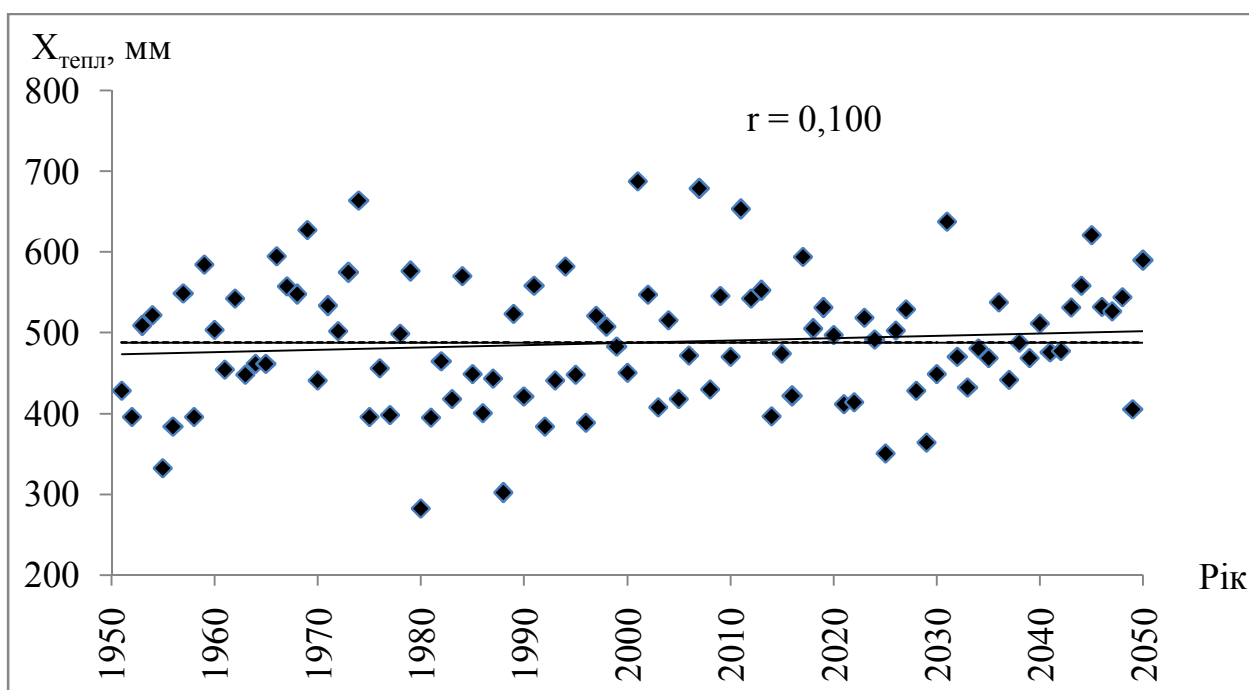


Рис. Н.4 - Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А2, м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

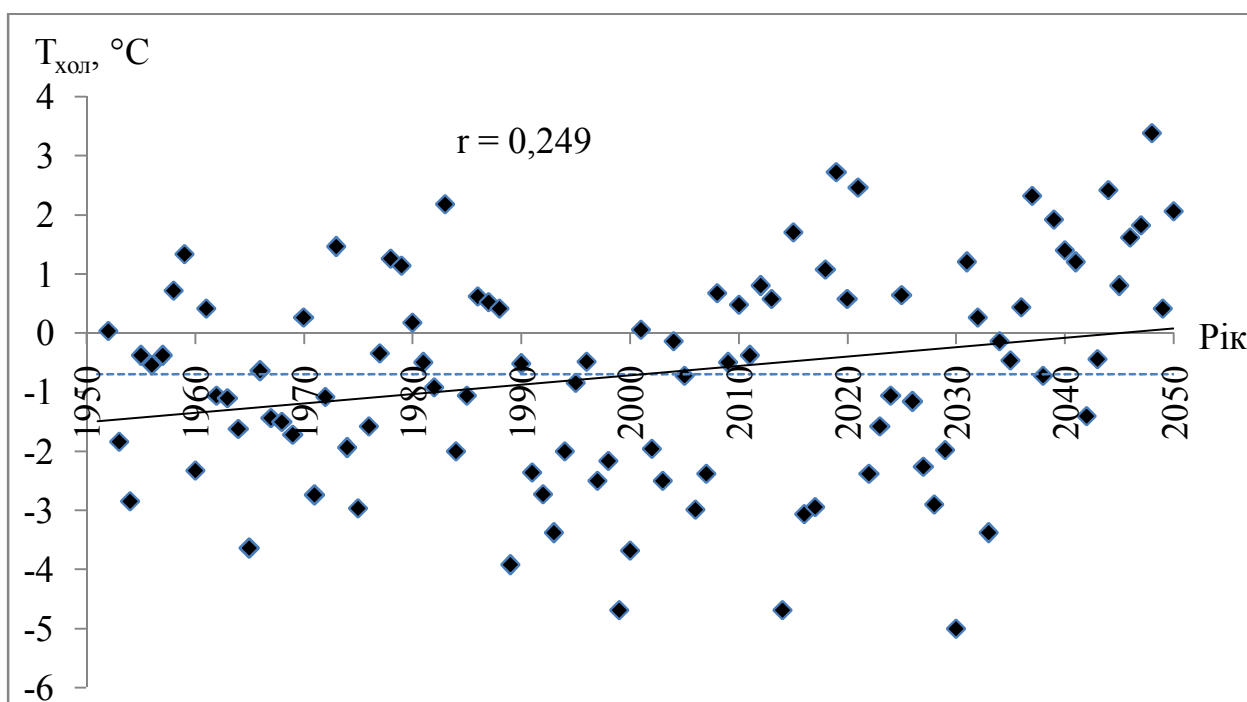


Рис. Н.5 – Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А2, м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

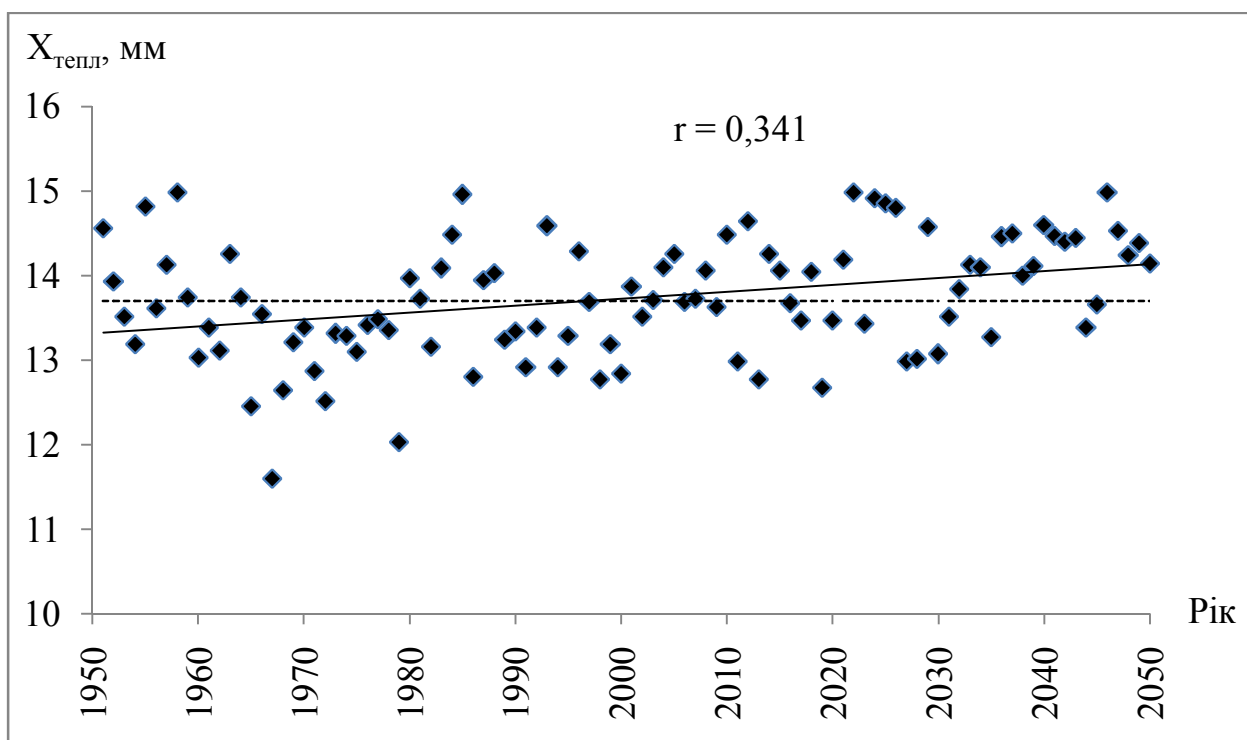


Рис. Н.6 – Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-X міс.) за сценарієм А2, м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

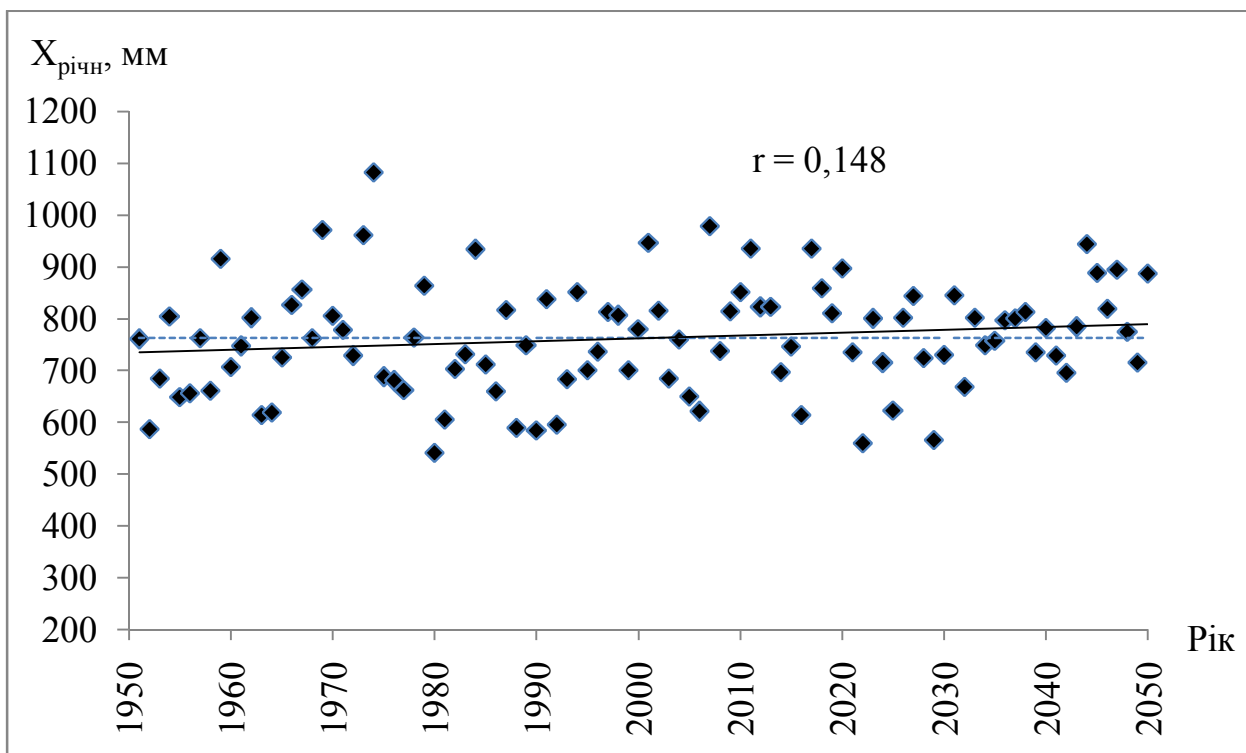


Рис. Н.7 - Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А2, м. Суми, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

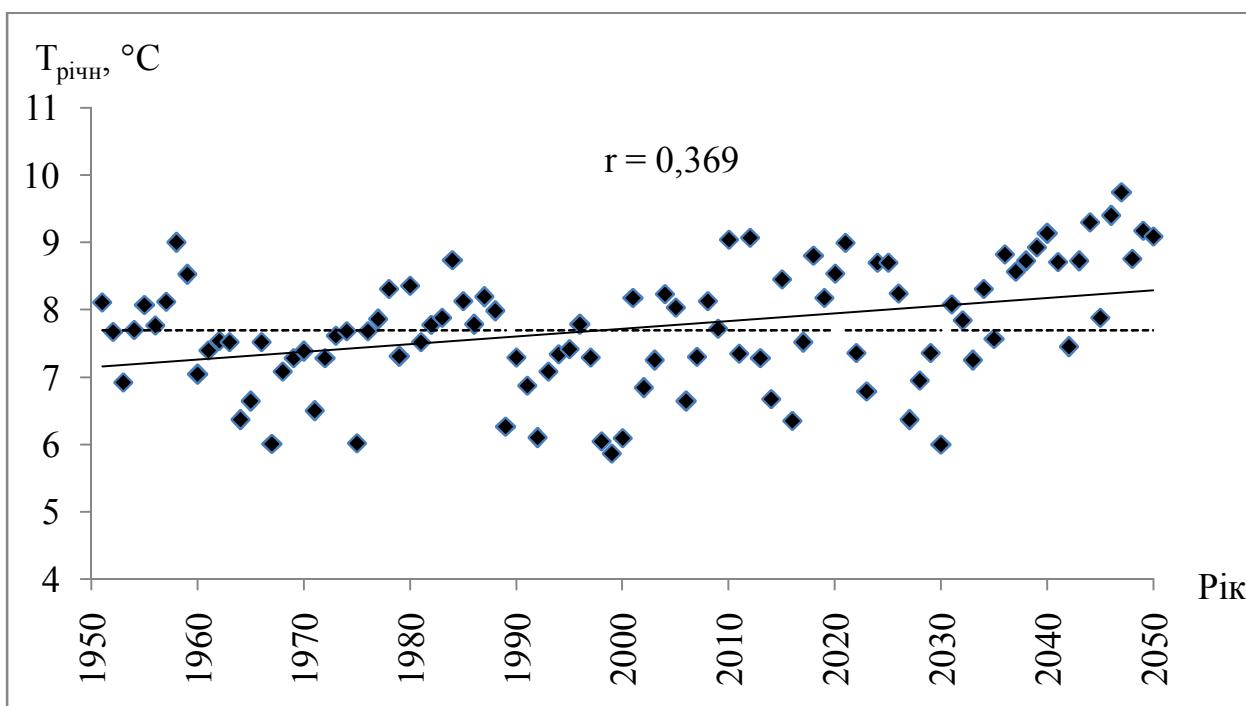


Рис. Н.8 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А2, м. Суми, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

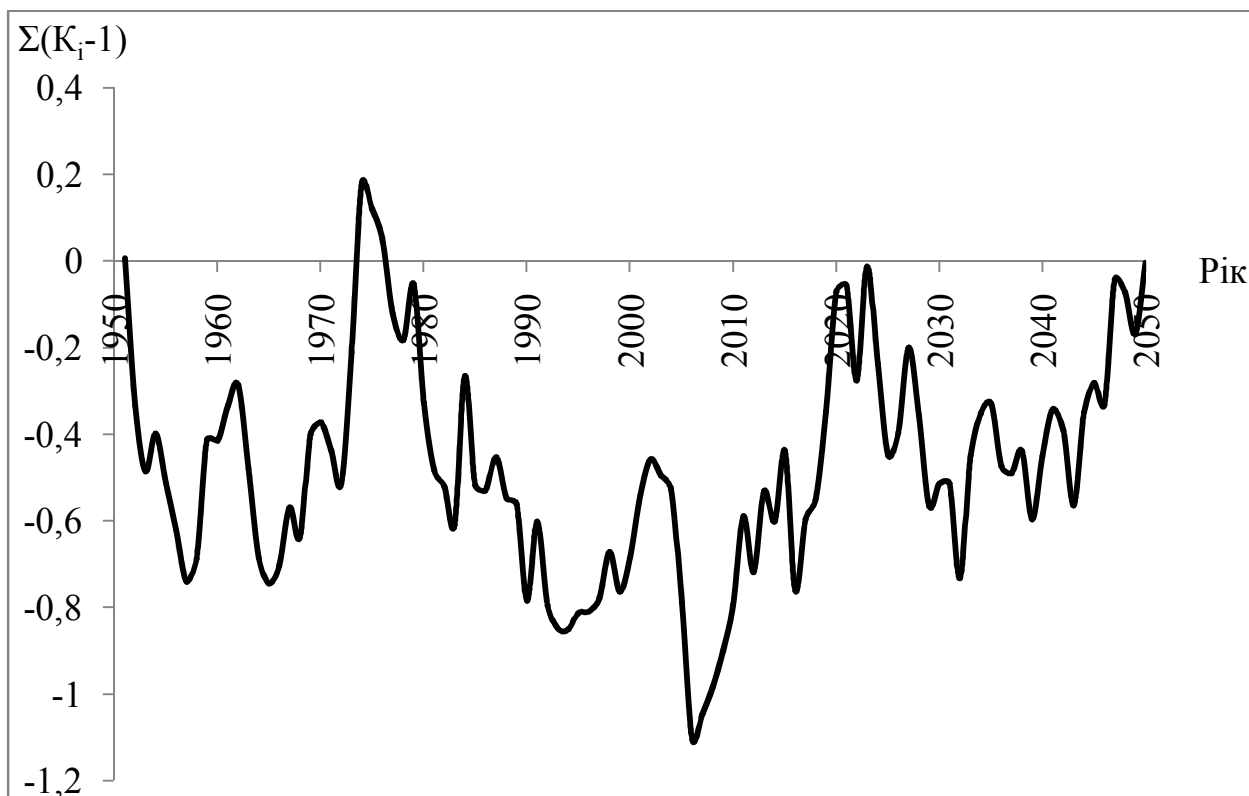


Рис. Н.9 – Різницєва інтегральна крива середніх річних сум опадів за сценарієм А2, м. Полтава, 1951-2100 рр.

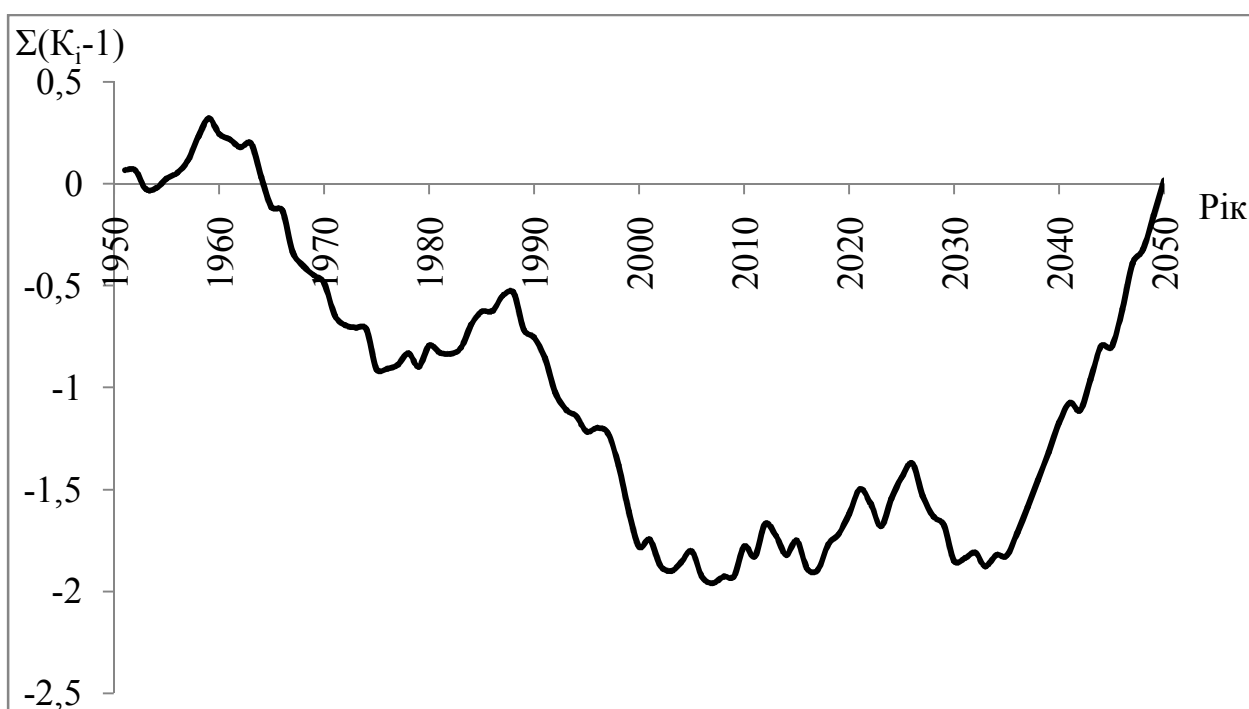


Рис. Н.10 – Різницєва інтегральна крива середніх річних температур повітря за сценарієм А2, м. Полтава, 1951-2100рр.

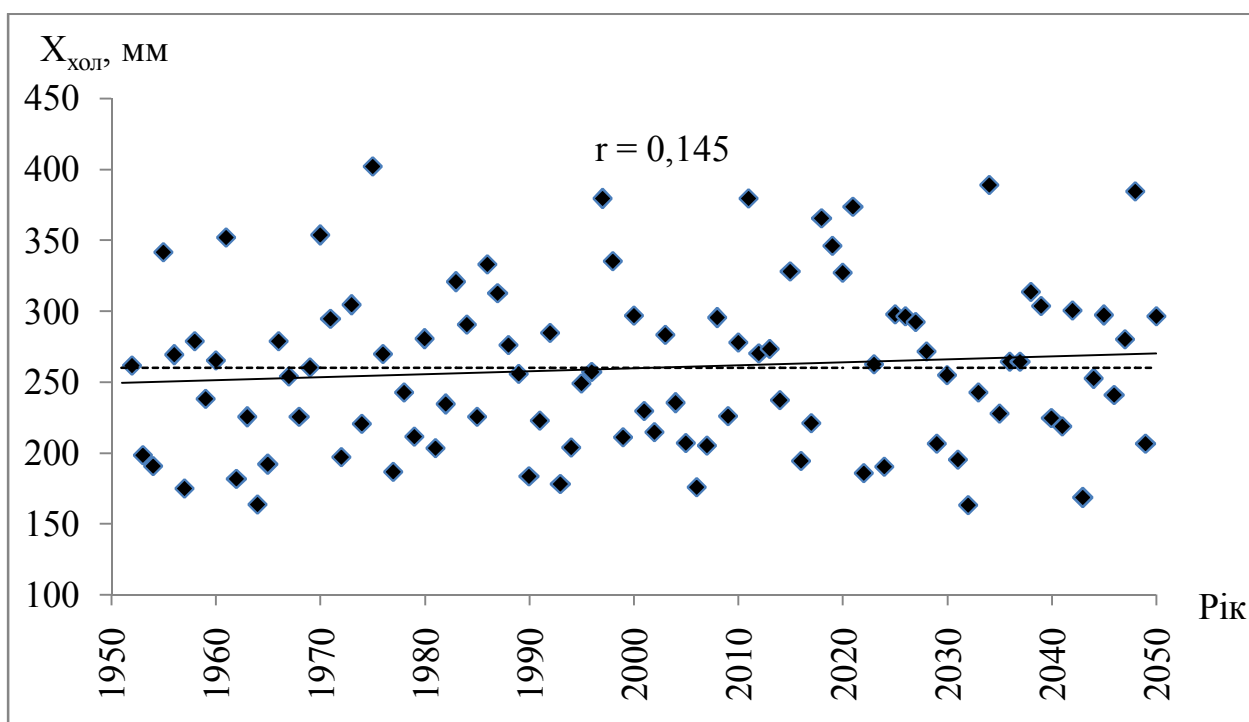


Рис. Н.11 - Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А2, м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, – лінія тренду)

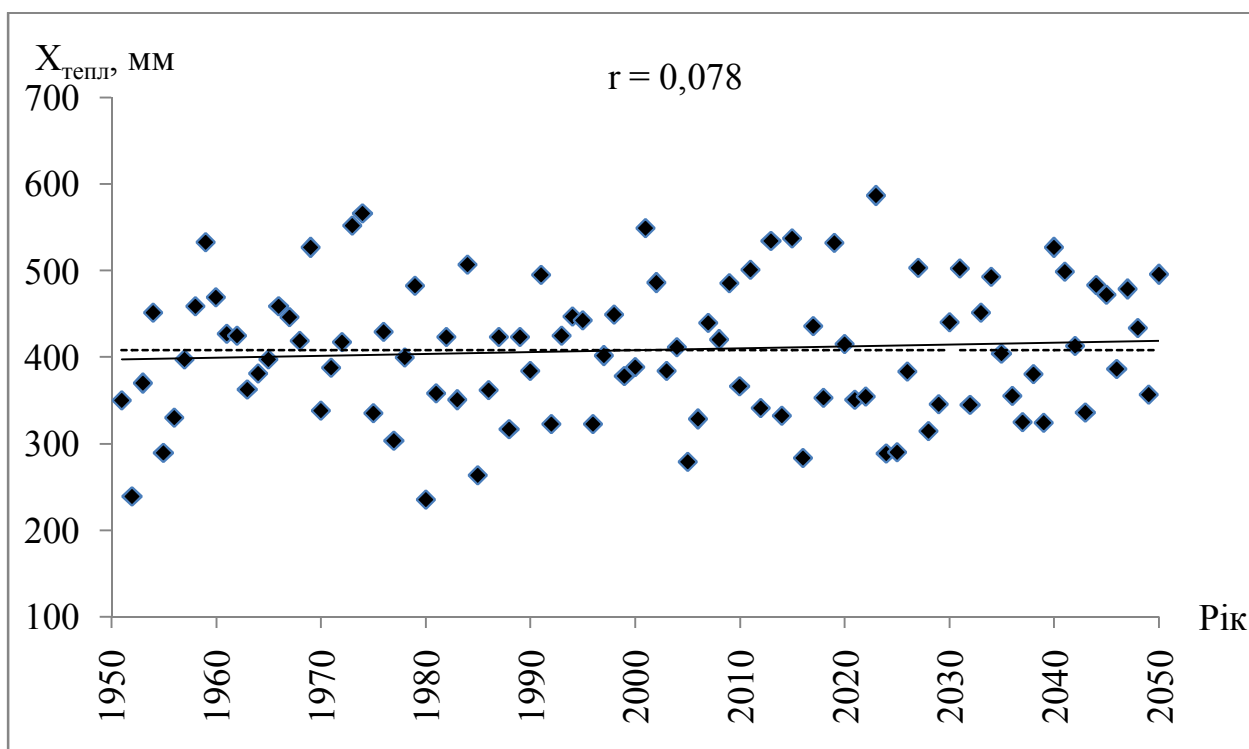


Рис. Н.12 - Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А2, м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, – лінія тренду)

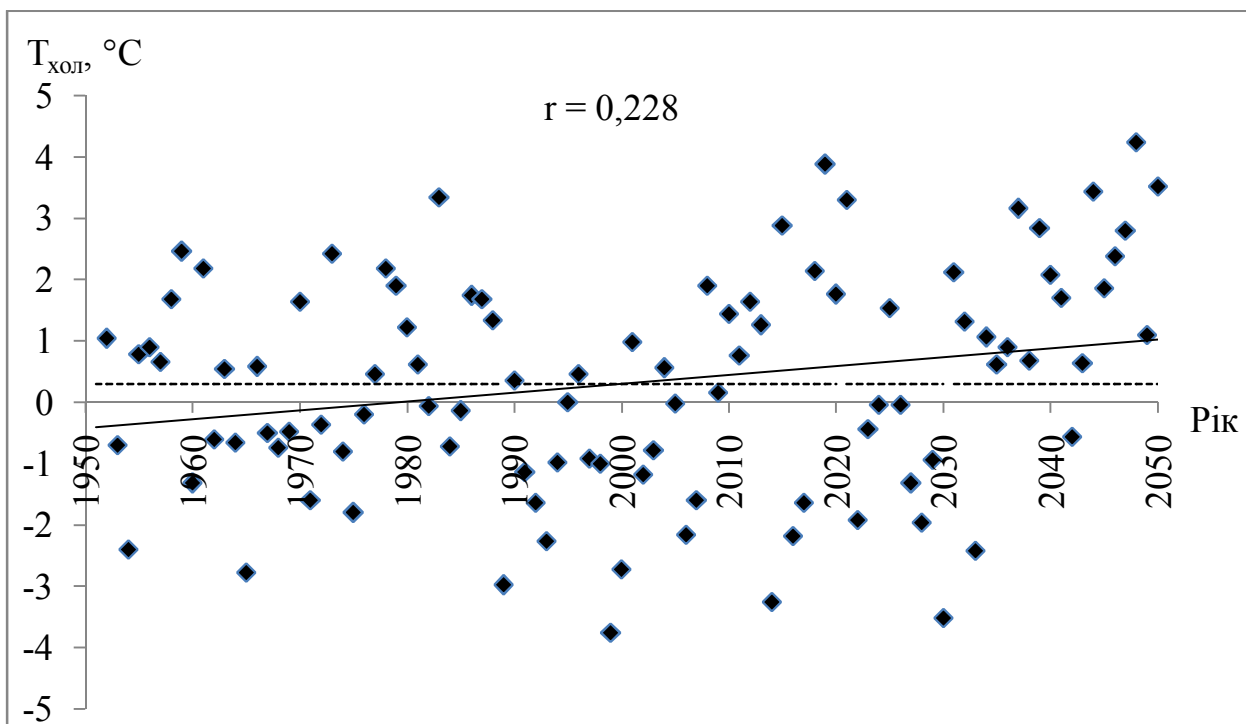


Рис. Н.13 – Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А2, м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

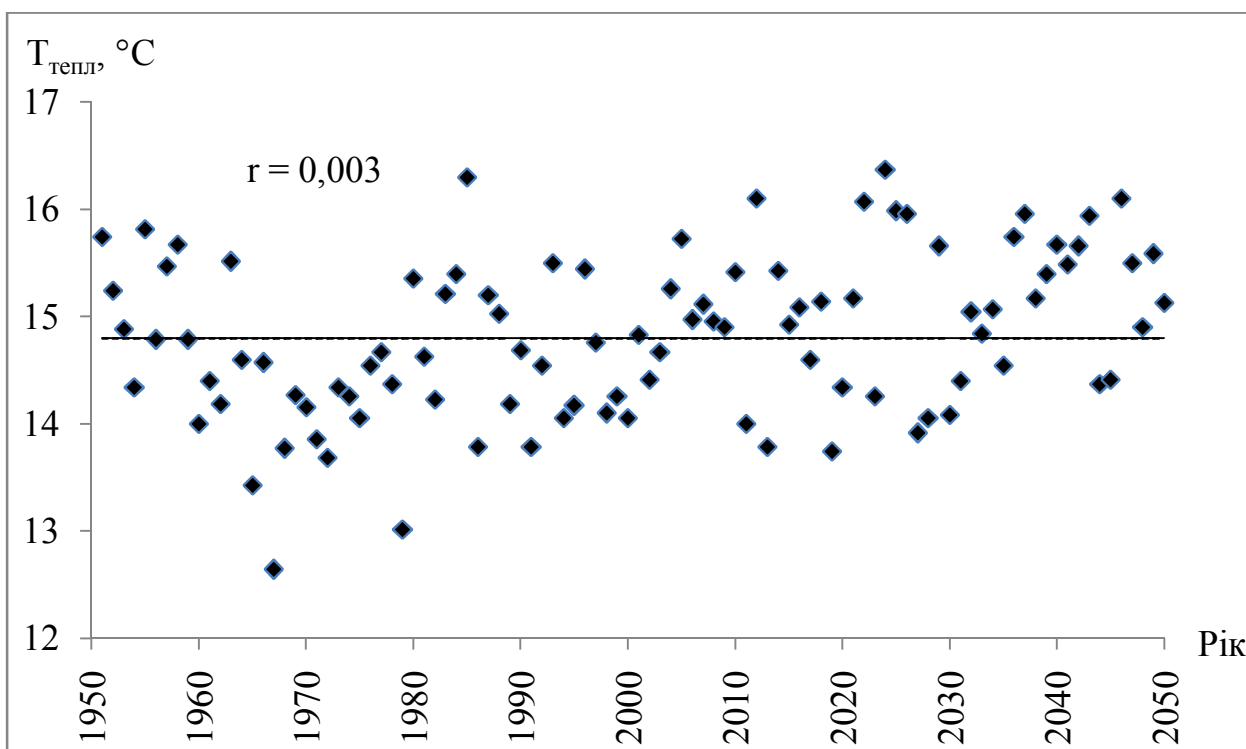


Рис. Н.14 – Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-X міс.) за сценарієм А2, м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

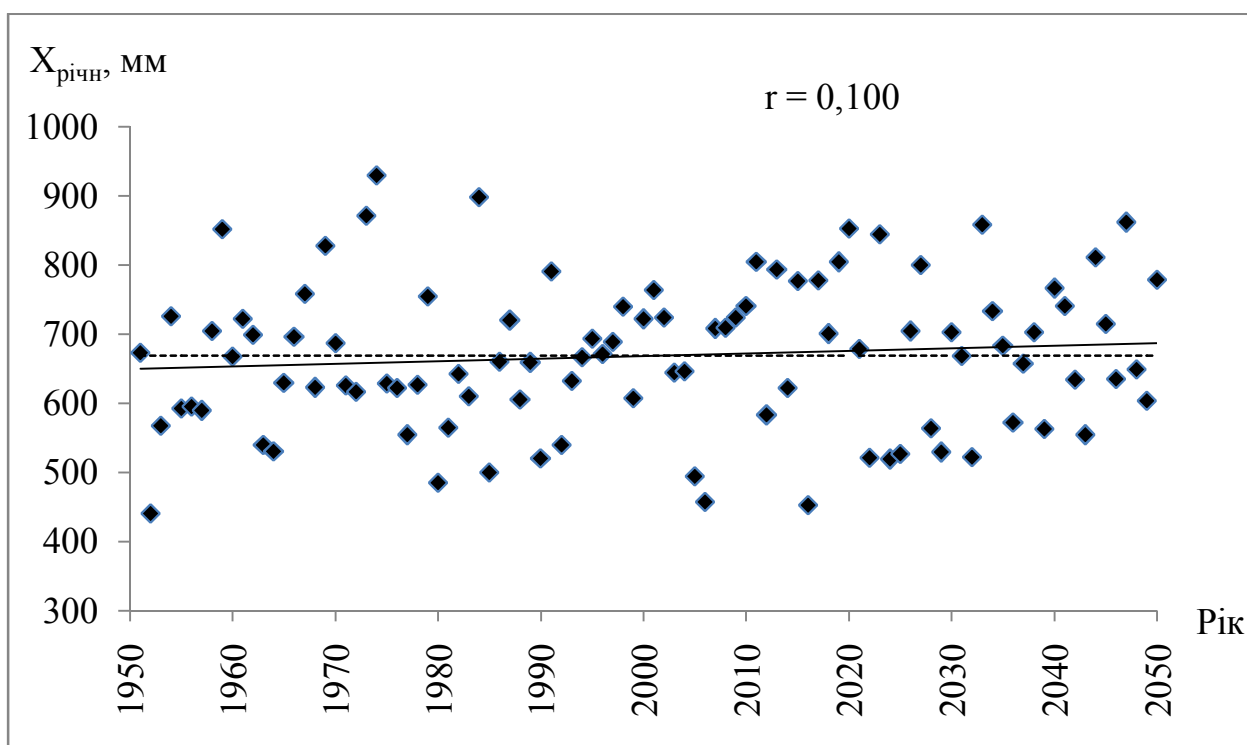


Рис. Н.15 - Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А2, м. Полтава, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

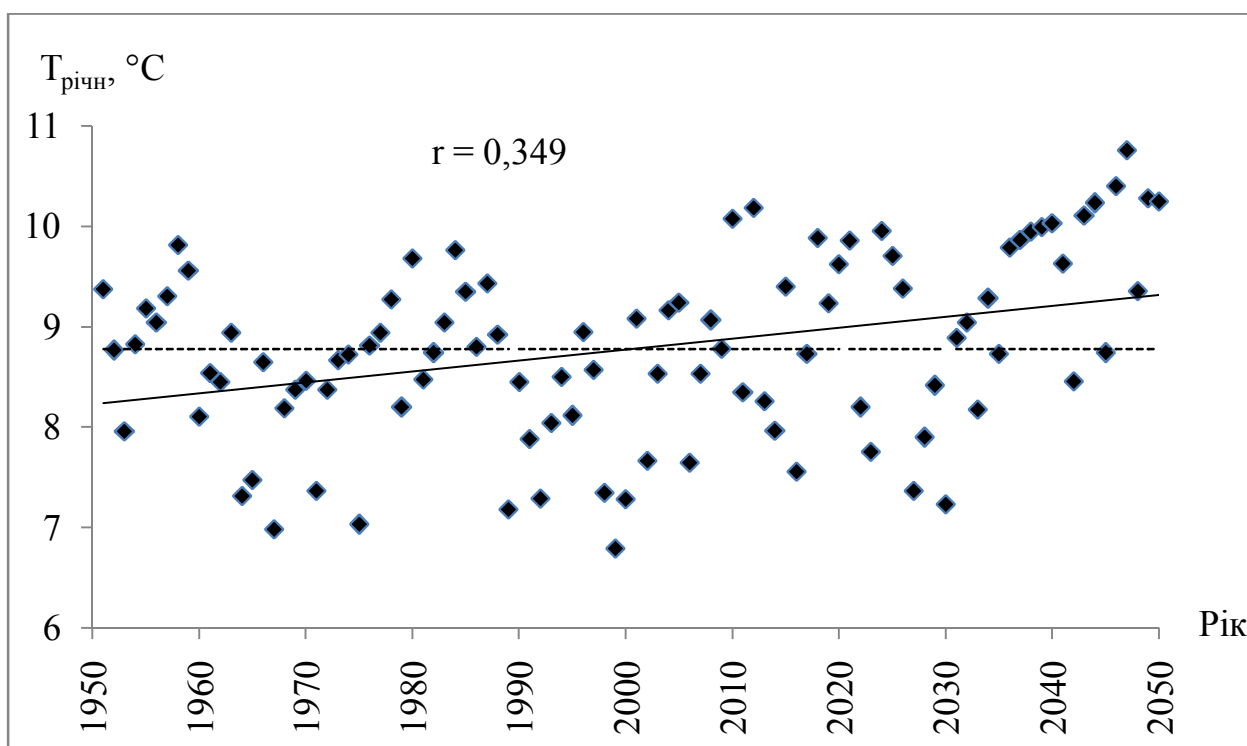


Рис. Н.16 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А2, м. Полтава, 1951-2100рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм А2, м. Суми**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	748		739		1.0	158	
1990-2020	777	3.9	744	0.7	1.0	174	10.1
2021-2050	766	2.4	776	5.0	0.9	154	-2.5
1990-2050	772	3.2	760	2.8	1.0	164	3.8

Таблиця Н.2

**Оцінки змін кліматичних чинників формування стоку та водних
ресурсів за сценарієм А2, м. Полтава**

Період	\bar{X} , мм	δ , %	\bar{E}_m , мм	δ , %	$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	\bar{Y}_K , мм	δ , %
1951-1989	659		812		0.8	88	
1990-2020	879	33.4	820	0.9	1.1	95	7.9
2021-2050	670	1.7	851	4.8	0.8	83	-5.7
1990-2050	674	2.3	835	2.8	0.8	89	1.1

ДОДАТОК О

Таблиця О.1

**Гідрохімічний моніторинг Державної гідрометслужби на річках
Псел та Ворскла та їх притоках**

Річка	Пункт моніторингу	Кількість створів	Програма спостережень
Псел	м. Суми	2	А,В,С,D,E,Y
	м. Гадяч	2	А,В,С,D,E,Y
	с. Запсілля	3	А,В,С,D,E,Y
Хорол,права притока р. Псел	м. Миргород	2	А,В,С,D,E,Y
Ворскла	с. Чернеччина	2	А,В,С,D,E,Y
	м. Полтава	3	А,В,С,D,E,Y
	м. Кобеляки	1	А,В,С,D,E,Y
Мерло, ліва притока Ворскли	м. Богодухів	2	А,В,С,D,E,Y

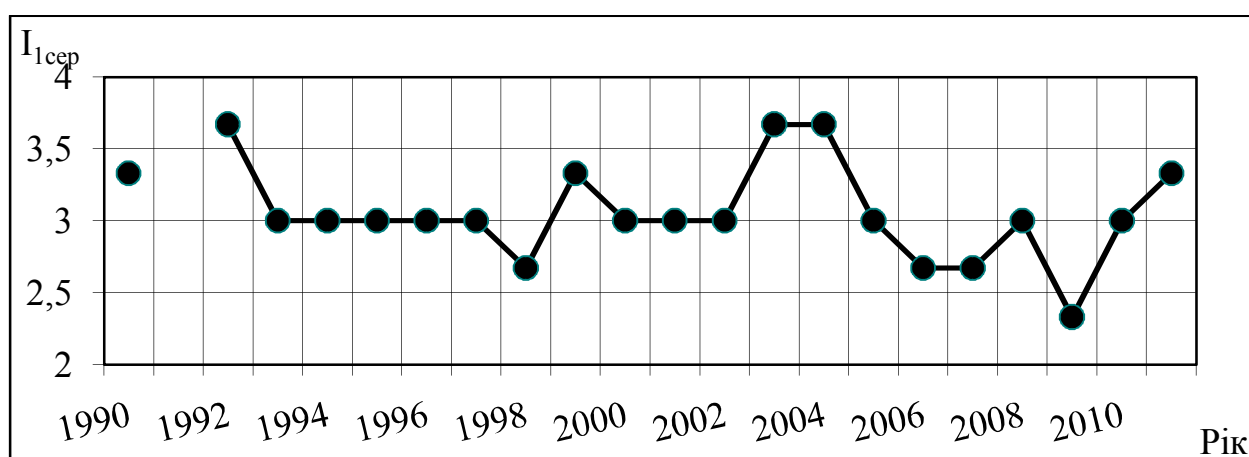


Рис.О.1 - Графік зміни середніх значень показників блокового індексу забруднення компонентами сольового складу з 1990 по 2011 рр.

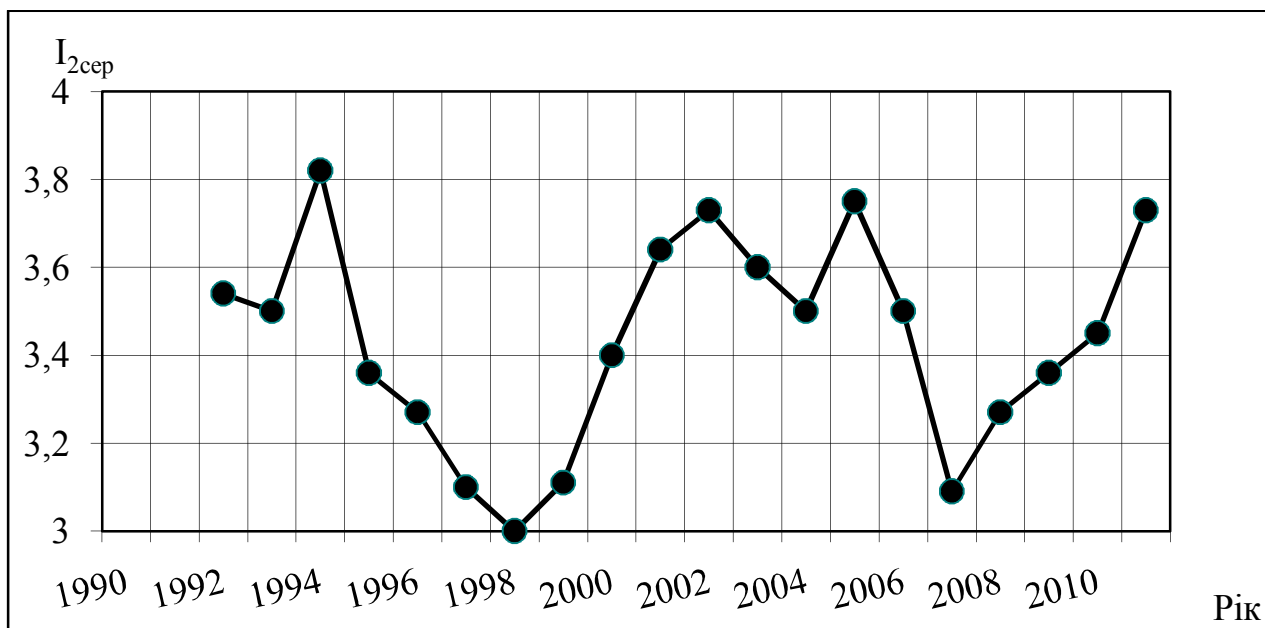


Рис. О.2 - Графік зміни середніх значень показників блокового еколого-санітарного індексу з 1990 по 2011 рр.

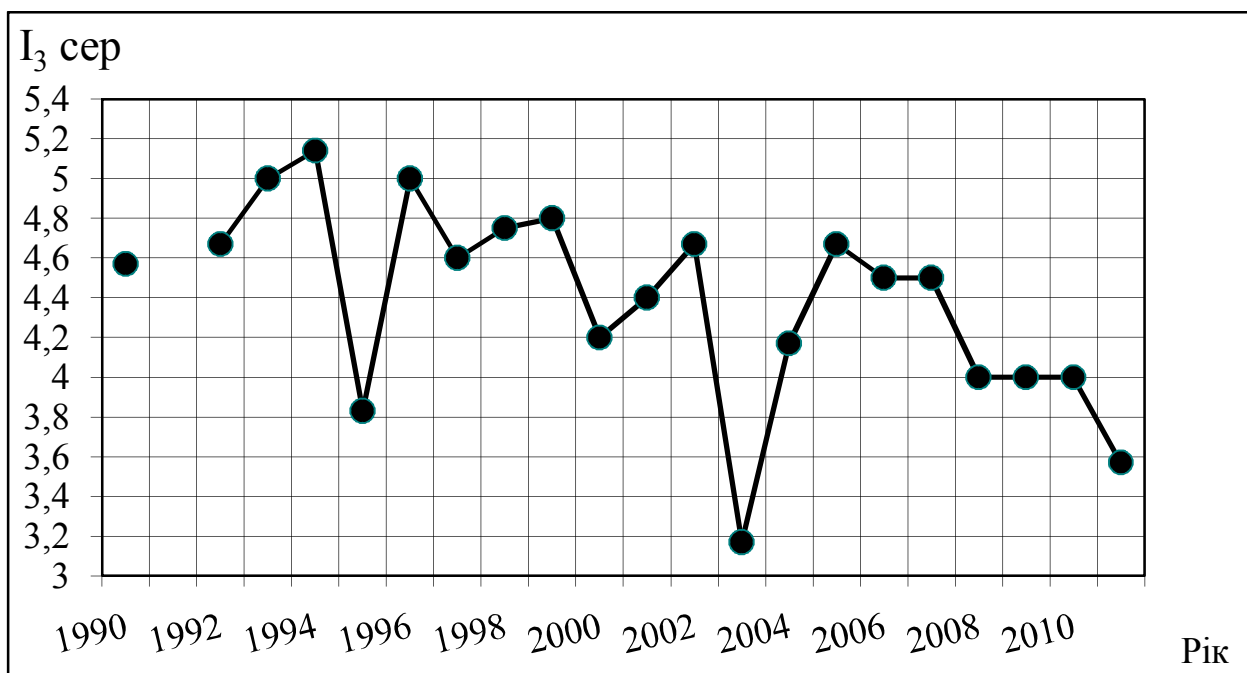


Рис.О.3 - Графік зміни середніх значень показників блокового індексу специфічних речовин токсичної дії з 1990 по 2011 рр.

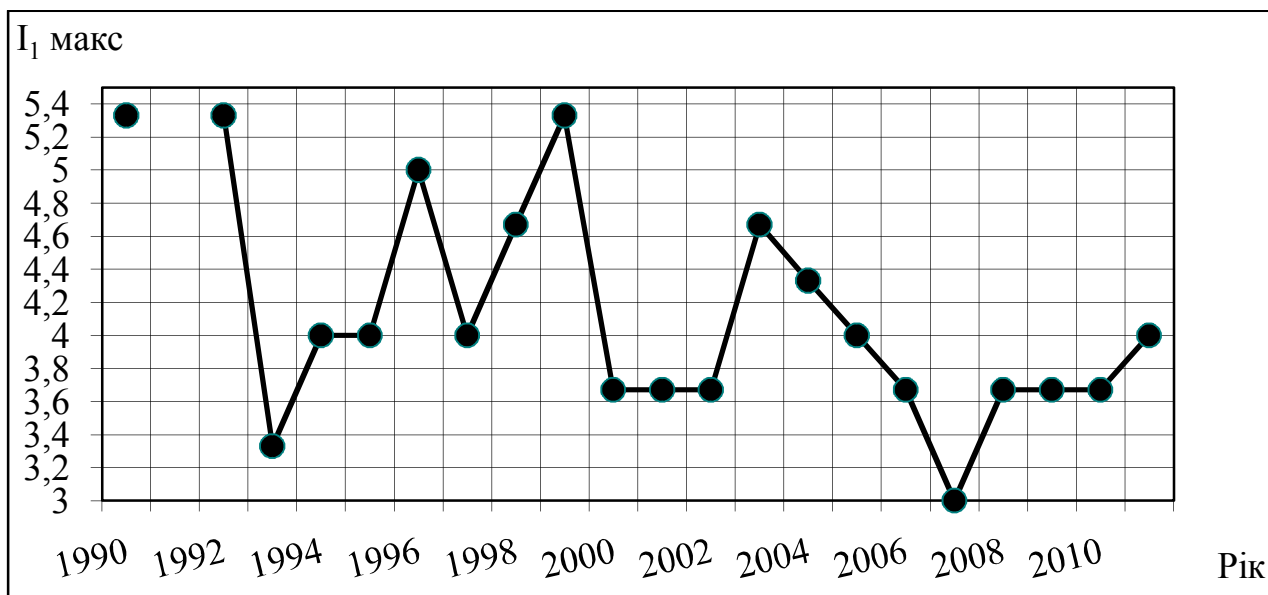


Рис. О.4 - Графік зміни максимальних значень показників блокового індексу забруднення компонентами сольового складу з 1990 по 2011 рр.

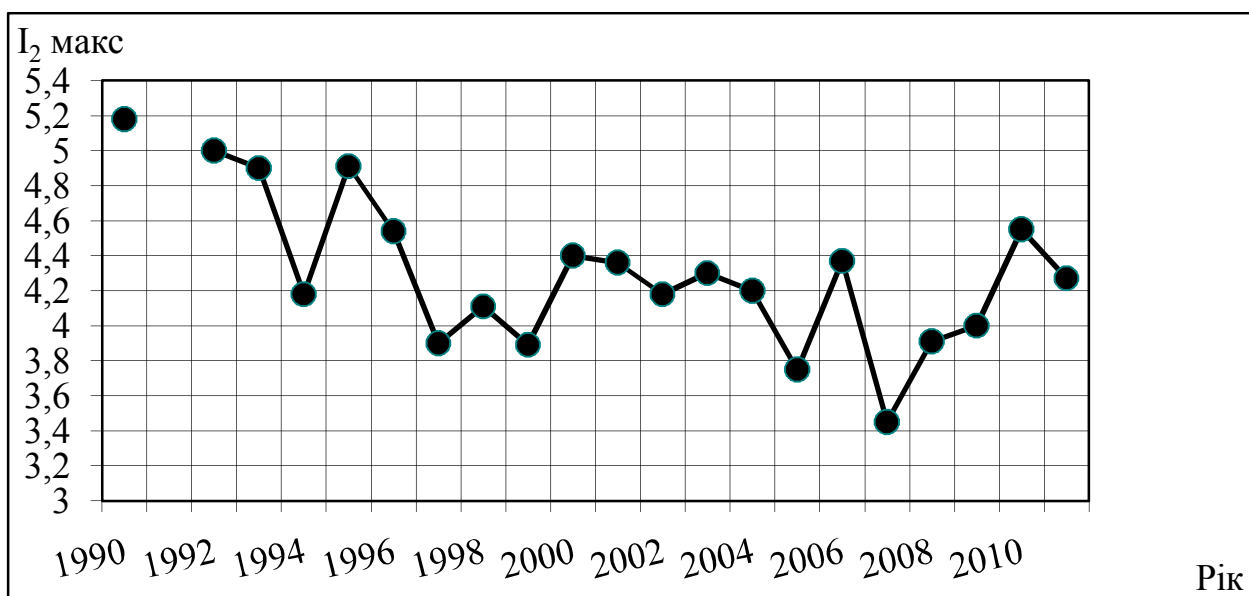


Рис. О.5 - Графік зміни максимальних значень показників блокового еколого-санітарного індексу з 1990 по 2011 рр.

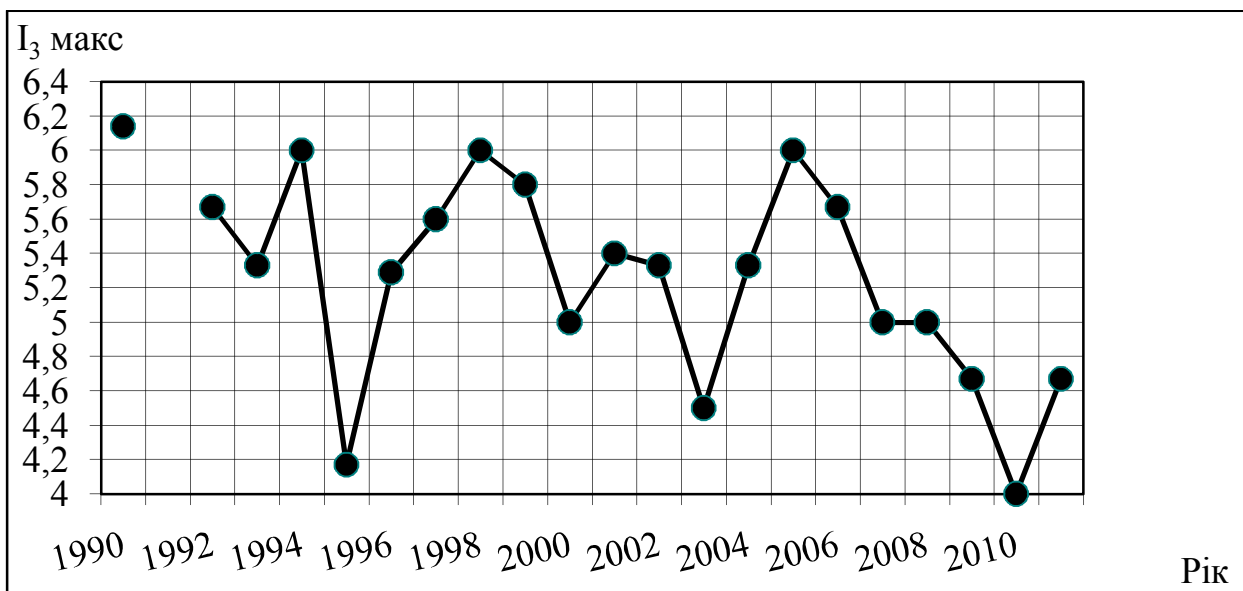


Рис. О.6 - Графік зміни максимальних значень показників блокового індексу специфічних речовин токсичної дії з 1990 по 2011 рр.

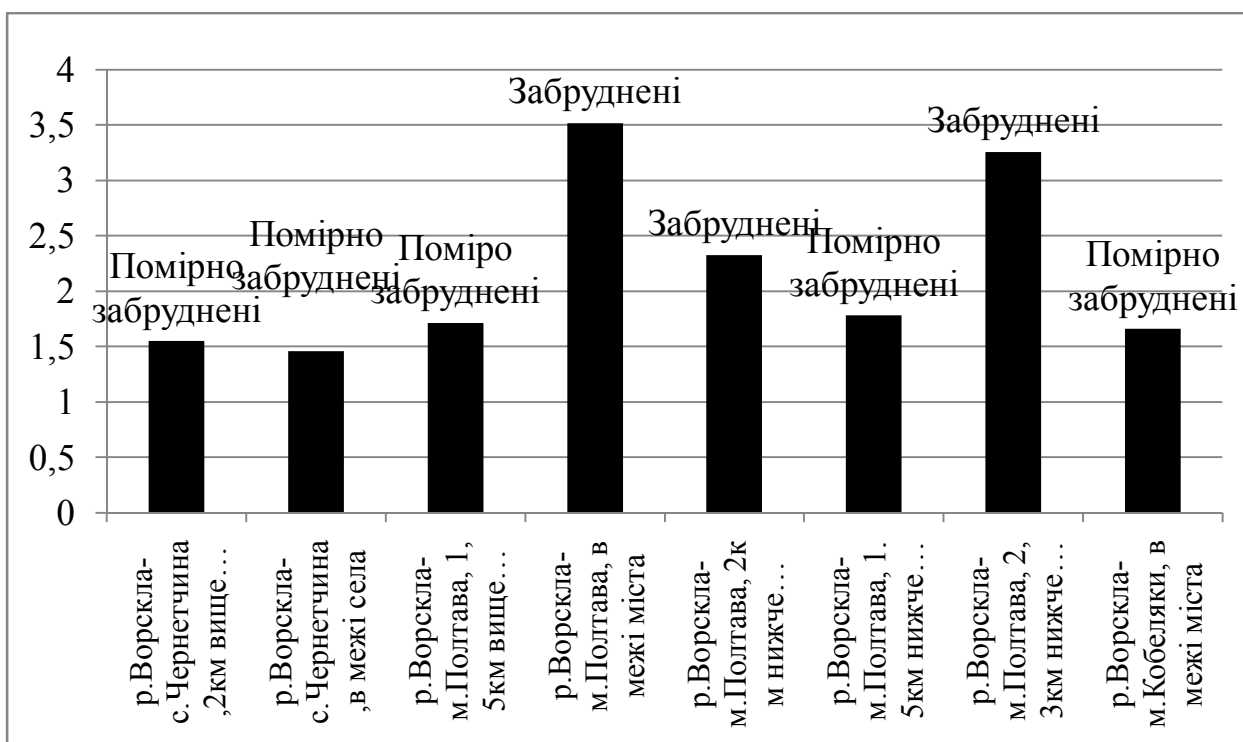


Рис.О.7- Зміна показника ІЗВ по довжині річки Ворскла (1992-2007рр).

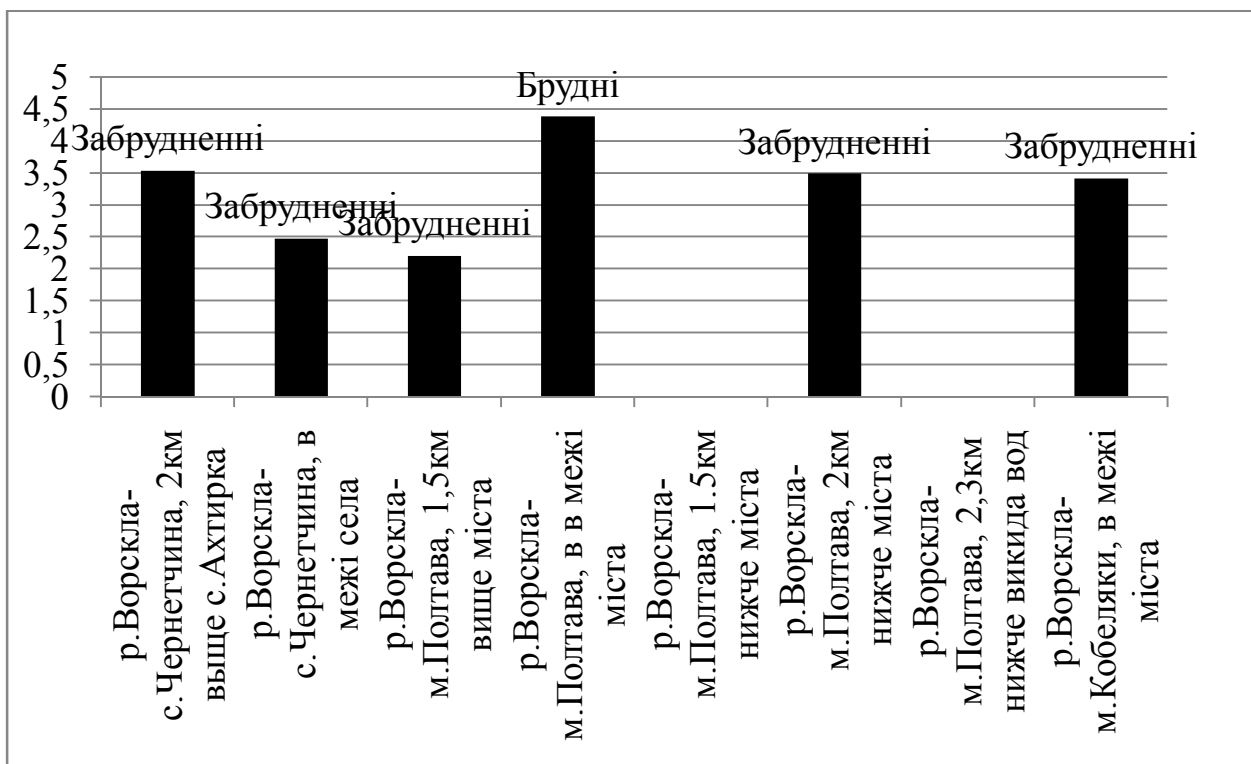


Рис.О.8- Зміна показників ІЗВ по довжині річки Ворскла (1992р., маловодний рік).

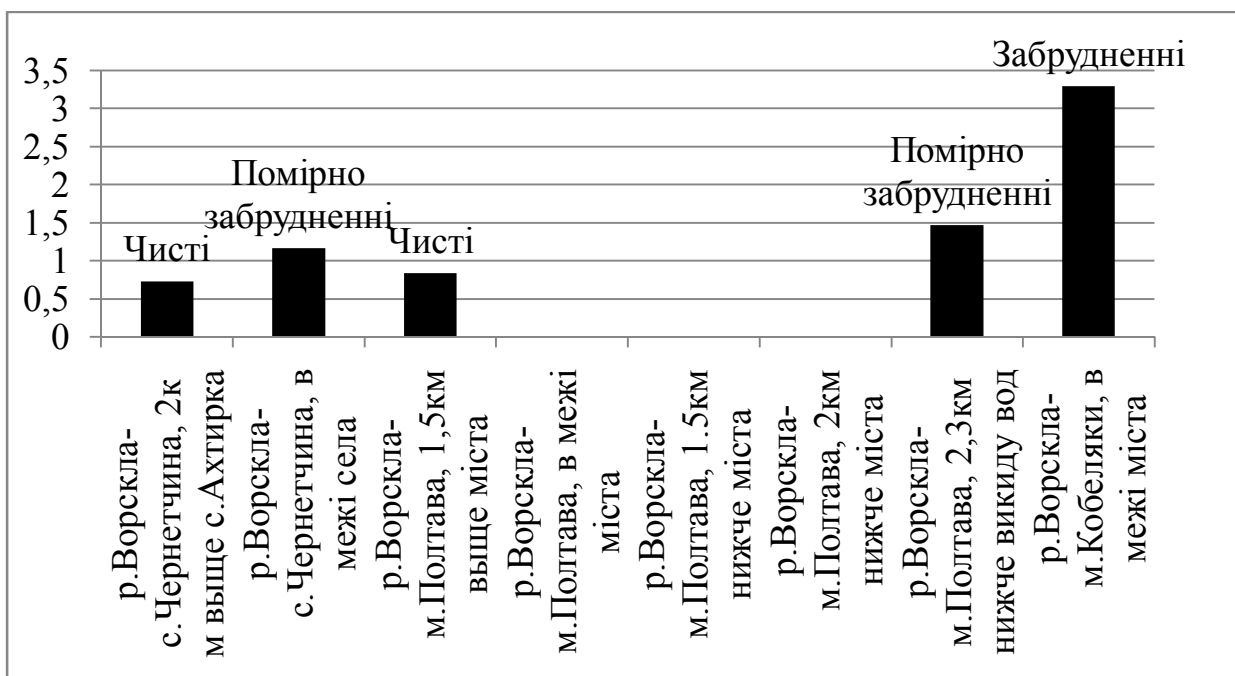


Рис.О.9–Зміна показників ІЗВ по довжині річки Ворскла (1996р., багатоводний рік).

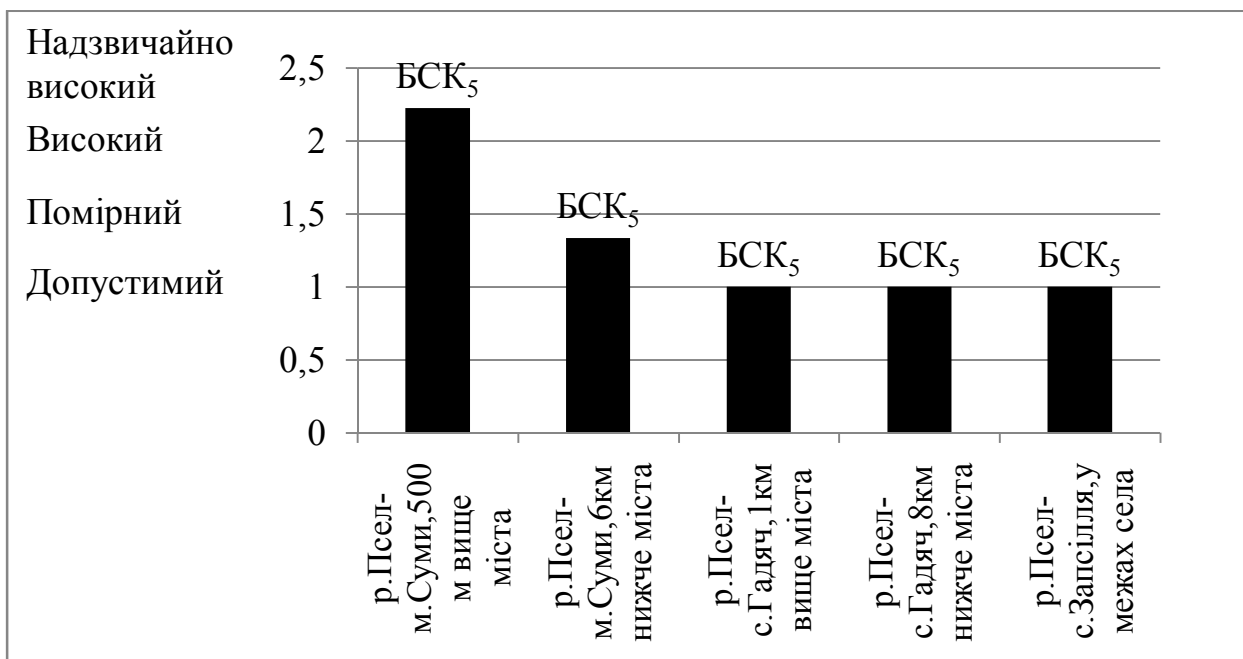


Рис. О.10 – Зміна показників критерію органолептичних властивостей по довжині р. Псел за багатоводний рік (1996р.); над діаграмою указуються речовини з найбільшим перевищенням ГДК

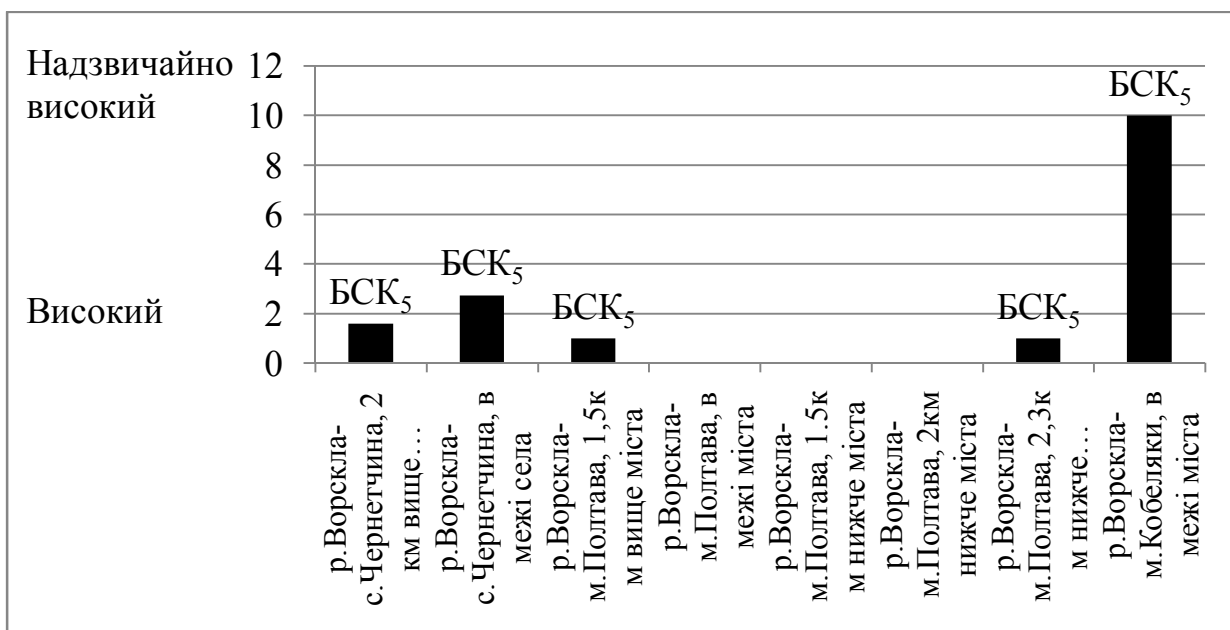


Рис.О.11- Динаміка органолептичного критерію по довжині р. Ворскла за багатоводний рік (1996р.); над діаграмою указуються речовини, концентрація яких значно перевищує ГДК

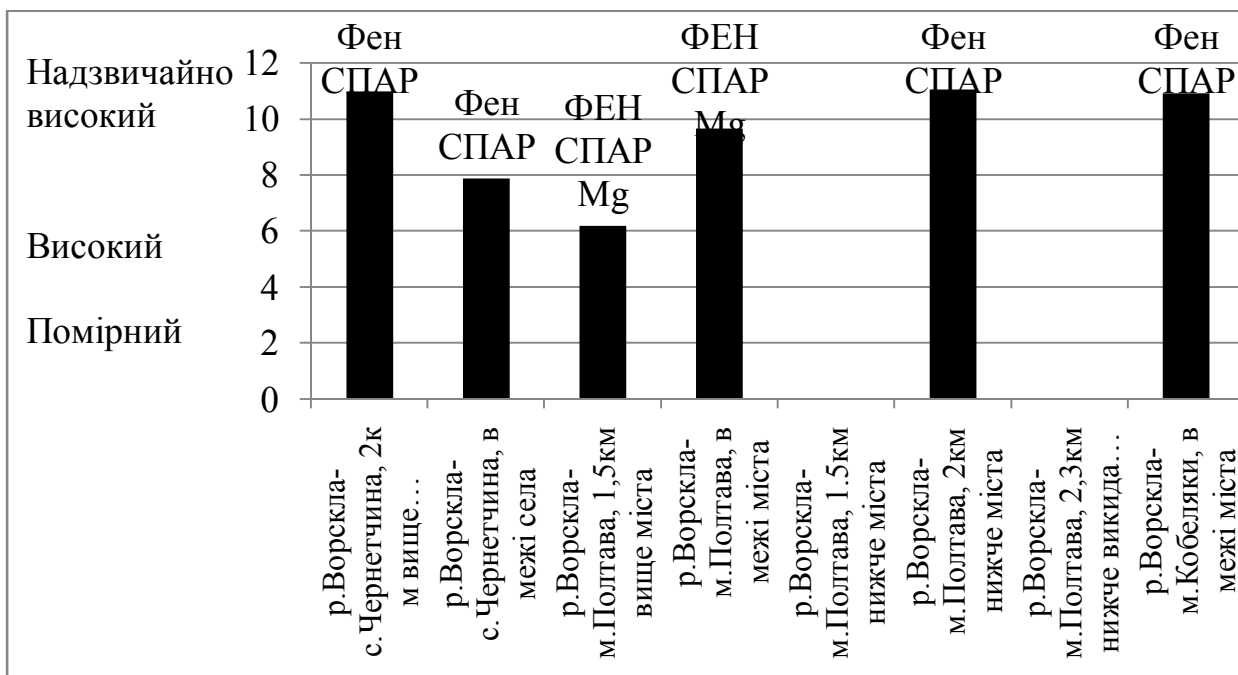


Рис.О.12- Динаміка критерію санітарного режиму по довжині р. Ворскла за маловодний рік (1992р.); над діаграмою указуються речовини з найбільшим перевищенням ГДК

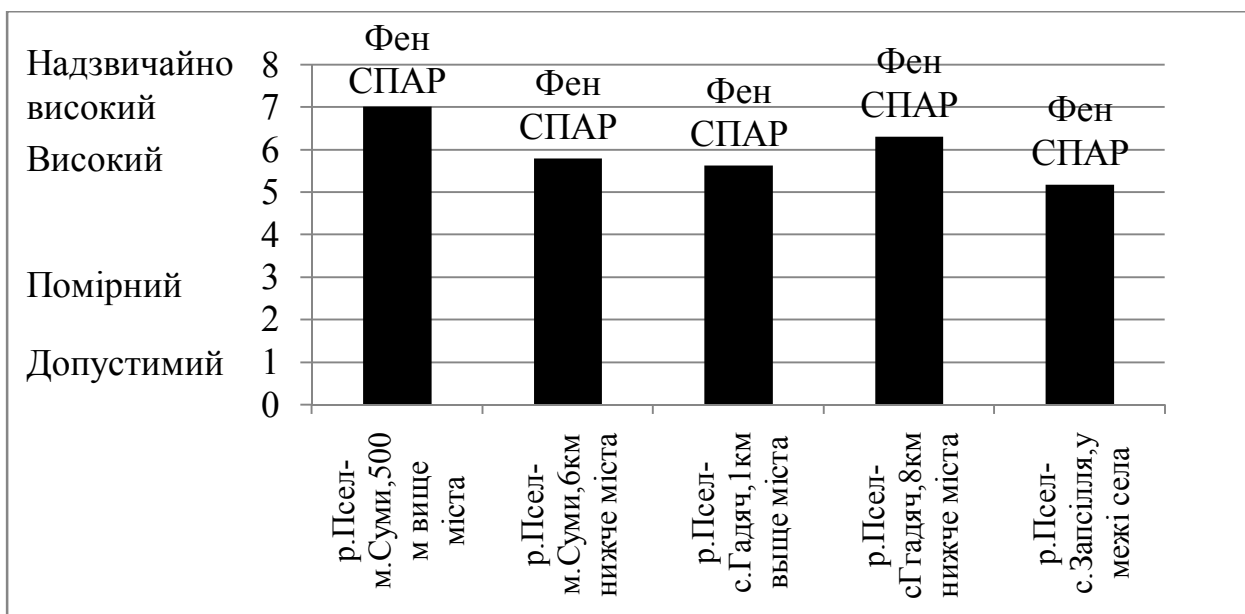


Рис. О.13- Динаміка критерію санітарного режиму по довжині р. Псел за середній по водності рік (1994р.); над діаграмою указуються речовини, концентрація яких значно перевищує ГДК

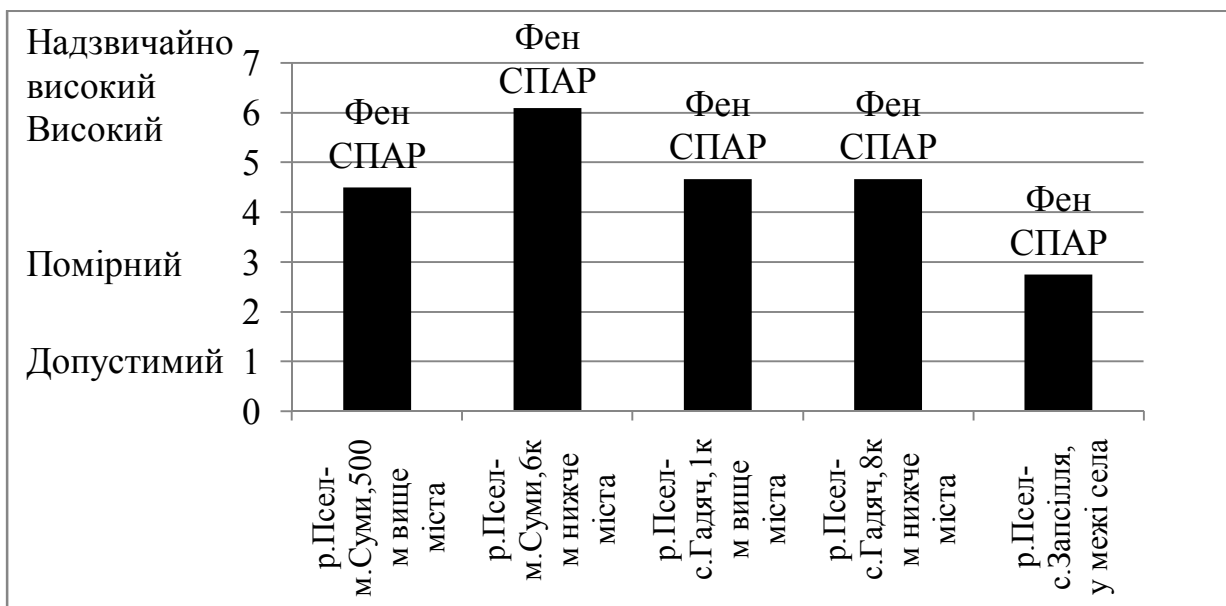


Рис О.14- Динаміка критерію санітарного режиму по довжині р. Псел за багатоводний рік (1996р.); над діаграмою указуються речовини, концентрація яких значно перевищує ГДК

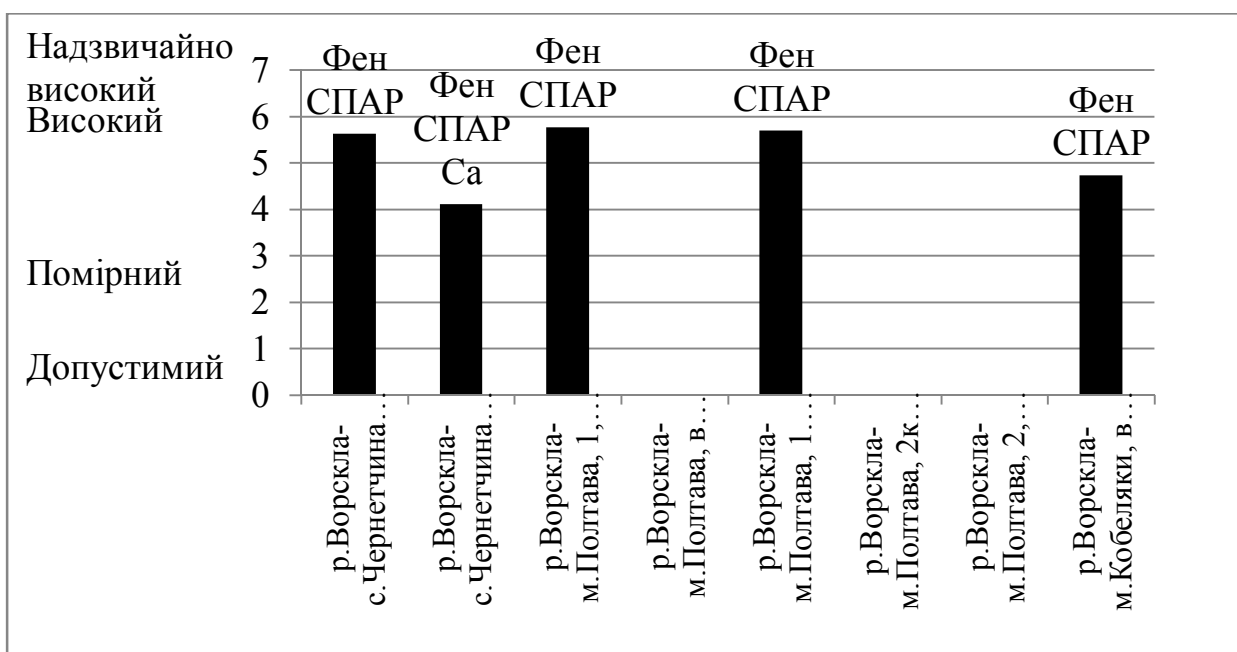


Рис.О.15- Динаміка критерію санітарного режиму по довжині р. Ворскла за середній по водності рік (1994р.); над діаграмою указуються речовини концентрація яких значно перевищує ГДК

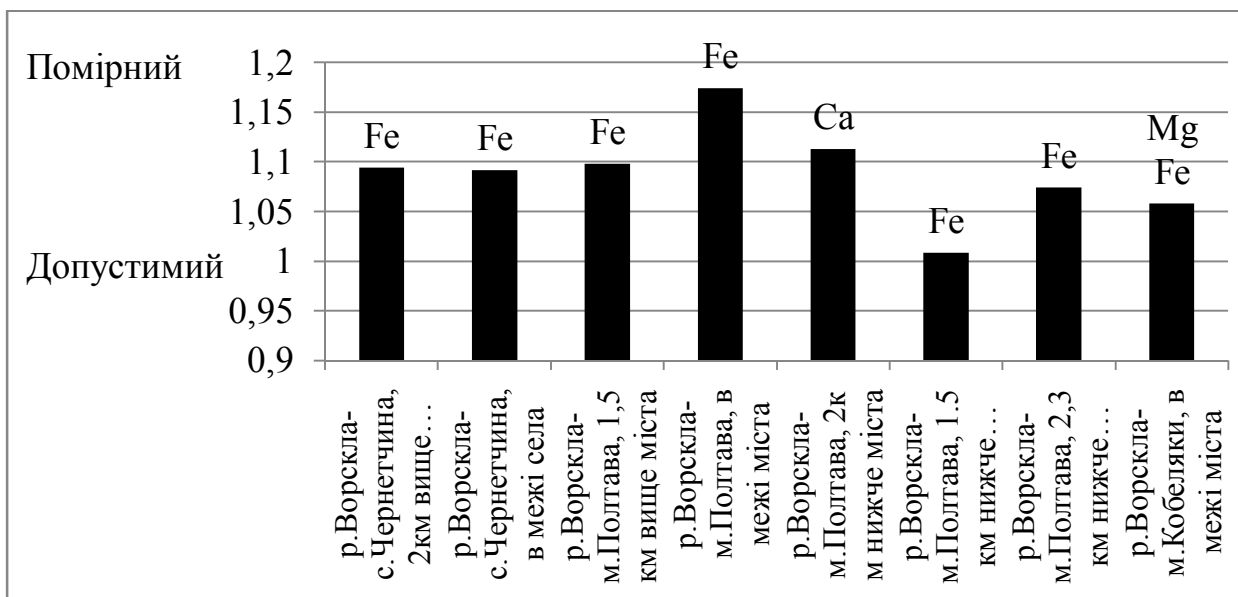


Рис.О.16 – Динаміка критерію санітарно-токсикологічного забруднення по довжині р. Ворскла за багаторічний період (1992-2007рр); над діаграмою указуються речовини концентрація яких значно перевищує ГДК

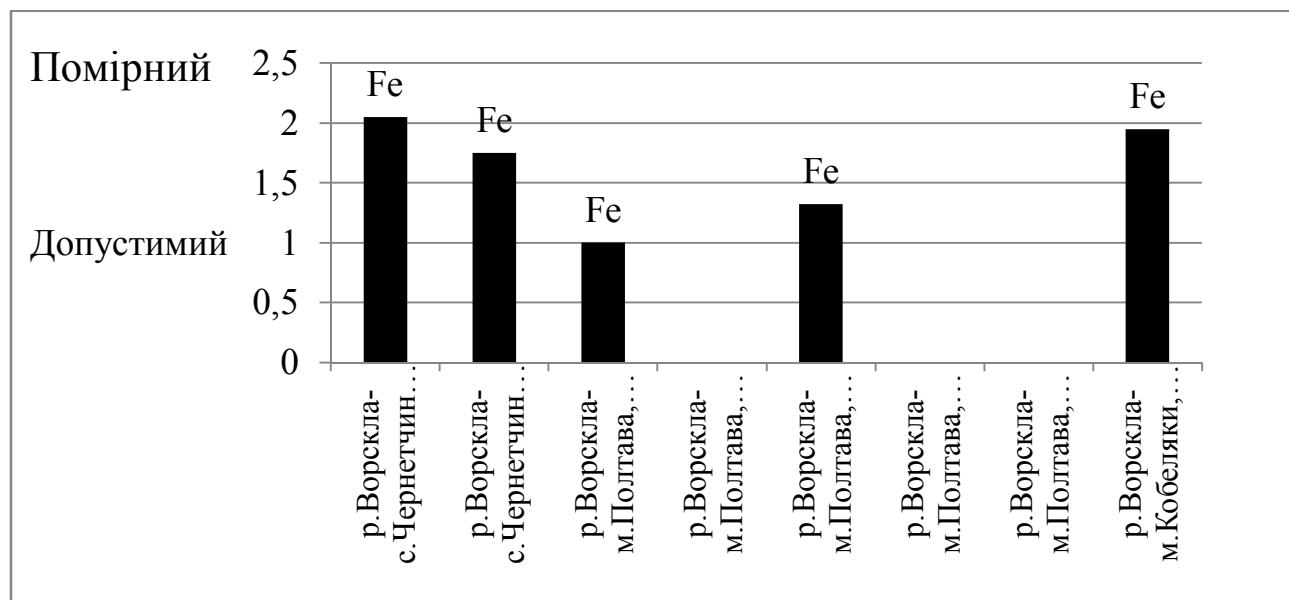


Рис.О.17 – Динаміка критерію санітарно-токсикологічного забруднення по довжині р. Ворскла за середній по водності рік (1994р.); над діаграмою указуються речовини концентрація яких значно перевищує ГДК

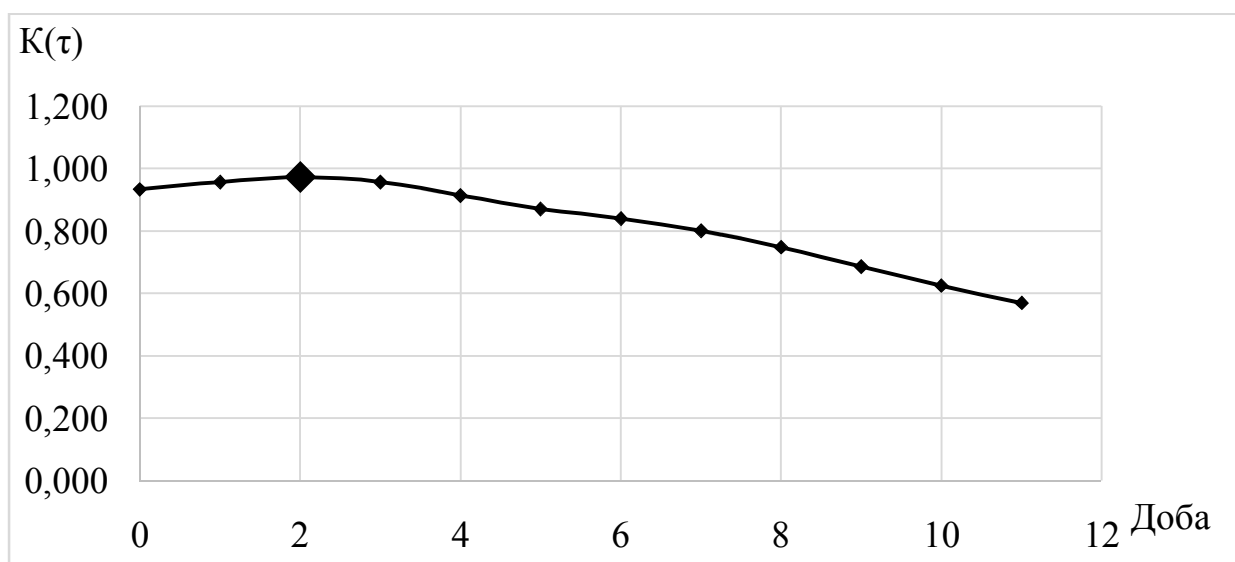


Рис.О.19 Хід взаємної кореляційної функції при зсуві у часі ряду стоку р. Псел – м. Обоянь відносно ряду стоку р. Псел – с. Крупець

Таблиця О.2

Значення взаємної кореляційної функції при різних τ (р. Псел м. Суми – м. Гадяч)

Зсув у часі τ , доба	Значення взаємної кореляційної функції $\tilde{K}(\tau)$
0	0,947
1	0,950
2	0,947
3	0,940

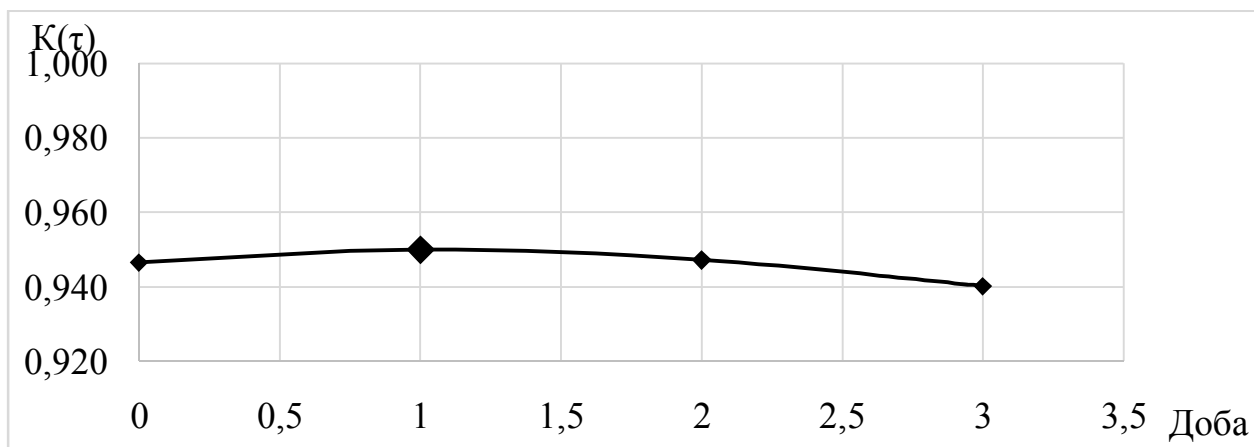


Рис. О.20 Хід взаємної кореляційної функції при зсуві у часі ряду стоку
р. Псел – м. Суми відносно ряду стоку р. Псел – м. Гадяч

Таблиця О.3

**Значення взаємної кореляційної функції при різних τ (р. Псел
м. Гадяч – с. Запсілля)**

Зсув у часі τ , доба	Значення взаємної кореляційної функції $\tilde{K}(\tau)$
0	0,845
1	0,863
2	0,880
3	0,896
4	0,910
5	0,922
6	0,931
7	0,936
8	0,939
9	0,940
10	0,939
11	0,934

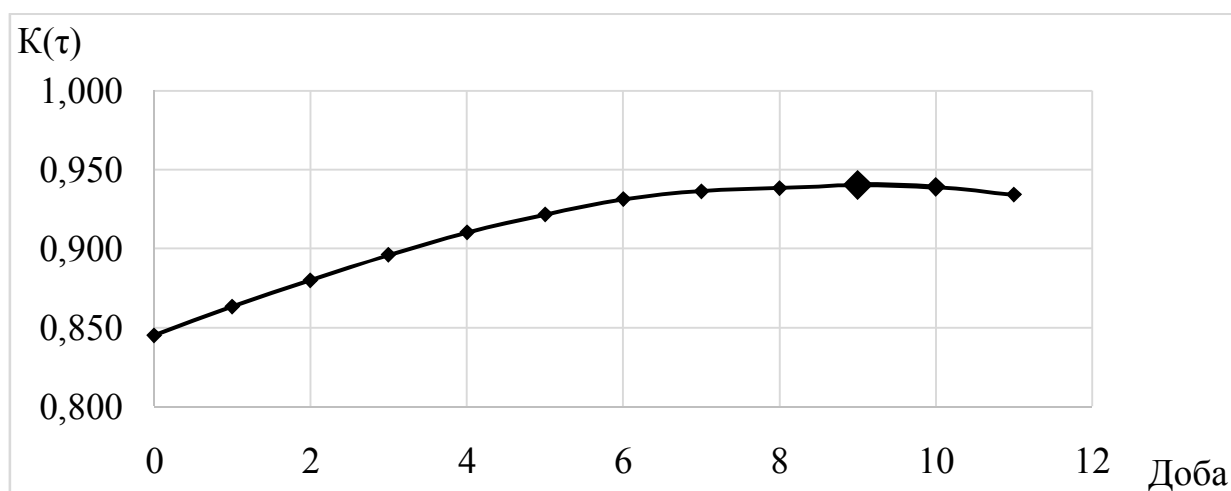


Рис. О.21 Хід взаємної кореляційної функції при зсуві у часі ряду стоку
р. Псел – м. Гадяч відносно ряду стоку р. Псел – с. Запсілля

Таблиця О.4

**Значення взаємної кореляційної функції при різних τ (р. Ворскла
с. Козинка – с. Чернеччина)**

Зсув у часі τ , доба	Значення взаємної кореляційної функції $\tilde{K}(\tau)$
0	0,703
1	0,768
2	0,801
3	0,791
4	0,734
5	0,648
6	0,565
7	0,495

**Значення взаємної кореляційної функції при різних τ (р. Ворскла
с. Чернеччина – м. Кобеляки)**

Зсув у часі τ , доба	Значення взаємної кореляційної функції $\tilde{K}(\tau)$
0	0,845
1	0,864
2	0,877
3	0,883
4	0,884
5	0,878
6	0,859
7	0,828

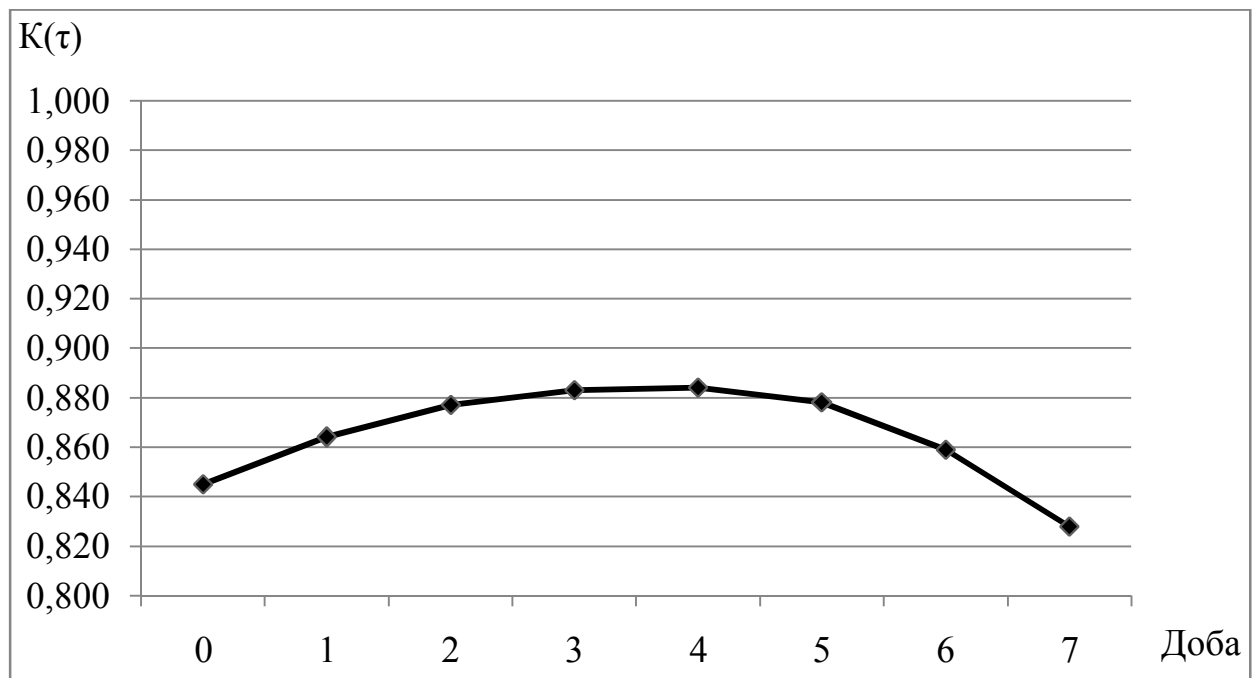


Рис.О.22 Хід взаємної кореляційної функції при зсуві у часі ряду
стоку р. Ворскла – с. Чернеччина відносно ряду стоку р. Ворскла –
м. Кобеляки

Рік	τ	Дата	Q_B	Q_H	Хімічна речовина	C_B мг/дм ³	C_H мг/дм ³	S_r , моль/м ³	CЗ, %
1994	11	9.11	11	19	Ca ²⁺	0.0964	0.0937	0.000006	2.80083
		20.11	11						
2007	11	5.05	17.1	41	Cl ⁻	79.4	66.3	0.033591	16.49874
		16.05	17.1	41	Mn	841	648		22.94887

Розрахунки показників самоочищення між створами р. Ворскла – м. Полтава та р. Ворскла – м. Кобеляки

[illegible]

1994	1	10.05	25	41	Mg ²⁺	0.033	0.0143	0.000769	56.66667
		10.05	25	41	Ca ²⁺	89	88.4	0.01497	0.674157
		10.05	25	41	Fe ²⁺	0.38	0.15	0.004118	60.52632
		10.05	25	41	Cu ²⁺	0.024	0.023	0.0000157	4.166667
		14.11	8.3	13.2	Mg ²⁺	0.0232	0.0154	0.000321	33.62069
		15.11	8.3	13.2	Ca ²⁺	96.4	92.8	0.08982	3.73444
1995	1	5.03	1	30	HCO ₃ ⁻	323	279		13.62229
		7.03	1		Ca ²⁺	107	10.3	2.412675	90.37383
1996	2	3.10	20	23	Mg ²⁺	0.0171	0.0143	0.0000576	16.37427
		5.10	20	23	SO ₄ ²⁻	110	102		7.272727
			20	23	Fe ²⁺	1.15	0.72	0.00385	37.3913
2000	2	12.12	12	20.4	Mg ²⁺	19	16.5	0.051409	13.15789
		14.12	12	20.4	Cl ⁻	66.6	42.9	0.334245	35.58559
			12	20.4	SO ₄ ²⁻	96.8	71.1		26.54959
			12	20.4	HCO ₃ ⁻	321	300		6.542056
			12	20.4	Ca ²⁺	105	100	0.062375	4.761905
			12	20.4	Mn	660	562		14.84848
2003	3	16.02	3	7	Mg ²⁺	0.0146	0.0102	0.0000603	30.13699
		19.02	3	7	SO ₄ ²⁻	94.1	82.6		12.22104
2004		11.03	30	75.7	SO ₄ ²⁻	120	91.3		23.91667
		13.04	29.1	61	Mg ²⁺	0.0117	0.0112	0.0000206	4.273504
		13.04							

Продовження таблиці О.7

2005	1	12.05	22	44.6	Mg ²⁺	0.0149	0.01	0.000202	32.88591
		12.05	22	44.6	Cl ⁻	93.6	41.1	1.480834	56.08974
			22	44.6	Мін	670	648		3.283582
	2	7.11	9.75		Cl ⁻	126	101	0.352579	19.84127
		9.11	9.75		Ca ²⁺	74.5	71.3	0.03992	4.295302
			9.75		Мін	874	681		22.08238

Таблиця О.8

**Розрахунки ступеня самоочищення після переходу до молів р. Псел -
м. Суми та р. Псел - с. Запсілля**

Рік	τ	Дата	Q _{ср}	Хімічна речовина	C _в моль/дм ³	C _н моль/дм ³	S _м	C _н (τ=10)
1994	11	9.11	15	Ca ²⁺	0.00240	0.00233	0.001	0.09394
	11	20.11						
2007	11	5.05	29.05	Cl ⁻	2.23958	1.87008	10.73	67.3957
	11	16.05	29.05	Мін				663.5411

Таблиця О.9

**Розрахунки ступеня самоочищення після переходу до молів р. Ворскла – м.
Полтава та р. Ворскла – м. Кобеляки**

Рік	τ	Дата	Q _{ср}	Хімічна речовина	C _в моль/дм ³	C _н моль/дм ³	S _м , моль/м ³
1991	1	20.03		Fe ²⁺	0.03814	0.018622	
	1	21.03		Cu ²⁺	0.0000944	0.0000629	

Продовження таблиці О.9

1992	4	16.03	20	Cl ⁻	2.191634	2.146504	0.902603
	4	20.03	20	SO ₄ ²⁻			
	1	16.07	20	Mg ²⁺	0.005017	0.001045	0.079457
	1	16.07	20	Ca ²⁺	1.823852	0.913174	18.21357
1993	2	10.05	25.3	HCO ₃ ⁻			
	2	12.05	25.3	MnH			
1994	1	10.05	33	Mg ²⁺	0.001357	0.000588	0.025379
	1	10.05	33	Ca ²⁺	2.220559	2.205589	0.494012
	1	10.05	33	Fe ²⁺	0.006804	0.002686	0.135907
	1	10.05	33	Cu ²⁺	0.000378	0.000362	0.000519
	1	14.11	10.75	Mg ²⁺	0.000954	0.000633	0.003448
	1	15.11	10.75	Ca ²⁺	2.40519	2.315369	0.965569
1995	1	5.03	1	Ca ²⁺	2.669661	0.256986	2.412675
	1	7.03					
1996	2	3.10	21.5	Mg ²⁺	0.000703	0.000588	0.002476
	2	5.10	21.5	SO ₄ ²⁻			
	2		21.5	Fe ²⁺	0.020592	0.012892	0.165542
2000	2	12.12	16.2	Mg ²⁺	0.781411	0.678593	1.665638
	2	14.12	16.2	Cl ⁻	1.878543	1.210053	10.82955
	2		16.2	SO ₄ ²⁻			
	2			HCO ₃ ⁻			

Продовження таблиці О.9

2003	3	16.02	5	Mg^{2+}	0.0006	0.000419	0.000905
	3	19.02	5	SO_4^{2-}			
2004	1	13.04	45.05	Mg^{2+}	0.000481	0.000461	0.000926
		13.04					
2005	1	12.05	33.3	Mg^{2+}	0.000613	0.000411	0.006711
	1	12.05	33.3	Cl^-	2.640115	1.159281	49.31176
	1		33.3	Мін			
	2	7.11	9.75	Cl^-	3.554001	2.848842	6.8753
	2	9.11	9.75	Ca^{2+}	1.858782	1.778942	0.778443
	2		9.75	Мін			

Таблиця О.10

Розрахунки показників самоочищення (Коефіцієнта Стрітера, прогнозні значення) р. Псел - м. Суми - р. Псел - с. Запсілля

Рік	Дата	Хімічна речовина	C_v мг/дм ³	$K_{C\text{Стриттер}}$	$C_n(\tau=10)$
1994	9.11	Ca^{2+}	0.0964	0.00258	0.093942
	20.11				
2007	5.05	Cl^-	79.4	0.016373	67.39572
	16.05	Мін	841	0.023673	663.5411

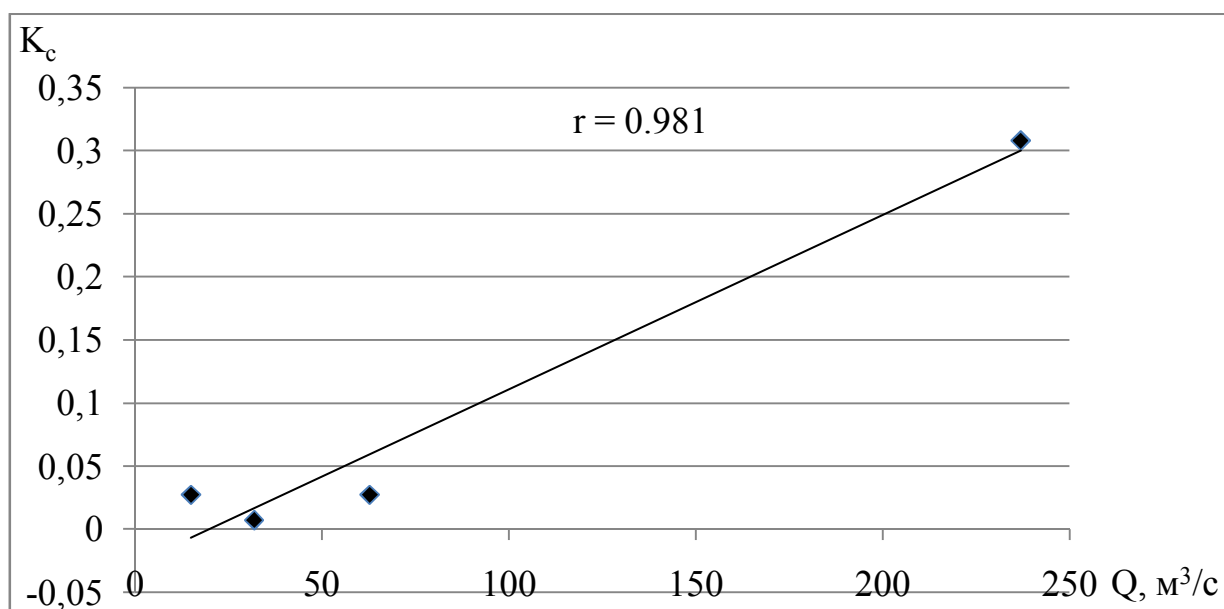


Рис. О.23 Залежність сумарного коефіцієнта самоочищення для N на ділянці м. Суми – с. Запсілля від витрат води у нижньому створі(р. Псел-с. Запсілля)

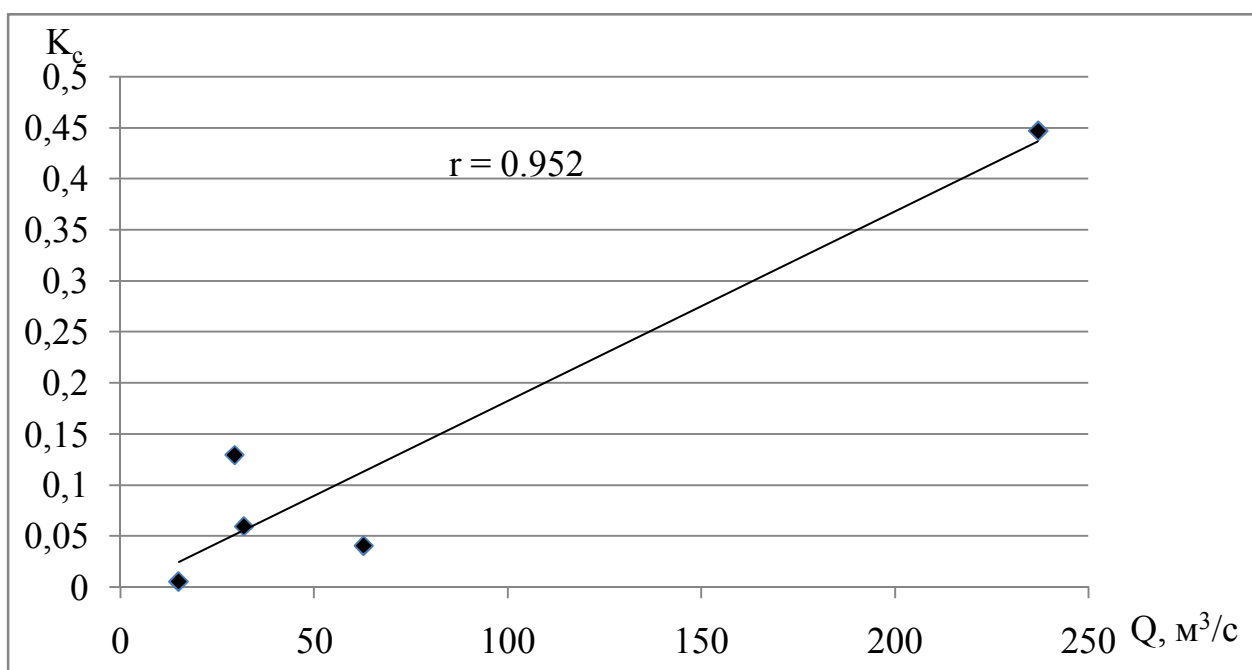


Рис. О.24 Залежність сумарного коефіцієнта самоочищення для NH_4 на ділянці м. Суми – с. Запсілля від витрат води у нижньому створі (р. Псел - с. Запсілля)

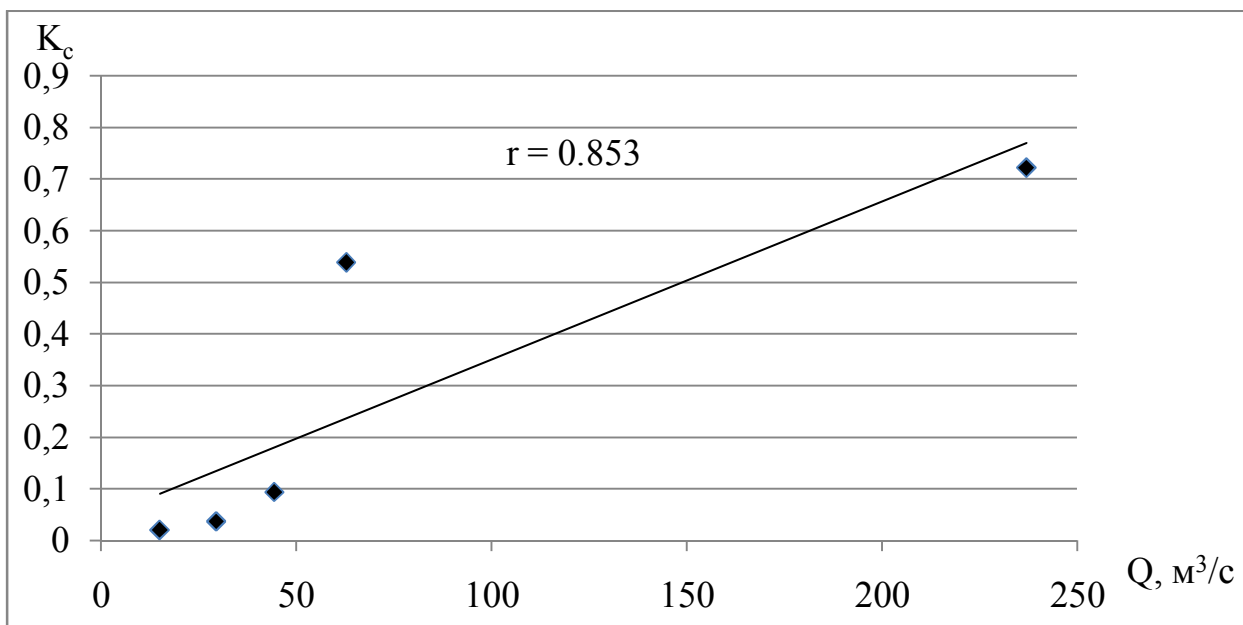


Рис. О.25 Залежність сумарного коефіцієнта самоочищення для NO_2 на ділянці м. Суми – с. Запсілля від витрат води у нижньому створу (р. Псел - с. Запсілля)

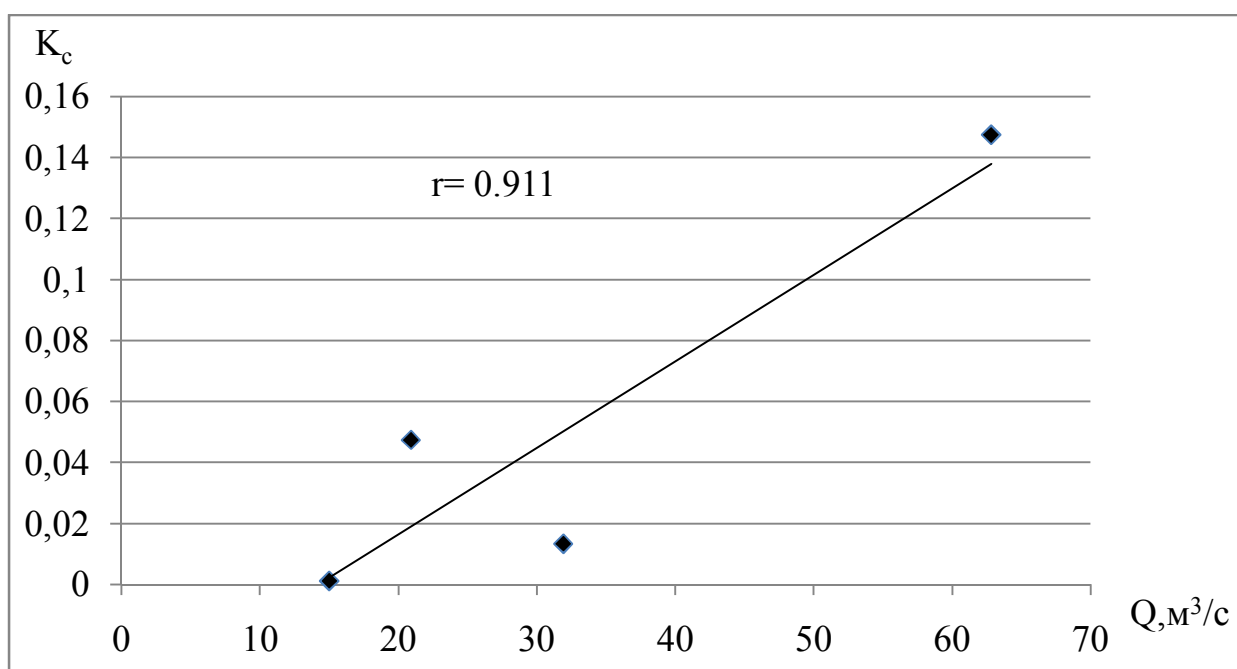


Рис. О.26 - Залежність сумарного коефіцієнта самоочищення для Si на ділянці м. Суми – с. Запсілля від витрат води у нижньому створу(р. Псел - с. Запсілля)

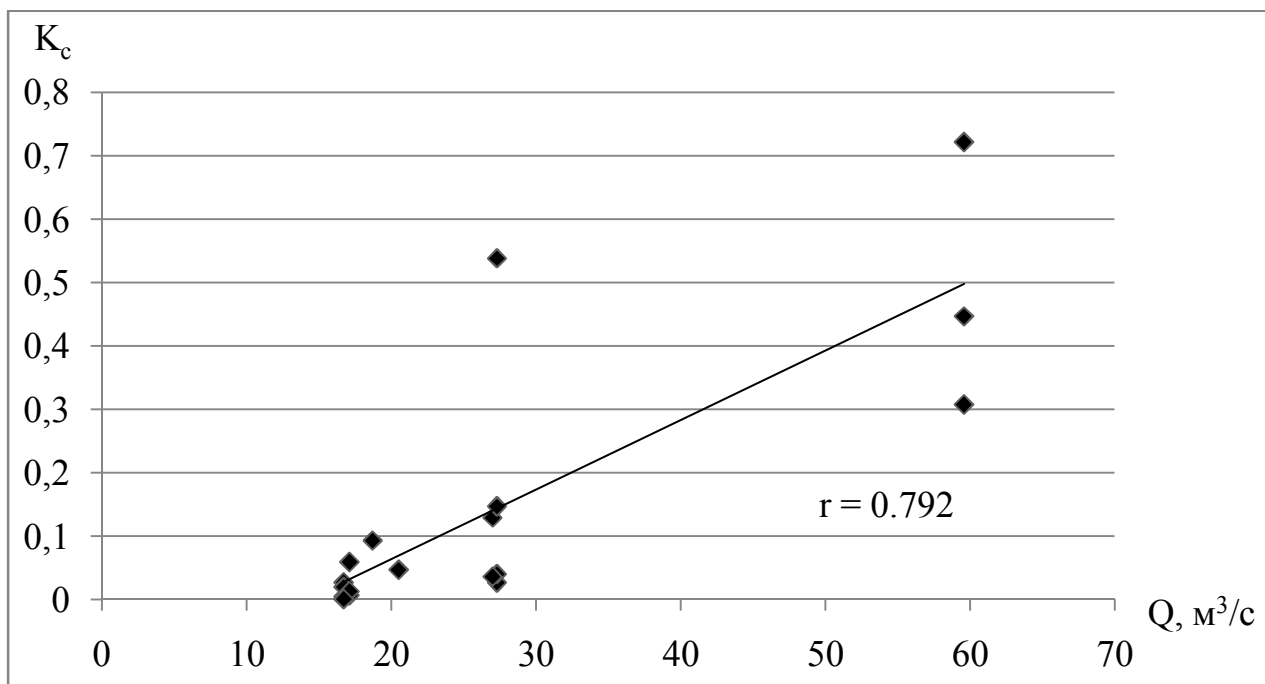


Рис. О.27 Залежність сумарного коефіцієнта самоочищення на ділянці м. Суми – с. Запсілля від витрат води у нижньому створу(р. Псел - с. Запсілля)