

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ РІЧОК УДИ І ОСКІЛ В ХАРКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

О. В. Рыбалова¹, С. Р. Артем'єв¹, О. В. Ільїнський¹, О. В. Бригада¹, О. О. Бондаренко¹¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

УДК 910.3:502.3

DOI: 10.52363/2522-1892.2022.2.7

Отримано: 15 вересня 2022

Прийнято: 25 листопада 2022

Cite as: Rybalova O., Artemiev S., Ilinskyi O., Bryhada O., Bondarenko A. (2022). Determination of the impact of climate changes on the water ecosystems of the Udy and Oskil rivers in Kharkiv region. Technogenic and ecological safety, 12(2/2022), 51–64. doi: 10.52363/2522-1892.2022.2.7

Анотація

В роботі дана оцінка екологічного стану річок Уди і Оскіл і досліджено зміни кліматичних показників у Харківській області шляхом побудови прогнозних моделей методом Хольта-Вінтерса на основі даних, накопичених до початку повномасштабної агресії росії проти України. На основі багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу визначено фактори, що мають найбільший вплив на екологічний стан річок Оскіл і Уди. Визначення кореляційних залежностей спрямовано на впровадження превентивних адаптивних заходів. Результати дослідження можуть бути використані при визначенні пріоритетних проблем і науковому обґрунтуванні водоохоронних заходів, а також можливості виокремлення та ідентифікації впливу воєнних дій за гідрохімічними і гідрологічними показниками якісного стану поверхневих вод, за різницею між прогнозованими та фактичними даними, що є практичною значимістю роботи.

Ключові слова: кліматичні зміни, водні екосистеми, прогноз, модель Хольта-Вінтерса, Харківська область.

1. Постановка проблеми

Загроза змін клімату і забруднення навколишнього природного середовища є одними з основних світових проблемам сьогодення. Однією з головних причин виникнення цих проблем є антропогенний тиск на довкілля. Зміна клімату – це тема великого значення, яка широко обговорюється політиками, бізнесменами, екологами, суспільством та засобами масової інформації.

Окрім того, розпочата росією повномасштабна збройна агресія проти України і пов'язані з нею воєнні дії створюють додатковий довгостроковий тиск на навколишнє природне середовище за багатьма факторами впливу. Тому прогнозування стану, що базується на даних мирного часу, дасть змогу оцінити вплив і наслідки воєнних дій за різницею між прогнозованими і фактичними параметрами довкілля.

За даними українського Гідрометцентру за останні 30 років спостерігається стрімке підвищення середньорічної температури повітря по всій території України на 1,2°C. Зміна клімату на території України підвищує ризики збільшення захворюваності населення, деградації екосистем, сталого функціонування енергетичної інфраструктури та агропромислового комплексу, що може завдати і вже завдає економічних збитків.

Україна належить до країн з недостатнім водо-забезпеченням, і саме тому проблеми зміни обсягів водного стоку можуть мати негативний вплив на економічний та соціальний розвиток нашої країни.

Підвищення температури призводить до зменшення концентрації розчиненого кисню у воді,

зниження здатності прісноводних акваторій до самоочищення, загибелі риби, розвитку інвазій і впливає на якість води і здоров'я населення.

Харківська область є одним з найбільших промислових регіонів України, що обумовлює антропогенний вплив на зростання температури і забруднення атмосферного повітря, погіршення якості поверхневих і підземних вод, ґрунтів і питної води.

Харківська область розташована на вододілі двох річкових басейнів – Сіверського Донця та Дніпра і має надзвичайно низьку забезпеченість водними ресурсами. Екологічний стан водних об'єктів басейну річки Сіверський Донець, який є основною водною артерією Харківської області, за середніми рівнями показників відноситься до III класу якості (забруднені води), що обумовлено інтенсивним використанням поверхневих водних ресурсів та надмірним антропогенним навантаженням [1]. Річки Уди і Оскіл є найбільшими притоками басейну Сіверського Донця, мають транскордонне значення і протікають територією індустріально розвинутого регіону, що призводить до великого антропогенного навантаження на водні екосистеми.

Вплив змін клімату на водні екосистеми і збільшення захворюваності населення викликає занепокоєння і обумовлює актуальність проведення дослідження, яке представлено в цій статті.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зміна клімату має багато наслідків для навколишнього природного середовища і здоров'я населення.

В роботі [2] оцінено сім досліджень щодо мінливості клімату та його впливу на довкілля і здоров'я людей у місті Буенос-Айрес у період з 1995 по 2015 роки. Було розглянуто фактори впливу, невіршені питання та державну політику щодо викликів, пов'язаних зі зміною клімату з метою покращення стану навколишнього природного середовища і умов життя населення.

Очевидні кліматичні зміни за рахунок зростання середніх температур повітря і збільшення мінливості опадів мають суттєвий вплив на формування якості поверхневих вод. Існує велика кількість робіт, в яких прогнозується, що зміна клімату може мати далекосяжні наслідки на якість води [3, 4] та біотичну складову водних екосистем [5, 6].

Багато екосистем, особливо ліс і водно-болотні угіддя, також знаходяться під загрозою кліматичних змін, що, в свою чергу, призводить до скорочення біорізноманіття [7].

При розробці планів та проектів розвитку областей, районів та об'єднаних територіальних громад, при плануванні природоохоронних заходів необхідно враховувати нові загрози та ризики, пов'язані з прогнозом кліматичних змін і їх впливом на довкілля [8].

Протягом останніх 20-30 років вчені у всьому світі приділяли особливу увагу вивченню та прогнозуванню можливих тенденцій змін водного стоку річок, пов'язаних з теорією зміни клімату внаслідок підвищення концентрації вуглекислого газу в атмосфері [9-10]. Всі різні методи прогнозування можна згрупувати в чотири основні групи:

1. Аналіз довгострокових рядів спостережень та досліджень палеогеографічних даних для можливого виявлення тенденцій (трендів);

2. Дослідження чутливості гідрологічних моделей (наприклад, визначення того, наскільки змінюється річний стік води, коли річні опади змінюються на певну величину);

3. Використання глобальних та регіональних прогнозів моделей загальної циркуляції атмосфери та океану (МЗЦАО) в якості вихідних даних для гідрологічної моделі. В більшості випадків гідрологічні моделі вимагають розширювальної здатності на басейновому рівні, чого не можуть забезпечити існуючі МЗЦАО. Тому зазвичай використовуються різні методи зниження розміру (downscaling) моделі [11]. Для кращих результатів досліджень в цій області використовували геоінформаційні технології для моделювання стоку річок [12].

4. Пошук аналогічних досліджень проведених на основі існуючих гідрологічних даних та прогнозування подібних сценаріїв розвитку ситуацій.

В Україні тенденції впливу змін клімату на водні ресурси вивчали шляхом прогнозування загальних моделей циркуляції атмосфери та океану і дослідженнями в даній області займались багато науковців.

У роботах [13, 14] використано модель «клімат-стік» за даними МЗЦАО 4 сценаріїв: CCCM – модель Канадського кліматичного центру; UKMO – модель метеорологічного бюро Великобританії; GFDL – модель лабораторії геофізичної гідродинаміки США; GISS – модель Інституту космічних досліджень Годарда. Загалом отримані прогнози свідчать про зменшення водного стоку річок. Так, для басейну р. Дніпро (лісова зона) на період 2030–2040 рр. зниження стоку може досягнути 29 %, р. Дністер – 37 %. В степовому регіоні України в проміжку між 2030 та 2040 роками, за прогнозом, стік буде зменшений до 40 %, а до 2070–2080 рр. відбудеться повне його знищення.

У дослідженні [15] прогнозовано можливі зміни стоку річок України за допомогою глобальної кліматичної моделі REMO та воднобалансової моделі L. Turc, адаптованої до українських річок. Автори роблять висновки, що протягом 21 століття водний стік більшості річок України буде значно зменшуватись, а деякі річки можуть повністю зникнути (річки Самара, Сула).

В прогнозі [16] водного стоку з водозбору р. Західний Буг використано модель за даними глобальної та регіональної моделі ECHAM та REMO. Загалом показано, що з 2053 по 2080 роки прогнозується зменшення опадів, а температура, швидкість вітру, відносна вологість та глобальна радіація збільшуватимуться.

У роботі [17] було проведено оцінку зміни стоку в басейні річки Дністер. Прогноз було виконано також згідно з глобальною кліматичною моделлю REMO. Водний стік змодельований на основі модуля моделі Rainfall-Runoff програмного комплексу моделювання Mike 11 (Данія), адаптованого до типових басейнів річки Дністер. Було прогнозовано, що до середини 21 століття стік річок в Карпатському та Волино-Подільському районах басейну річки Дністер залишається незмінним. Зниження середньорічного стоку (приблизно на 24%) можна очікувати лише у нижній частині Дністра.

Найбільш поширеним напрямком досліджень впливу зміни клімату на водні ресурси через глобальне потепління є використання глобальних та регіональних прогнозів МЗЦАО як вихідних даних для гідрологічних моделей.

МЗЦАО мають багато розбіжностей і іноді прогнозують дуже різні результати, тому майже неможливо реально відтворити кліматичні характеристики за інтервалом менше 20 років. Адекватні результати можна отримати лише шляхом осереднення даних моделювання за 20–30 років. Крім того, МЗЦАО не беруть до уваги природні циклічні зміни клімату, що може впливати на достовірність майбутніх оцінок [18].

Необхідно зазначити, що на процеси формування якості води впливає антропогенне навантаження, кліматичні чинники, ландшафтно-екологічні та фізико-географічні особливості річкових басейнів.

У роботі [19] вказано, що багатофакторність процесу формування якості води обумовлює

складність його вивчення. Також проблему у дослідженні цих процесів створює відсутність надійних теоретичних та методичних розробок, інструментальних методів, що ускладнює спроби розкриття механізмів формування якості води, які мають за мету удосконалення управління водоохороною діяльністю.

Аналіз літератури показав значну кількість досліджень впливу кліматичних змін на якісні та кількісні характеристики водних ресурсів [20, 21]. Результати таких робіт свідчать про неоднорідність впливу кліматичних змін і неоднозначність їх впливу на різні водні об'єкти, тому при плануванні водоохоронних заходів необхідним є дослідження природних умов формування обраного водного об'єкту.

Ретроспективне порівняння результатів спостережень за змінами кліматичних показників у Дніпропетровській області [22] за період 1886–1937 рр. та 1961–2015 рр. виявило підвищення середньорічної температури на $0,6^{\circ}\text{C}$, скорочення тривалості літнього та зимового сезонів та збільшення – весняного та осіннього. Також відзначено збільшення середньорічної кількості атмосферних опадів – з 477 мм до 541 мм, які випадають в останні роки дуже нерівномірно, особливо у літній сезон.

3. Постановка завдання та його вирішення

Нерівнозначність умов і факторів впливу на формування якості водних об'єктів створює необхідність проведення досліджень тих чинників, що мають найбільший вплив. Актуальність таких досліджень обумовлена тим, що в сучасних умовах кліматичних змін і інтенсивного використання водних ресурсів необхідним є визначення найбільш джерел забруднення поверхневих вод з метою розробки комплексу природоохоронних заходів.

Метою роботи є визначення значимих факторів впливу на формування якісного стану поверхневих вод річок Уди і Оскіл в умовах кліматичних змін на основі багатфакторного кореляційно-регресійного аналізу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення наступних завдань:

– дослідити багаторічні кліматичні зміни у Харківській області за факторами, що мають найбільший вплив на формування якісного стану водних об'єктів і зміну гідрологічних і гідрохімічних показників річок Уди і Оскіл з побудовою прогнозних моделей методом Хольта-Вінтерса;

– визначити значимість природних і антропогенних факторів, що впливають на якісний стан поверхневих вод р. Уди і р. Оскіл на основі кореляційно-регресійного аналізу.

Клімат Харкова помірно-континентальний з помірно холодною зимою і тривалим, часом посушливим, жарким літом. Середньорічна температура повітря становить $8,1^{\circ}\text{C}$. Річна кількість опадів – 517 мм. За класифікацією Кеппена, клімат Харкова відноситься до класу

Dfb0. Місто знаходиться майже на межі зон лісостепу і степу, випаровуваність помітно перевищує опади, особливо влітку.

Опади в місті випадають досить рівномірно. Як і в усьому помірному поясі, опадів випадає найбільше в літні місяці, що пов'язано головним чином із переміщенням Сонця по екліптиці: його високе положення над горизонтом стимулює випаровування вологи і формування дощів і гроз. Найбільш вологі місяці – червень та липень, найбільш сухі місяці – лютий – квітень. Причина цього в малій активності циклонів і в недостатній ще енергії Сонця для утворення конвекції. В цілому, зволоження міста недостатнє. Атмосферна посуха порівняно часто явище і може виникати неодноразово протягом року.

На території Харківської області розташовано 10 гідрометеорологічних станцій: метеостанції в м. Золочів, смт. Великий Бурлук, м. Богодухів, м. Куп'янськ, смт. Коломак, м. Красноград, смт. Комсомольське, м. Ізюм, смт. Лозова та м. Харків.

Аналіз інформації метеорологічних спостережень за останні 60 років за даними Харківського регіонального центру з гідрометеорології (далі ХРЦГМ) [23] та Регіональних доповідей про стан навколишнього природного середовища в Харківській області [24] показує, що клімат зараз знаходиться в стадії змін, причиною яких є природні фактори, а також антропогенний тиск на навколишнє природне середовище. Ці зміни призводять до небезпечних метеорологічних і кліматичних явищ, і як наслідок – до несприятливих умов для життя і діяльності людини і негативного впливу на стабільність екосистем.

Спостереження за середньорічною температурою в Харківській області (за даними ХРЦГМ) показали, що за цей період середньорічна температура в місті Куп'янськ збільшилась на $3,29^{\circ}\text{C}$ – з $6,08^{\circ}\text{C}$ у 1969 році до $9,37^{\circ}\text{C}$ у 2019 році (рис.1).

Аналіз середньорічної температури в Харківській області за даними ХРЦГМ з 1991 по 2019 роки показав, що за цей проміжок часу середньорічна температура в Харківській області збільшилась на $3,4^{\circ}\text{C}$ – з $6,7^{\circ}\text{C}$ (мінімальна) у 1997 році до $10,1^{\circ}\text{C}$ (максимальна) у 2019 році.

Самим теплим річним проміжком є часовий інтервал із другої декади липня по першу декаду серпня, а самої холодної є остання декада січня й перша декада лютого. Середньодобові негативні температури спостерігаються з останньої декади листопаду по другу декаду березня.

У цілому ж літо стало суттєво більш жарке, а зими – більш м'які. Так, вересень і травень стали в більшості років додатковими літніми місяцями, таким чином, тривалість кліматичного літа в місті продовжує зростати й наближається до 5 місяців. Листопад і березень же звичайно мають середню плюсову температуру. Середня температура лютого практично підійшла впритул до січневої: викликане це зниженням активності Атлантики в передвесняний період.

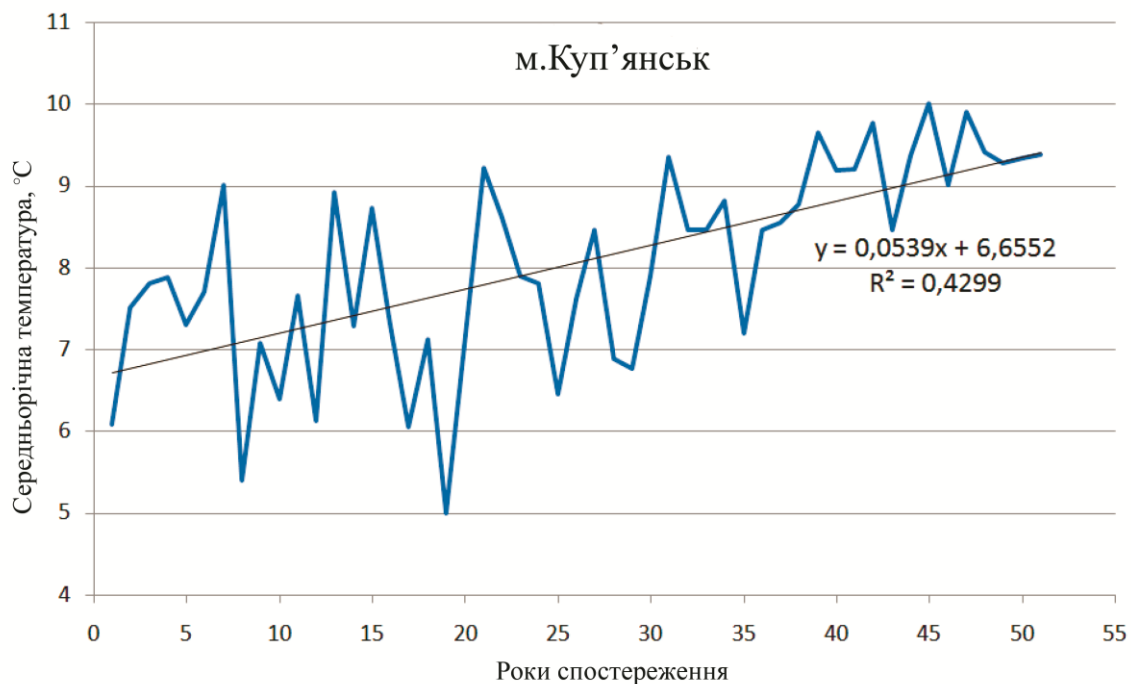


Рисунок 1 – Динаміка зміни середньорічної температури в місті Куп'янськ за період з 1969 року по 2019 рік

Опади в місті випадають досить рівномірно. Як і у всьому помірному поясі, опадів випадає найбільше в літні місяці, зв'язане це головним чином з переміщенням Сонця по екліптиці, його високе положення над обрієм стимулює випар вологи й формування дощів і гроз. Самий вологий місяць – липень, у нормі якого 67 мм опадів.

В інші сезони опади випадають досить рівномірно. Серпень сухіше інших літніх місяців, пов'язане це із установленням стійкого антициклону. Із серпня по січень випадає від 35 до 45 мм. Самі сухі місяці – передвесняні (лютий-квітень). Причина це в малій активності Атлантики й у недостатній ще енергії Сонця. У березні опадів випадає в середньому 27 мм.

Річна кількість опадів теж мінлива: за період серійних метеоспостережень у місті їх кількість варіювала від 319 мм (1957 рік) до 754 мм (1970 рік). Ще більше опадів було в 1879 г (898 мм), а ще менше – 279 мм у 1921 році. Така мінливість свідчить про те, що в місті періодично можуть відбуватися як посухи, так і повені. Часто протягом року опади розподілені нерівномірно, і одні місяці можуть бути набагато сухіше середньої норми, інші – на порядок вологіше.

У цілому зволоження міста Харків недостатньо, випаровуваність перевищує зволоження. Тому місто іноді зустрічається із проблемою недостатнього зволоження ґрунту (ґрунтової посухи). Атмосферна посуха – порівняно часто явище й може відбуватися неодноразово протягом року.

Невеликі й середні відхилення від норми бувають часто, чітко в межах норми температура повітря звичайно не зберігається. Відхилення від середнього значення норми температури може в будь-якому напрямку й у будь-яку пору року.

Спостереження за кількістю середньорічних опадів в місті Куп'янськ Харківській області за даними ХРЦГМ з 1969 по 2019 роки показали незначну тенденцію до зменшення кількості опадів з 1969 року до 528 мм у 2019 році (рис. 2).

Дослідження змін клімату та показників якості поверхневих вод за період з 1969 року по 2019 рік показало, що вони різко змінюються за часом. Тому для прогнозування зміни температури, обсягів осадів в Харківській області та гідрологічних і гідрохімічних показників в річках Уди і Оскіл застосовано метод Хольта-Вінтерса.

Вінтерс (Winters) удосконалив метод Хольта (С.С.Holt) подвійного експонентного згладжування шляхом урахування сезонності коливань. Тому потрібне експонентне згладжування називають ще методом Хольта-Вінтерса (Holt-Winters method).

Метод прогнозування Хольта-Вінтерса використовують для середньострокових та довгострокових прогнозів, оскільки він здатний знаходити мікротренди (тренди які належать до коротких періодів) для певного проміжку часу та екстраполювати їх на майбутнє. Модель враховує три основних параметри, а саме:

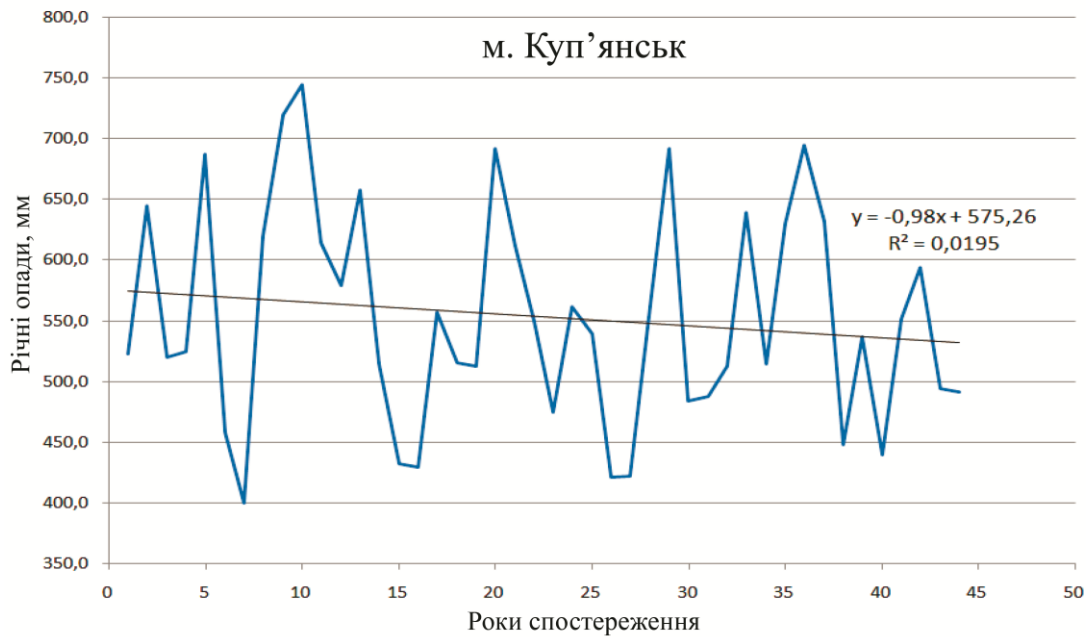


Рисунок 2 – Динаміка зміни кількості середньорічних опадів в місті Куп'янськ за період з 1969 року по 2019 рік

- направленість тренду;
- сезонність;
- згладжений експонентний ряд [25].

Модель Хольта-Вінтерса належить до класу моделей експоненціального згладжування. Метод може застосовуватись для тактичного та оперативного планування: виявлення сезонності дозволить відзначити неоднорідність розподілу об'ємів по роках по відношенню до даної динаміки, тобто можна використовувати цей метод для виявлення спадів або підйомів завчасно (при застосуванні тактичного планування) і бути готовими до них. Таким чином, метод має досить велику сферу застосування [25, 26].

Алгоритм розрахунку за методом Хольта-Вінтерса наступний:

1. Розраховується експоненційно-згладжений ряд за формулою:

$$L_t = \alpha \cdot \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha) \cdot (L_{t-1} - T_{t-1}), \quad (1)$$

- де L_t – згладжена величина на поточний період;
 α – коефіцієнт згладжування ряду;
 S_{t-s} – коефіцієнт сезонності попереднього періоду;
 Y_t – поточне значення ряду;
 L_{t-1} – згладжена величина за попередній період;
 T_{t-1} – значення тренду за попередній період.
 Коефіцієнт згладжування α задається вручну та знаходиться у діапазоні від 0 до 1.

Для першого періоду на початку даних експоненційно-згладжений ряд дорівнює першому значенню ряду $L_1 = Y_1$.

2. Оцінка тренду:

$$T_t = \beta \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1-\beta) \cdot T_{t-1}, \quad (2)$$

- де T_t – значення тренду на поточний період;
 β – коефіцієнт згладжування тренду;
 L_t – експоненційно згладжена величина за поточний період;
 L_{t-1} – експоненційно згладжена величина за попередній період;
 T_{t-1} – значення тренду за попередній період.
 Коефіцієнт згладжування β задається вручну і знаходиться у діапазоні від 0 до 1.

3. Оцінка сезонності:

$$S_t = \gamma \cdot \frac{Y_t}{L_t} + (1-\gamma) \cdot S_{t-s}, \quad (3)$$

- де S_t – коефіцієнт сезонності для поточного періоду;
 γ – коефіцієнт згладжування сезонності;
 Y_t – поточне значення ряду;
 L_t – згладжена величина за поточний період;
 S_{t-s} – коефіцієнт сезонності за той же період у попередньому сезоні.

4. Прогноз на p періодів вперед [24]:

$$\check{Y}_{t+p} = (L_t + p \cdot T_t) \cdot S_{t-s+p}, \quad (4)$$

де \tilde{Y}_{t+p} – прогноз за методом Хольта-Вінтерса на p періоди вперед;

L_t – експоненційно згладжена величина за останній період;

p – порядковий номер періоду, на який робимо прогноз;

T_t – тренд за останній період;

S_{t-s+p} – коефіцієнт сезонності на цей же період в останньому сезоні.

Як і для інших методів експоненційних згладжувань, α , β , γ підбираються таким чином, щоб мінімізувати середньоквадратичну помилку. Перед початком розрахунків треба визначити початкові значення для згладженого ряду L_t , тренда T_t , коефіцієнтів сезонності S_t . Найчастіше початкове значення для згладженого ряду приймається як рівне першому спостереженню, тоді тренд буде дорівнювати нулю, а коефіцієнт сезонності дорівнюватиме одиниці [26]. Основний тренд разом

з експоненційно згладженим рядом слугує не тільки для знаходження напрямку розвитку ряду динаміки, а й ще для згладжування коливань стрибків або спадів в ряді. Сезонність слугує для побудови прогнозу на майбутній період з урахуванням всіх сезонних особливостей.

Метод Хольта-Вінтерса дозволяє будувати середньострокові та довгострокові прогнози, оскільки метод заснований на декількох компонентах, що позитивно впливає на точність прогнозу.

Побудова моделі прогнозування методом Хольта-Вінтерса показала подальше збільшення середньорічної температури в Харківській області до 10,6°C у 2040 році (рис. 3) [27].

Модель прогнозування методом Хольта-Вінтерса на основі даних ХРЦГМ з 1969 по 2020 роки показала, що в Харківській області передбачається незначне зменшення кількості опадів до 550 мм у 2040 році (рис. 4) [27].

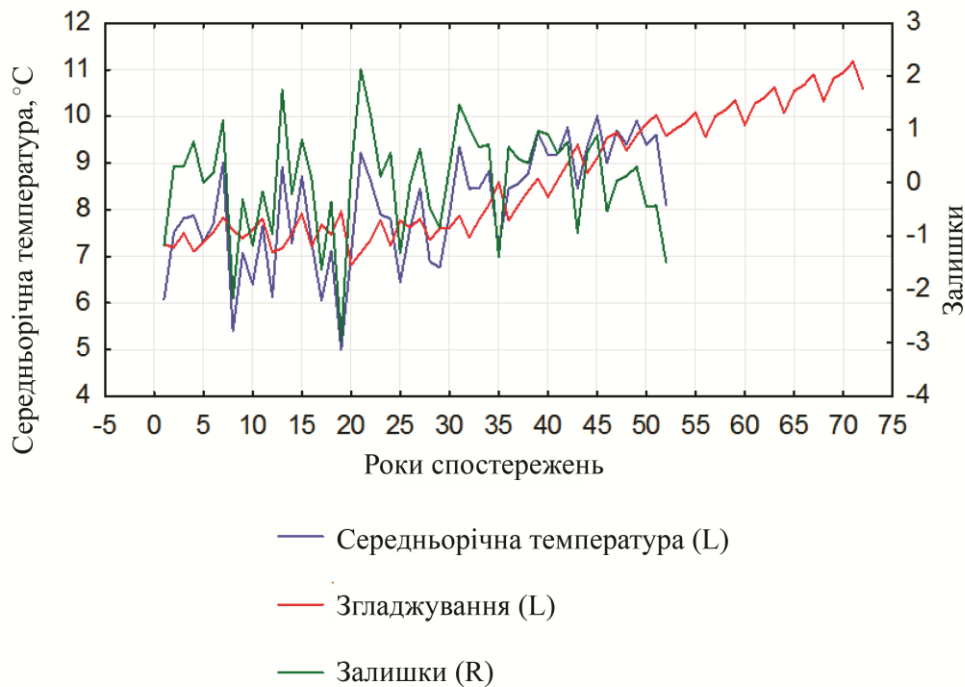


Рисунок 3 – Прогноз зміни середньорічної температури в Харківській області до 2040 року

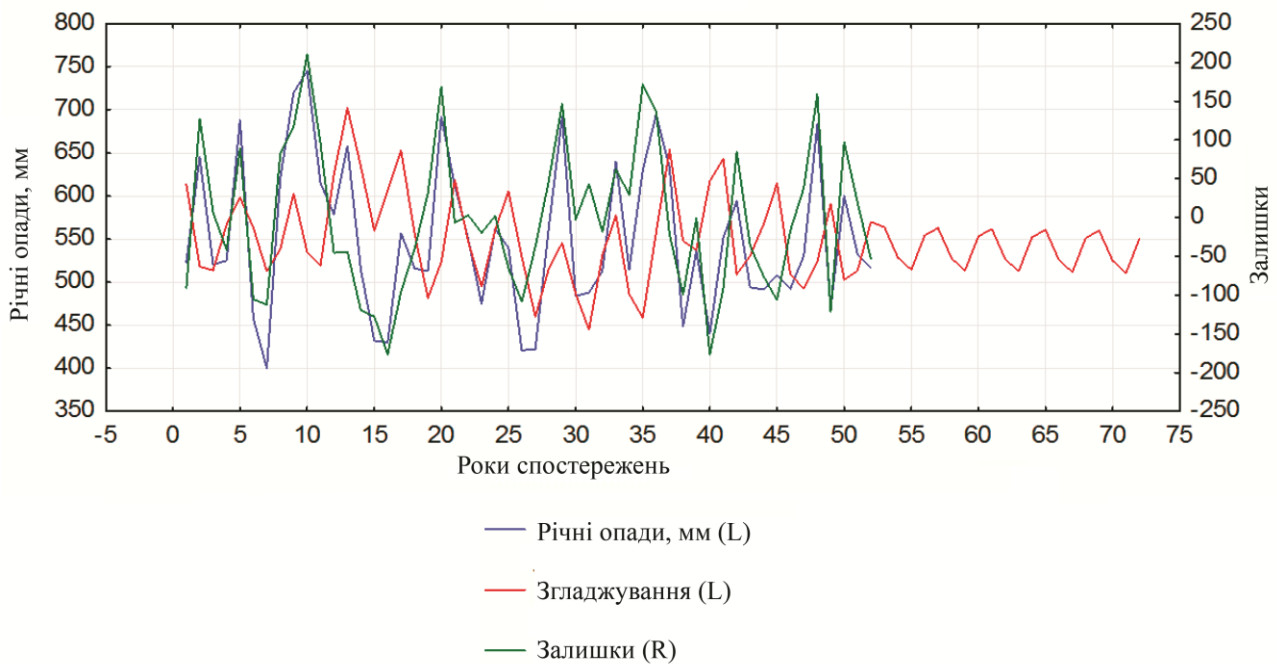


Рисунок 4 – Прогноз зменшення середньорічної кількості опадів в Харківській області до 2040 року

Зміна клімату на території Харківської області підвищує ризики для стану здоров'я населення, екосистем, агропромислового комплексу, збільшує ймовірність виникнення лісових пожеж.

Дослідження помісячних і середньорічних коливань вмісту окремих показників екологічного стану в р. Уди за період з 1964 року по 2019 рік показали (рис. 5), що вони різко змінювались протягом років, тому для прогнозу річки обрано метод потрійного експонентного згладжування тимчасового ряду Хольта-Вінтерса, який дозволяє робити як середньострокові, так і довгострокові прогнози, оскільки метод здатний виявляти мікротренди у моменти часу, безпосередньо попередні прогнозом, і екстраполювати ці тренди на майбутнє.

Розрахунки прогнозних гідрохімічних показників якості поверхневих вод р. Уди показали, що більшість показників не відповідають вимогам рибогосподарського водокористування, тобто необхідно змінювати тип водокористування [28, 29].

Ранжування постів спостереження за якісним станом річки Уди в Харківській області за значенням екологічного індексу показало, що найбільш забрудненою є ділянка в смт. Есхар (рис. 6).

Прогноз екологічного стану річки Уди методом Хольта-Вінтерса на основі багаторічних спостережень показав, що за значенням максимального екологічного індексу в 2030 році відповідатиме 7 категорії, V класу – дуже поганий

стан (рис. 7). Прогнозування екологічного стану басейну річки Оскіл за значенням середнього екологічного індексу ($Ie^{ср}$) показало незначне погіршення якісного стану: значення середнього екологічного індексу збільшилось з 2,20 у 1965 році до 3,21 у 2034 році (рис. 8).

Дослідження об'єму стоку річки Оскіл за період з 1924 по 2019 рік показали його значну мінливість, а відповідно до прогнозу моделі методом Хольта-Вінтерса (рис. 9) в 2030 році очікується 613,8 млн. м³, що значно менше середнього об'єму за досліджувані роки (1159,7 млн. м³).

Дослідження коливання витрати води в річці Оскіл за період 65 рік з 1953 року по 2019 рік показало, що за період з 1994 по 2019 рік середньорічна витрата води значно зменшилась з 56,9 м³/с у 1994 році до 25,4 м³/с у 2019 році та прогнозується її подальше зменшення (рис. 10).

Не всі фактори впливу однакові за своїм значенням, їх сукупність діє по різному на окремі компоненти і на екосистему в цілому. Тому надзвичайно важливою задачею окрім якісної оцінки стану досліджуваного водного об'єкту, на який насамперед впливає антропогенна діяльність, також враховувати кліматичний та інші природні чинники. Це дасть змогу більш об'єктивно оцінювати екологічний стан поверхневих вод і тому точніше визначити пріоритетні проблеми і тенденції змін у майбутньому, планувати довгострокові природоохоронні заходи.

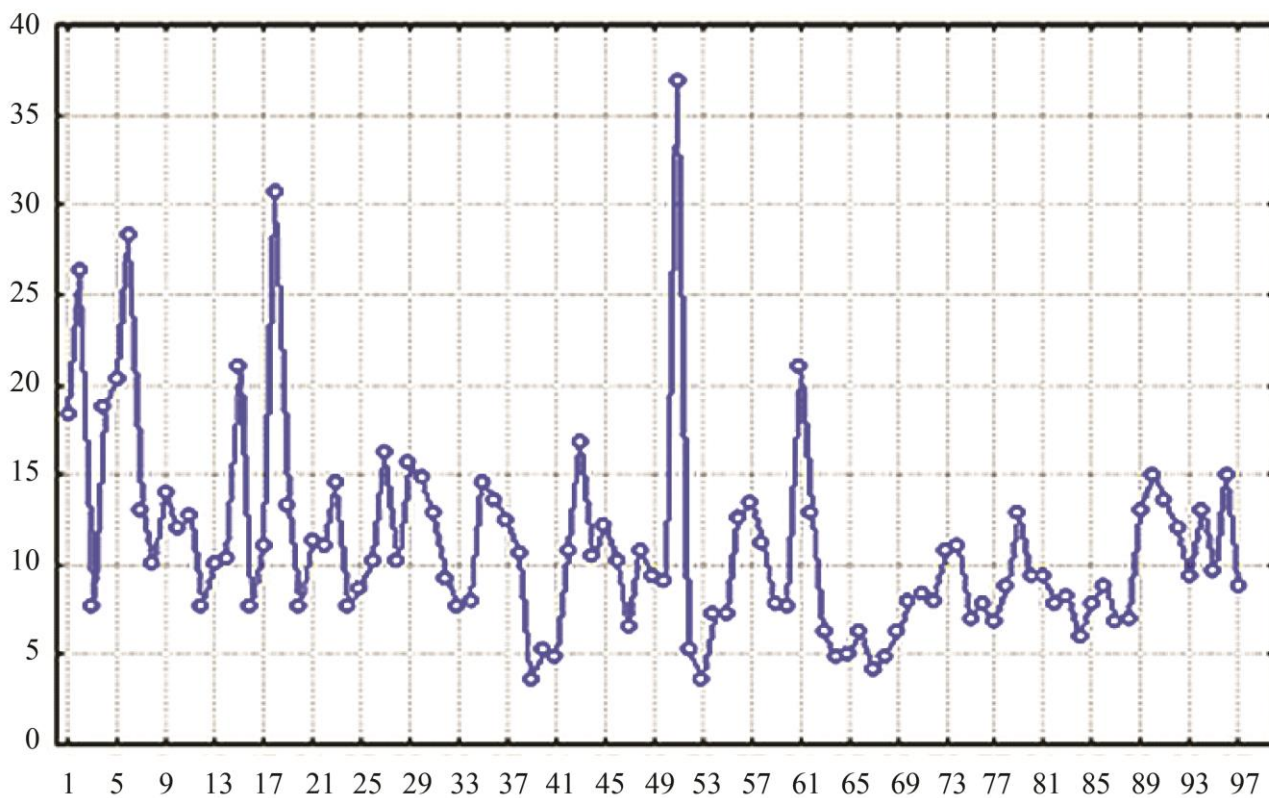


Рисунок 5 – Помісячні коливання вмісту завислих речовин в р. Уди в с. Есхар з 1964 року по 2019 рік

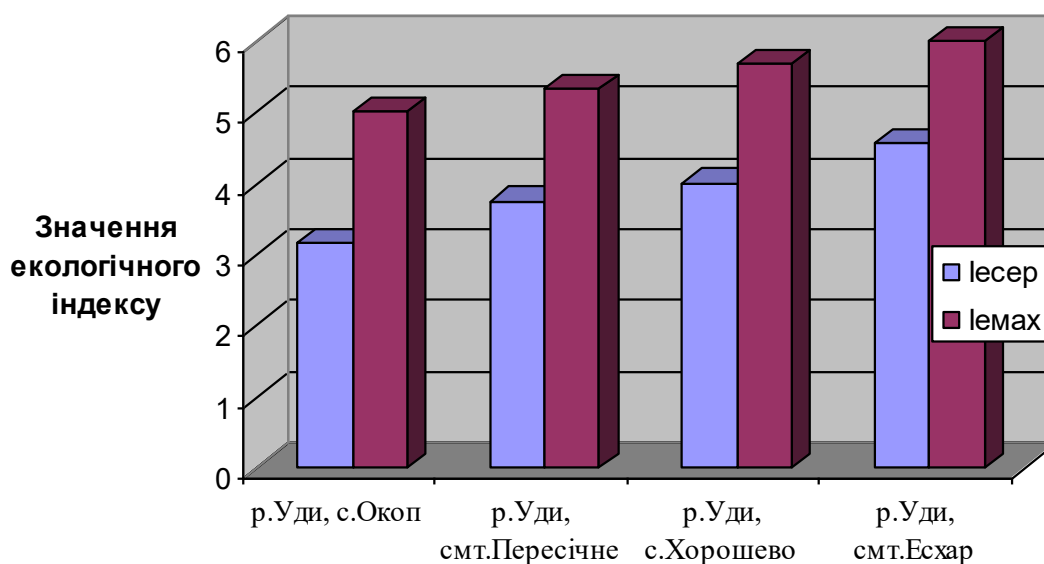


Рисунок 6 – Ранжування постів спостереження за якісним станом річки Уди в Харківській області за значенням екологічного індексу

Максимальний екологічний індекс в р. Уди



Рисунок 7 – Динаміка змін максимального екологічного індексу в р. Уди (с. Есхар) за період з 1969 року по 2030 рік

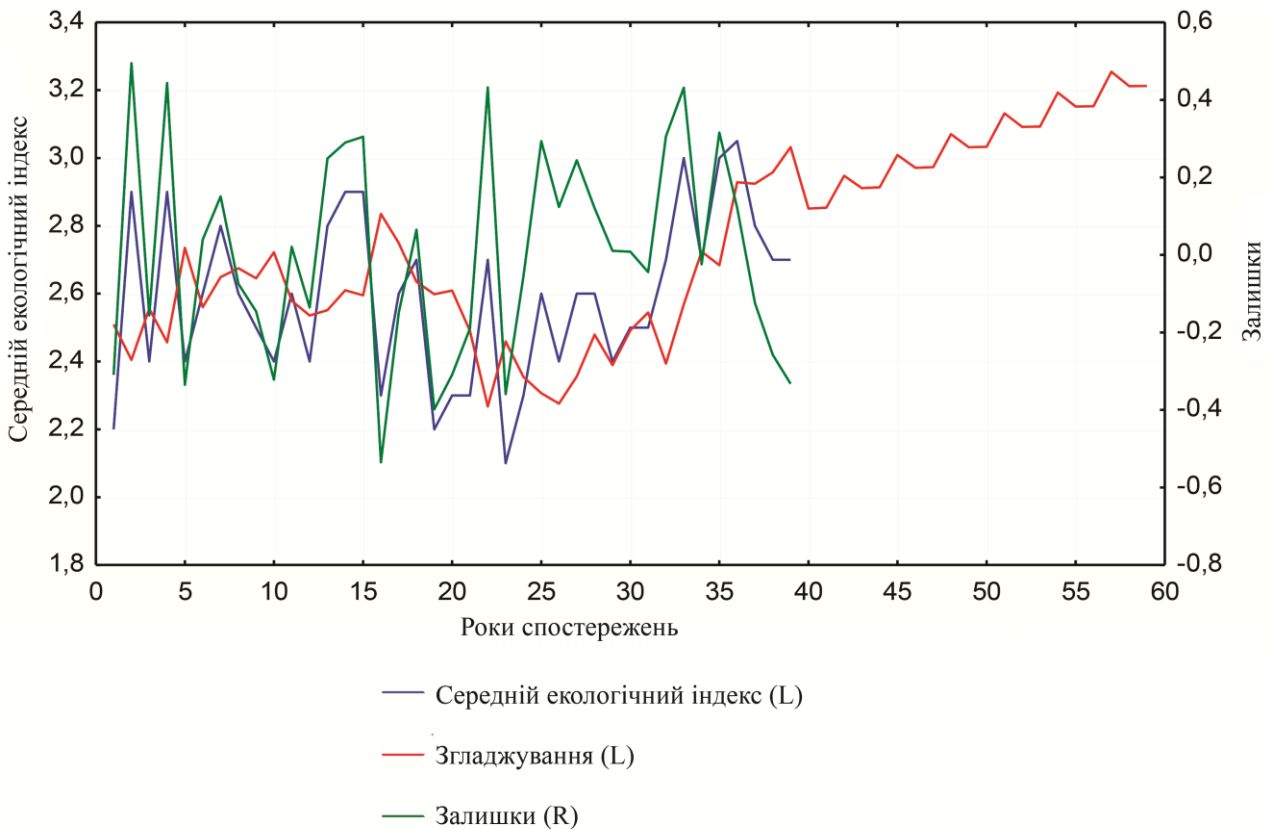


Рисунок 8 – Прогнозування екологічного стану басейну річки Оскіл за значенням середнього екологічного індексу ($Ie^{ср}$) до 2034 року

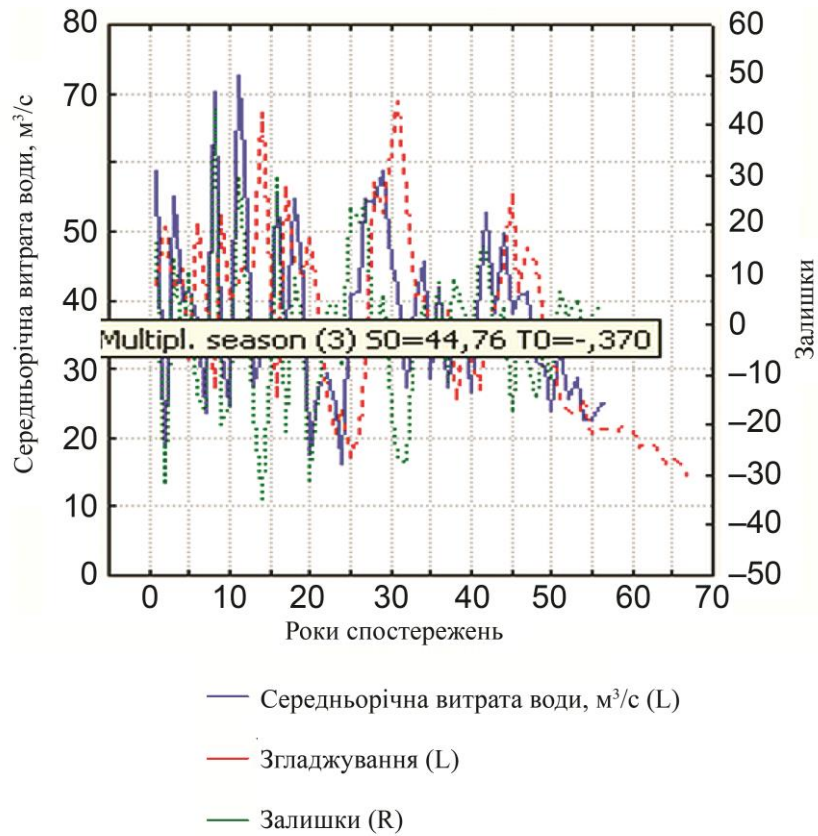


Рисунок 9 – Прогноз зміни середньорічної витрати води в річці Оскіл

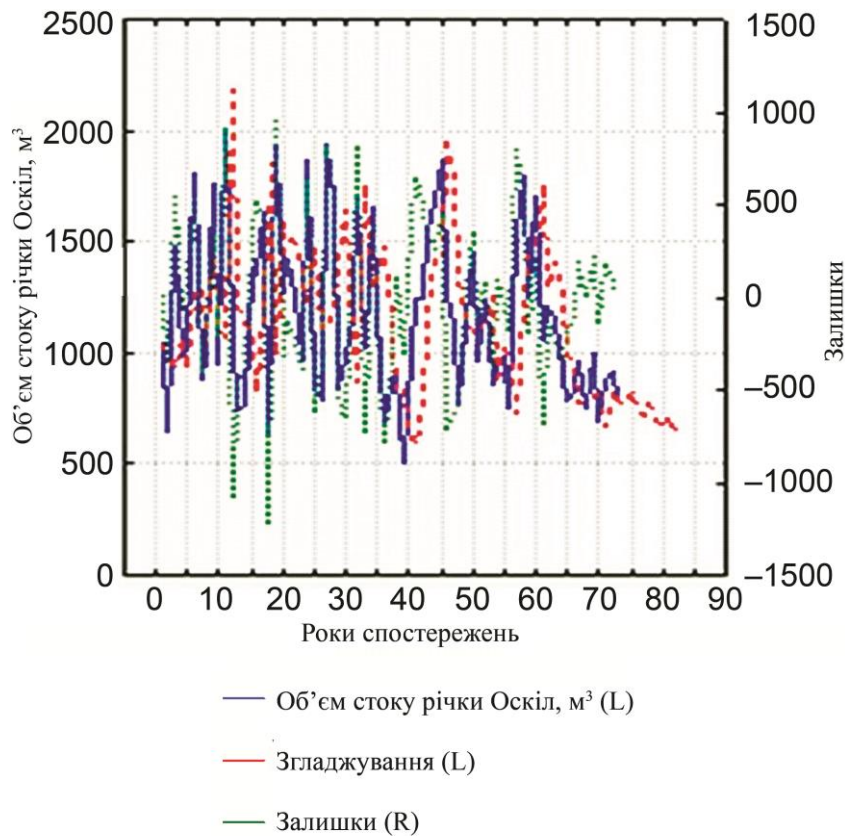


Рисунок 10 – Прогноз зменшення об'єму стоку річки Оскіл

У багатьох випадках на результативну ознаку впливає не один, а кілька факторів. Між факторами існують складні взаємозв'язки, тому їхній вплив на результативну ознаку є комплексним, а не просто сумою ізольованих впливів.

Регресійний аналіз є основним статистичним методом побудови математичних моделей об'єктів або явищ за експериментальними даними. Багатофакторний кореляційно-регресійний аналіз на основі методу найменших квадратів дає змогу оцінити міру впливу на досліджуваний результативний показник кожного із введених у модель факторів при фіксованому положенні на середньому рівні інших факторів. Важливою

умовою є відсутність функціонального зв'язку між факторами.

Для визначення значимих чинників впливу на якісний стан р. Оскіл методом багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу обрано наступні показники: середньорічна температура, річні опади, витрата води в річці, скиди стічних вод і гідрохімічні показники, приклад наведено у таблиці 1. Червоним кольором у таблиці визначено чинники, які впливають найбільше. Так, на вміст розчинного кисню найбільше з розглянутих чинників впливають загальні обсяги скидів стічних вод (щільний зв'язок) і середньорічна температура (середній зв'язок).

Таблиця 1 – Визначення впливу природних і антропогенних чинників на вміст розчинного кисню в р. Оскіл

N=27	Коефіцієнт кореляції, R	Станд. похибка R	p-рівень
Скиди води всього, млн . м ³	0,766	0,186	0,0005
Температура середньорічна, град	0,419	0,192	0,0400
Річні опади, мм	0,114	0,165	0,4970
Витрата Q, м ³ /с	0,077	0,182	0,6765

Таким чином, можна зробити висновок, що на вміст розчинного кисню в р. Оскіл найбільше впливають скиди стічних вод підприємств промисловості та комунального господарства, а також середньорічна температура повітря. Відомо, що вміст розчинного кисню є важливим показником забезпечення життєдіяльності гідробіонтів і його зменшення часто є причиною заморів риби, що обумовлює актуальність дослідження впливу природних і антропогенних чинників на якісний стан басейну р. Оскіл.

Для визначення значимості впливу антропогенних та природних факторів були побудовані моделі за допомогою багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу. Результати показали, що на вміст розчинного кисню найбільш впливають скиди стічних вод (коефіцієнт кореляції – 0,76) і температура (коефіцієнт кореляції середній – 0,42); на вміст нафтопродуктів – скиди стічних вод (коефіцієнт кореляції середній – 0,49); на вміст марганцю – скиди стічних вод (коефіцієнт кореляції – 0,70); на показник БСК₅ – скиди стічних вод (коефіцієнт кореляції середній – 0,62); на вміст цинку – скиди стічних вод (коефіцієнт кореляції середній – 0,43) і температура (коефіцієнт кореляції середній – 0,53); на вміст хрому загального – річні опади (коефіцієнт кореляції середній – 0,46). Вплив природних і антропогенних чинників на інші гідрохімічні показники якісного стану р. Оскіл не виявлено за рахунок слабких коефіцієнтів кореляції.

Кореляція впливу середньорічної температури в Харківській області на витрати води в р. Уди в смт. Есхар за період з 1969 року по 2019 рік є середньою. Визначення коефіцієнту кореляції

впливу середньорічної температури в Харківській області на модуль стоку в р. Уди в смт. Есхар за період з 1969 року по 2019 рік показав, що модуль стоку має залежність від температури повітря. Дослідження впливу опадів в Харківській області на модуль стоку в р. Уди в смт. Есхар за період з 1969 року по 2019 рік показали, що коефіцієнт кореляції є середнім.

Таким чином, зміни клімату в Харківській області впливають на гідрологічний режим річки Уди в смт. Есхар. Для визначення причин забруднення річки потрібно досліджувати також інші фактори впливу (антропогенний тиск, раціональність використання водозбірної площі, дифузні джерела забруднення тощо).

Основним завданням пристосування водних ресурсів до зміни клімату є збереження, мінімізація витрат водних ресурсів. Основні пріоритети у цій сфері:

- зниження втрат поверхневих водних ресурсів завдяки зменшенню площі випаровування та вдосконалення меліоративних заходів в сільському господарстві;
- удосконалення методів прогнозування та моніторингу, ГІС технології, які пов'язанні з проблеми водних ресурсів;
- поновлення схем захисту та планів реагування, удосконалення системи водоохоронних споруд;
- модернізація водогосподарської системи, підвищення коефіцієнтів корисної дії водогосподарських споруд, осучаснення правил експлуатації водосховищ, модернізація зрошувальних систем;

– розкриття водного потенціалу великих річок, оптимізація регулювання стоку, захист і регулювання водоохоронних зон, лісових масивів, водно-болотних угідь;

– підтримка належно рівня водних ресурсів: вдосконалення систем моніторингу, водоочищення, водовідведення, модернізація та пошук нових стратегій водопідготовки та розподілу води.

Пріоритетами адаптації до зміни клімату на національному рівні є розробка відповідних стратегій з адаптації до зміни клімату суміжних галузей промисловості та сільського господарства до прогнозованих наслідків підвищення рівня моря [8].

Висновки

У роботі дана оцінка екологічного стану водотоків басейну річки Уди і Оскіл і побудовані прогнози моделі методом Хольта-Вінтерса. Басейни річок Уди і Оскіл є найбільшими притоками річки Сіверський Донець, мають транскордонний характер і протікають територією великого індустріального центру, який здійснює на річку антропогенний тиск, тому прогноз їх екологічного стану з урахуванням кліматичних змін в Харківській області є дуже актуальною задачею.

На основі математичного моделювання визначено вплив кліматичних умов Харківської області та водовідведення за останні 55 років на гідрологічний і гідрохімічний режим формування екологічного стану р. Уди і р. Оскіл. Результати свідчать про те, що внаслідок кліматичних змін спостерігається тенденція щодо збільшення середньорічної температури повітря і очується її підвищення у майбутньому. Також визначається зменшення середньорічної кількості опадів.

Побудова моделі з використанням гідрологічних показників об'єму стоку і витрат води прогнозує значне їх зменшення у майбутньому. Такі тенденції можуть мати негативні наслідки для екологічного стану довкілля і створюють ризики появи та збільшення небажаних інвазій.

На основі кореляційно – регресійного аналізу була досліджена залежність гідрохімічних і гідрологічних показників якісного стану поверхневих вод річок Уди і Оскіл від природних та антропогенних факторів. Результати свідчать, що найбільша залежність цих показників пов'язана зі скидами стічних вод і підвищенням температури атмосферного повітря.

Результати проведених досліджень можуть бути використані при плануванні заходів водоохоронної діяльності та ідентифікації наслідків воєнних дій за різницею між прогнозованими та фактичними гідрохімічними і гідрологічними показниками якісного стану поверхневих вод, а побудовані регресійні і кореляційні залежності нададуть змогу більш об'єктивно оцінювати стан поверхневих вод і виявити часові періоди різних за характером ступенів впливу. Оскільки воєнні дії мають локальний характер і не впливають на кліматичні показники, їх можна використати для оцінки похибки прогнозування і оцінки ступеню впливу воєнних дій.

Визначення значимих факторів на екологічний стан поверхневих вод басейну річок Уди і Оскіл в Харківській області дасть змогу розробити науково-обґрунтований комплекс заходів щодо їх оздоровлення та раціонального використання водних ресурсів, що має практичну цінність проведених досліджень, які представлені в цій статті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія / О.Г. Васенко та ін. Харків, НУЦЗУ України, 2015. 419 с
2. Fontan S., Rusticucci M. Climate and Health in Buenos Aires: A Review on Climate Impact on Human Health Studies Between 1995 and 2015. *Frontiers in environmental science*. 2021. Vol. 8. DOI: 10.3389/fenvs.2020.528408.
3. The apparent and potential effects of climate change on the inferred concentration of dissolved organic matter on a temperate stream (The Mälse River, South Bohemia) / Hejzlar J., Dubrovský M., Buchtele J., Růžička M. *Science of the Total Environment*. 2003. Vol. 310. P. 143–152.
4. Webb B. W., Clack P. D., Walling D. E. Water-air temperature relationships in a Devon river system and the role of flow. *Hydrological Processes*. 2003. Vol. 17. P. 3069–3084.
5. Beaugrand G. Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate. *Reid Global Change Biology*. 2003. Vol. 9. P. 801–817.
6. Effects of changing temperature on benthic marine life in Britain and Ireland / Hiscock K., Southward A., Tittley I., Hawkins S. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 2003. Vol. 14. P. 327–331.
7. Water resources an essential part of the solution to climate change. UNESCO, 2020. URL: <https://en.unesco.org/news/water-resources-essential-part-solution-climate-change> (access date: 14.01.2022).
8. Про затвердження плану заходів щодо виконання Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 6 груд. 2017 р. № 878-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/878-2017-p> (дата звернення: 16.01.2022).
9. AR Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. IPCC, 2007. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf (дата звернення: 16.02.2022).
10. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker T. F. et al (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1535 p.
11. Bárdossy A. Stochastic Downscaling Methods to Assess the Hydrological Impacts of Climate Change on River Basin Hydrology. In: *ECLAT-2. – Report No 3*. KNMI Workshop, 2001. P. 18–34.
12. A simplified basin model for simulating runoff: The Struma River GIS / Knight G. C. et al. *Professional Geographer*. 2001. Vol. 53(4). P. 533–545.

13. Лобода Н. С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев. *Глобальные и региональные изменения климата*. К.: Ника-Центр, 2011. С. 340–351.
14. Лобода Н. С., Пилип'юк В. В. Визначення водних ресурсів річок Псел та Ворскла з урахуванням впливу підстильної поверхні на базі моделі «Клімат – Стік». *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2015. Т. 2, С. 48–55.
15. Оцінка можливих змін водних ресурсів місцевого стоку в Україні в XXI столітті / Сніжко С. та ін. *Водне господарство України*. 2012. С. 8–16.
16. Влияние изменений климата на гидрологические параметры в бассейне р. Западный Буг / Плюнтке Т., Барфус К., Минович А., Бернхофер К. *Глобальные и региональные изменения климата*. К.: Ника-Центр, 2011. С. 325–360.
17. Gorbachova L. O., Nabyanets Yu. V. Forecasted estimations of runoff change in the Dniester Basin under conditions of climate change. *EGU Leonardo 2012, "Hydrology and Society", November 14th – November 16th, Torino, Italy*. 87 p. URL: www.Eguleonardo2012politio.it/stuff/Abstracts_Book.pdf (access date: 20.02.2022).
18. Регіональні зміни клімату в Україні в XXI столітті на основі проєкцій МЗЦАО / Краковська С. В. та ін. Матеріали конференції «Глобальні та регіональні зміни клімату», Київ, Україна, 2010.
19. Сніжко С. І. Теорія і методи аналізу регіональних гідрохімічних систем. К.: Ника-Центр, 2004. 394 с.
20. Urama K., Ozor N. Impacts of climate change on water resources in Africa: the Role of Adaptation. 2010. 29 p. URL: https://www.researchgate.net/profile/Nicholas-Ozor/publication/267218899_Impacts_of_climate_change_on_water_resources_in_Africa_the_role_of_adaptation/links/552e5ed20cf2acd38cb92f1a/Impacts-of-climate-change-on-water-resources-in-Africa-the-role-of-adaptation.pdf (access date: 20.02.2022).
21. Potential Impacts and Challenges of Climate Change on Water Quality and Ecosystem: Case Studies in Representative Rivers in China / Jun. X. et al. *Journal of resources and ecology*. 2016. Vol. 1(1). P. 31–35. URL: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201600004143> (access date: 20.02.2022).
22. Гринчак В. В. Аналіз кліматичних змін на Дніпропетровщині. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017. № 20. С. 43–51. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2017_20_7 (дата звернення: 20.02.2022).
23. Харківський регіональний центр з гідрометеорології. URL: <https://kharkiv.meteo.gov.ua> (дата звернення 02.03.2020)
24. Стан навколишнього природного середовища міста Харкова та Харківської області. Офіційний сайт Харківської облдержадміністрації. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736?sv> (дата звернення: 20.02.2022).
25. Winters P. R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averagesю *Management Science*. 1960. Vol. 6(3). P. 324-342.
26. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Holt-Winters' seasonal method. *Forecasting: Principles and Practice*. Monash University, Australia, 2017. URL: <https://otexts.com/fpp2/holt-winters.html> (дата звернення: 02.02.2022).
27. Рибалова О. В., Цимбал Б. М., Золотарьова С. О. Аналіз небезпеки змін клімату в Харківській області. *Четверта Міжнародна науково-практична конференція "Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку"*: збірник матеріалів (21–22 жовтня 2021, м. Херсон, Україна). Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 237-240
28. Василенко О. Г., Рибалова О. В., Коробкова Г. В. Визначення екологічних нормативів якості поверхневих вод з урахуванням прогнозних моделей та регіональних особливостей. *East European Scientific Journal*. 2016. № 8 (12). Vol. 3. С. 5–13.
29. Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state / O. Rybalova et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2(10-92). P. 4–17.

Rybalova O., Artemiev S., Pinskyi O., Bryhada O., Bondarenko A.

DETERMINATION OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGES ON THE WATER ECOSYSTEMS OF THE UDY AND OSKIL RIVERS IN KHARKIV REGION

The paper assesses the ecological state of the Udy and Oskil rivers and investigates changes in climatic indicators in the Kharkiv region by building predictive models using the Holt-Winters method based on data collected before the start of Russia's full-scale aggression against Ukraine. On the basis of multifactorial correlation-regression analysis, the factors that have the greatest influence on the ecological state of the Oskil and Udy rivers have been determined. Determination of correlational dependencies is aimed at the implementation of preventive adaptive measures. The results of the study can be used in the determination of priority problems and the scientific justification of water protection measures, as well as the possibility of isolating and identifying the impact of military actions by hydrochemical and hydrological indicators of the qualitative state of surface waters, by the difference between predicted and actual data, which is the practical significance of the work.

Key words: climate changes, aquatic ecosystems, forecast, Holt-Winters model, Kharkiv region.

REFERENCES

1. Vasenko, O. G., Rybalova, O. V., Artemiev, S. R., Gorban, N. S., Korobkova, G. V., Polozencjeva, V. O., Kozlovs'ka, O. V., Macak, A. O., & Savichjev, A. A. (2015). *Integral'ni ta kompleksni ocinky stanu navkolyshn'ogo pryrodnoho seredovyshha: monografija [Integral and comprehensive assessments of the state of the environment: a monograph]*. Kharkiv, NUCDU, 419 p. [in Ukrainian].
2. Fontan, S., & Rusticucci, M. (2021). Climate and Health in Buenos Aires: A Review on Climate Impact on Human Health Studies Between 1995 and 2015. *Frontiers in environmental science*, 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.528408>
3. Hejzlar, J., Dubrovský, M., Buchtele, J., & Růžička, M. (2003). The apparent and potential effects of climate change on the inferred concentration of dissolved organic matter on a temperate stream (The Mälse River, South Bohemia). *Science of the Total Environment*, 310, 143–152.
4. Webb, B. W. Clack, P. D., & Walling, D. E. (2003). Water-air temperature relationships in a Devon river system and the role of flow. *Hydrological Processes*. 17, 3069–3084.
5. Beaugrand, G. (2003). Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate. *Reid Global Change Biology*, 9, 801–817.

6. Hiscock, K., Southward, A., Tittley, I., & Hawkins, S. (2003). Effects of changing temperature on benthic marine life in Britain and Ireland. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. – 2003. – 14:327–331
7. UNESCO. (2020). Water resources an essential part of the solution to climate change. URL: <https://en.unesco.org/news/water-resources-essential-part-solution-climate-change> (access date: 14.01.2022)
8. *Pro zatverdzhennja planu zahodiv shhodo vykonannja Konceptii realizacii derzhavnoi polityky u sferi zminy klimatu na period do 2030 roku* [On approval of the action plan for the implementation of the Concept for the implementation of state policy in the field of climate change for the period up to 2030], 878-r Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2017). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/878-2017-p> (accessed 16 January 2022). [in Ukrainian].
9. IPCC. (2007). AR Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf (access date: 16.02.2022).
10. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (eds.) (2013). IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
11. Bárdossy, A. (2001). Stochastic Downscaling Methods to Assess the Hydrological Impacts of Climate Change on River Basin Hydrology. *ECLAT-2. – Report No 3*. KNMI Workshop, 18–34.
12. Knight, G. C., Chang, H., Staneva, M. P., & Kostov, D. (2001). A simplified basin model for simulating runoff: The Struma River GIS. *Professional Geographer*, 53(4), 533–545.
13. Loboda, N. S. (2011). Vlihanie izmenenij klimata na vodnye resursy Ukrainy (modelirovanie i prognozy po dannym klimaticeskikh scenarijev) [The impact of climate change on the water resources of Ukraine (modeling and forecasts according to climate scenarios)]. *Global'nye i regional'nye izmenenija klimata [Global and regional climate change]*, Kyiv, Nika-Centr, 340–351. [in Russian].
14. Loboda, N. S., & Pylyp'juk, V. V. (2015). Vyznachennja vodnyh resursiv richok Psel ta Vorskla z urahuvannjam vplyvu pidstyl'noi poverhni na bazi modeli "Klimat – Stik" [The number of water resources of the River Psel ta Vorskla with the Urahuvannjam Vplyv pidstailnoi on top of the base of the model "Klimat – Stik"]. *Gidrologija, gidrohimiya i gidroekologija*, 2, 48–55. [in Ukrainian].
15. Snizhko, S., Jacjuk, M., & Kuprikov, I. (2012). Ocinka mozhylyvyh zmin vodnyh resursiv miscevoogo stoku v Ukrai'ni v XXI stolitti [Assessment of possible changes in water resources of local flow in Ukraine in the XXI century]. *Vodne gospodarstvo Ukrainy*. 8–16. [in Ukrainian].
16. Pljuntke, T., Barfus, K., Minovich, A., & Bernhofer, K. (2011). Vlihanie izmenenij klimata na gidrologicheskie parametry v bassejne r. Zapadnyj Bug [The influence of climate change on hydrological parameters in the basin of the Western Bug River]. *Global'nye i regional'nye izmenenija klimata*, Kyiv, Nika-Centr, 325–360. [in Russian].
17. Gorbachova, L. O., & Nabyvanets, Yu. B. (2012). Forecasted estimations of runoff change in the Dniester Basin under conditions of climate change. *EGU Leonardo 2012, "Hydrology and Society", November 14th – November 16th, Torino, Italy*. 87 p. URL: www.Eguleonardo2012politto.it/stuff/Abstracts_Book.pdf (access date: 20.02.2022).
18. Krakovs'ka, S. V., Palamarchuk, L. V., Shedemenko, I. P., Djukel', G. O., Gnatjuk, N. V. (2010). Regional'ni zminy klimatu v Ukrai'ni v XXI stolitti na osnovi proekcij MZCAO [Regional climate change in Ukraine in the XXI century based on projections of the ICCAO]. *Materialy konferencii "Global'ni ta regional'ni zminy klimatu"*, Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian].
19. Snizhko, S. I. (2004). *Teorija i metody analizu regional'nyh gidrohimičnyh system [Theory and methods of analysis of regional hydrochemical systems]*. Kyiv, Nika-Centr, 394 p. [in Ukrainian].
20. Urama, K., & Ozor, N. (2010). Impacts of climate change on water resources in Africa: the Role of Adaptation. 29 p. URL: https://www.researchgate.net/profile/Nicholas-Ozor/publication/267218899_Impacts_of_climate_change_on_water_resources_in_Africa_the_role_of_adaptation/links/552e5ed20cf2acd38cb92f1a/Impacts-of-climate-change-on-water-resources-in-Africa-the-role-of-adaptation.pdf (access date: 20.02.2022).
21. Jun, X., Shubo, C., Xiuping, H., Rui, X. & Xiaojie, L. (2010). Potential Impacts and Challenges of Climate Change on Water Quality and Ecosystem: Case Studies in Representative Rivers in China. *Journal of resources and ecology*, 1(1), 31–35. URL: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201600004143> (access date: 20.02.2022).
22. Grynychak, V. V. (2017). Analiz klimatychnyh zmin na Dnipropetrovshhyni [Analysis of climate change in Dnipropetrovsk region]. *Ukrai'ns'kyj gidrometeorologichnyj zhurnal*, 20, 43–51. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2017_20_7 (access date: 20.02.2022). [in Ukrainian].
23. Kharkiv Regional Center for Hydrometeorology. URL: <https://kharkiv.meteo.gov.ua> (access date: 02.03.2020).
24. The state of the environment of the city of Kharkiv and Kharkiv region. Official site of Kharkiv Regional State Administration. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736?sv>. (access date: 20.02.2022). [in Ukrainian].
25. Winters, P. R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*, 6(3), 324–342.
26. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2017). Holt-Winters' seasonal method. *Forecasting: Principles and Practice*. Monash University, Australia. URL: <https://otexts.com/fpp2/holt-winters.html> (access date: 02.02.2022).
27. Rybalova, O. V., Cymbal, B. M., & Zolotar'ova, S. O. (2021). Analiz nebezpeky zmin klimatu v Harkivs'kij oblasti [Analysis of the dangers of climate change in the Kharkiv region]. *Cheverta Mizhnarodna naukovo-praktychna konferencija "Ekologichni problemy navkolysn'ogo seredovyssha ta racional'nogo pryrodokorystuvannja v konteksti stalogo rozvytku" : zbirnyk materialiv (21–22 zhovtnja 2021, m. Herson, Ukrai'na). Kherson, OLDI-PLJuS*, 237–240. [in Ukrainian].
28. Vasenko, O. G., Rybalova, O. V., Korobkova, G. V. (2016). Vyznachennja ekologichnyh normatyviv yakosti poverhnevyyh vod z urahuvannjam prognoznyh modelej ta regional'nyh osoblyvostej [Determination of environmental standards for surface water quality, taking into account forecast models and regional features]. *East European Scientific Journal*, 8(12)-3, 5–13. [in Ukrainian].
29. Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsymbal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., & Filenko, O. (2018). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10-92), 4–17.