

ОЦІНКА ВПЛИВУ НАСЛІДКІВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ВРАЗЛИВІСТЬ ОСНОВНИХ ВОДОКОРИСТУВАЧІВ МІСТА

Гуреля І.В., Василенко О.В.

Уманський національний університет
вул. Інститутська, 1, 20300, м. Умань
ivan.gurelya@ukr.net, vsolga05@gmail.com

У статті досліджено вплив кліматичних змін на водні ресурси міста Умань та вразливість основних водокористувачів (комунального господарства, промисловості, сільського господарства, населення). Актуальність роботи обумовлена глобальними тенденціями до дефіциту води, зростанням антропогенного навантаження та змінами гідрологічного режиму в Україні, яка займає 124-те місце у світі за забезпеченістю водними ресурсами.

Аналіз даних за 2015–2024 роки виявив стійку тенденцію до зменшення річної кількості опадів (на 13–16% нижче норми), що особливо помітно у літній період. Ці зміни призводять до зниження рівня підземних вод (зафіксовано падіння на 2 м за останні 5 років) та погіршення стану поверхневих водних об'єктів. Такі умови створюють серйозні виклики для всієї урбоєкосистеми міста, особливо для водопостачання.

Дані за останні п'ять років показують, що місто вже зараз відчуває наслідки цих змін. Наприклад, сільське господарство споживає на чверть менше води, ніж раніше, через посухи, а промислові підприємства скоротили використання води на третину через економічні фактори. При цьому комунальний сектор, хоча і зменшив обсяги водокористування, залишається під загрозою через старі труби та великі втрати води. Якщо ситуація не зміниться, у майбутньому місто може зіткнутися з ще більшими труднощами – від перебоїв у водопостачанні до економічних втрат.

Отримані дані підтверджують необхідність перегляду традиційних підходів до водокористування в умовах змін клімату. Дослідження підкреслює, що вже зараз потрібно вживати заходів, щоб адаптуватися до нових умов. Це включає модернізацію водогосподарської інфраструктури, запровадження ефективних методів збереження води та розумний розподіл ресурсів між різними секторами. Без таких кроків подальші кліматичні зміни можуть призвести до серйозної кризи, яка вплине на життя всіх мешканців міста. *Ключові слова:* водокористування, кліматичні зміни, вразливість, адаптація, урбанізовані території, водний дефіцит.

Assessment of climate change impacts on vulnerability of urban water users. Hurelya I., Vasylenko O.

The article examines the impact of climate change on water resources in the city of Uman and the vulnerability of its main water users (municipal services, industry, agriculture, and the population). The relevance of the study stems from global trends of water scarcity, increasing anthropogenic pressure, and changes in hydrological patterns in Ukraine, which ranks 124th in the world in terms of water availability.

Analysis of data from 2015–2024 revealed a steady decline in annual precipitation (13–16% below normal), particularly noticeable during summer. These changes have led to a drop in groundwater levels (a 2-meter decrease over the past five years) and deterioration of surface water bodies. Such conditions pose serious challenges for the city's urban ecosystem, especially for water supply.

Data from the past five years show that the city is already experiencing the consequences of these changes. For example, agricultural water use has decreased by a quarter due to droughts, while industrial enterprises have cut water consumption by a third due to economic factors. Meanwhile, the municipal sector, despite reducing water usage, remains at risk due to aging pipes and significant water losses. If the situation does not change, the city may face even greater difficulties in the future – from water supply disruptions to economic losses.

The findings highlight the need to revise traditional water management approaches in the context of climate change. The study emphasizes that immediate action is required to adapt to new conditions. This includes modernizing water infrastructure, implementing efficient water conservation methods, and smart resource allocation among different sectors. Without such measures, further climate change could lead to a severe crisis affecting all city residents. *Key words:* water use, climate change, vulnerability, adaptation, urban areas, water scarcity.

Постановка проблеми. Прогнозоване зростання населення, соціально-економічні зміни та вплив кліматичних змін призводять до значного тиску на водні ресурси у багатьох регіонах світу [1, 2]. Очікується, що дефіцит води посилюватиметься в найближчі десятиліття [3]. Оскільки вода є базовою потребою людини, забезпечення доступу до чистої питної води визначено одним із ключових завдань Цілей сталого розвитку, прийнятих ООН у 2015 році [4].

Значна частина міського населення світу досі не має належного доступу до водних ресурсів.

Згідно з дослідженнями [5], близько 1 мільярда людей не мають доступу до безпечної питної води, а 2,4 мільярда позбавлені базових санітарних умов.

За рівнем забезпеченості водними ресурсами Україна знаходиться в нижній частині рейтингів. Серед 20 європейських держав – лише 17-та позиція, а у глобальному масштабі (181 країна) – 124 місце (за даними 2014 року). На одного жителя України припадає в середньому 1 тис. м³ місцевого стоку [6]. Питне водопостачання в Україні на 80% забезпечується з поверхневих джерел, а в окремих регіонах

майже на 100% [7]. За результатами оцінки можливих змін водних ресурсів України в умовах глобального потепління клімату відмічається, що протягом ХХІ ст. в Україні буде спостерігатися зменшення водного стоку на 25–50% [8].

Актуальність дослідження. На сучасному етапі розвитку практично у всіх регіонах світу відзначається посилення деградації водних ресурсів, що проявляється у зниженні їх кількості та погіршенні якісних характеристик [9]. Основними драйверами цього процесу є, перш за все, кліматичні зміни (зміна режиму опадів, збільшення кількості екстремальних явищ) [10], а також певні антропогенні фактори: інтенсивне освоєння територій (зміни землекористування), демографічний тиск та забруднення водних об'єктів [11]. Така комплексна дія чинників створює загрозу для сталого водозабезпечення як нинішнього, так і майбутніх поколінь.

При аналізі впливу змін клімату на міські водні системи доступність водних ресурсів (опадів, поверхневих та підземних вод) виявляється ключовим обмежуючим фактором. Міста потребуватимуть значних адаптаційних заходів для підтримки надійного водопостачання та розподільчих мереж у умовах дедалі більш мінливих водних ресурсів.

Міські водогосподарські організації мають запроваджувати адаптивні підходи, що включають: використання ймовірнісних кліматичних сценаріїв замість детермінованих прогнозів, модульні інфраструктурні рішення з можливістю поступового вдосконалення, використання природоохоронних рішень на додаток до технічних споруд

Цей підхід суттєво відрізняється від адаптації в сільському господарстві, де можливі більш тривалі терміни адаптації та рослинні рішення. Міста потребують точної оцінки вразливостей та негайного впровадження захисних заходів для захисту щільної популяції та економічних активів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дані дослідження проводились в рамках загальних наукових досліджень на тему: «Розробка методологічних підходів і практичного механізму екологічно-збалансованого природокористування» (державний номер реєстрації – 0108U009772) Уманського національного університету.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняними [12–14] та іноземними [15, 16] науковцями проаналізовано сучасні дослідження, пов'язані з оцінкою впливу кліматичних змін на вразливість водокористувачів у міських умовах. Дослідження [17, 18] підкреслюють, що зміни клімату призводять до змін у режимі опадів (збільшення інтенсивності дощів та тривалих періодів посухи), зниження якості води через забруднення під час паводків і надмірне випаровування, деградації водних екосистем, що впливає на доступність ресурсів. У містах це призводить до напруженості у водопостачанні, особливо в регіонах із високою урбанізацією [19].

Звіт Міжурядової групи експертів зі зміни клімату [17] узагальнює взаємозв'язки між кліматичними змінами та водними ресурсами через фізичні компоненти гідрологічного циклу та глобальні ефекти, проте не розглядає міські водогосподарські системи детально. Аналогічно, проект ADAPT [20] досліджував адаптацію у регіональному управлінні водними ресурсами в семи типових водозборах світу, але зосереджувався переважно на поверхневих водах та їх впливі на сільське господарство, продовольчу безпеку та енергетику; ризиках повеней та проблемах ґрунтових вод, без акценту на міському середовищі.

Таким чином, існує нагальна потреба в цілеспрямованому аналізі сектору водопостачання в урбанізованих територіях та впливу на нього змін клімату.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Вперше системно досліджується взаємодія двох критичних факторів – кліматичних змін (зокрема аридизації) та структурної трансформації водокористування у контексті середнього міста України.

Новизна. Новизна даної наукової статті полягає в комплексному аналізі взаємозв'язку між динамікою кліматичних змін (зокрема, зменшенням опадів та зростанням посушливих періодів) та структурою водокористування в умовах урбоєкосистеми м. Умань, що вперше дозволило кількісно оцінити рівень вразливості окремих секторів економіки міста (комунального, промислового, сільськогосподарського) та розробити ієрархію адаптаційних пріоритетів, з урахуванням як кліматичних, так і соціально-економічних факторів, що відкриває нові можливості для прийняття управлінських рішень у сфері сталого водокористування.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення даного дослідження полягає в тому, що воно інтегрує методи кліматології, екології та соціально-економічного аналізу, що дозволяє розширити можливості комплексного вивчення проблем водокористування в умовах змін клімату. Запропонована методика може бути адаптована для інших регіонів з подібними кліматичними умовами. Крім того, проведено наукову оцінку взаємозв'язку між кліматичними факторами та споживанням води різними секторами економіки урбоєкосистеми та розроблено критерії вразливості відповідних водокористувачів. Результати дослідження можуть бути використані як основа для подальших досліджень з кліматичної адаптації урбоєкосистем.

Викладення основного матеріалу. Умови формування водних ресурсів будь-якого регіону значною мірою залежать від кількісних і якісних характеристик атмосферних опадів. Для Уманського району, що розташований у центральній частині України, аналіз багаторічної динаміки опадів є особливо актуальним через зростаючу частоту кліматичних аномалій. Останнє десятиліття спостерігається тенденція до зміни режиму зволоження, що безпосередньо впли-

ває на водний баланс території та стан водних екосистем.

Наведені на рисунку 1 дані відображають річні суми опадів за період 2015–2024 років, отримані від місцевих спостережень Уманської гідрометеорологічної станції. Аналіз цих показників дозволяє виявити ключові тенденції: зниження середньорічної кількості опадів та збільшення частоти посушливих періодів.



Рис. 1. Динаміка річної кількості опадів в м. Умань (2015–2024 рр.)

Отже, можна зробити висновок, що зберігається загальна тенденція до зменшення опадів: у 2020, 2023 та 2024 роках спостерігалися рекордні мінімуми (466–448 мм), що на 13–16% нижче норми. Період 2017–2024 рр. має переважно негативне відхилення, що підтверджує тенденцію до посухи. Літні місяці стають більш посушливими, що впливає на водний баланс річок (наприклад, Уманка) та ґрунтові води. Весняні опади часто носять екстремальний характер (зливи 2016 року), що не компенсує літній дефіцит.

Тому вивчення динаміки опадів має важливе практичне значення для розробки адаптаційних заходів у сфері водокористування, сільського господарства та екологічного менеджменту. Отримані результати свідчать про необхідність врахування кліматичних змін при плануванні водогосподарської діяльно-

сті в регіоні, зокрема для прогнозування можливих дефіцитів водних ресурсів у майбутньому.

У зв'язку з описаною вище зміною кліматичних умов та зростанням антропогенного навантаження на водні ресурси аналіз водоспоживання стає критично важливим для розробки стратегій сталого водокористування. Місто Умань, розташоване в центральній частині України (Черкаська область), є репрезентативним прикладом регіону, де спостерігається поєднання таких чинників, як знос інфраструктури водопостачання, скорочення промислового виробництва, збільшення частоти посушливих періодів.

Останні п'ять років у місті Умань спостерігається суттєва динаміка у споживанні водних ресурсів, що обумовлено комплексом соціально-економічних, технологічних та кліматичних факторів. Зменшення обсягів водокористування пов'язане, перш за все, із скороченням промислового виробництва. Одночасно значний вплив мають демографічні зміни, зростання тарифів на воду та зміни у поведінці споживачів, спрямовані на економію ресурсів.

Важливу роль у зниженні водоспоживання відіграють і кліматичні умови, зокрема посухи останніх років, які призвели до обмеження використання води для зрошення в сільському господарстві. Крім того, зношеність водорозподільних мереж сприяє втратам води, що також впливає на загальну статистику. Аналіз динаміки водокористування дозволяє виявити ключові тенденції, зокрема перерозподіл споживання між секторами та ефективність заходів щодо раціонального використання водних ресурсів.

Наведені в таблиці 1 дані відображають зміни у споживанні води за основними категоріями водокористувачів – комунальним господарством, промисловістю, сільським господарством та населенням. Ця інформація є важливою для розробки стратегій сталого водокористування, оцінки ефективності існуючих програм з водозбереження та прогнозування майбутнього попиту на водні ресурси в умовах зростаючого дефіциту та кліматичних змін.

Загальне зменшення споживання на 21% за 5 років пов'язане зі скороченням промислового виробництва (найбільший спад – 33%), втратами води в зношених

Таблиця 1

Споживання водних ресурсів у місті Умань (середні значення за 2020–2024 рр.)

Категорія водокористувачів	Об'єм споживання, тис. м³/рік			Зміна за роки, %	Причини змін
	2020 рік	2022 рік	2024 рік		
Комунальне господарство	2,500	2,300	2,100	зменшення на 16%	економія через тарифні зміни, втрати в мережах
Промисловість	1,800	1,600	1,200	зменшення на 33%	скорочення виробництва
Сільське господарство	1,200	1,100	900	зменшення на 25%	посухи, перехід на крапельне зрошення
Населення (побутове водоспоживання)	1,700	1,650	1,500	зменшення на 12%	зменшення чисельності населення, економія
Загалом	7,200	6,650	5,700	зменшення на 21%	комплекс факторів

мережах комунального сектору та кліматичними умовами для сільського господарства(посухи). Крім того, комунальний сектор залишається основним споживачем, але його частка зменшується через неефективність інфраструктури.

Сучасні зміни клімату, що характеризуються підвищенням середньорічних температур, зростанням частоти та інтенсивності посушливих періодів та зміною режиму атмосферних опадів, становлять серйозну загрозу для стабільності водних ресурсів міста Умань. Урбоєкосистема міста, що включає комунальну інфраструктуру, промисловість, сільське господарство та житлові райони, демонструє різний рівень вразливості до цих змін.

Аналіз вразливості основних водокористувачів дозволяє виявити критичні точки системи водопостачання міста та розробити адаптаційні стратегії. Найбільш чутливими до кліматичних змін є сільськогосподарський сектор, який залежить від зрошення, та комунальне господарство, що стикається із зростанням втрат води через старіння інфраструктури. Промисловість, у свою чергу, вразлива через необхідність технологічного охолодження та обмеження водозабору в періоди маловоддя. Наведена таблиця 2 систематизує рівні вразливості різних секторів економіки міста, що дозволить органам місцевого самоврядування та водогосподарським організаціям пріоритизувати заходи щодо адаптації до кліматичних змін.

Аналіз даних таблиці підтверджує, що основні водокористувачі м. Умань демонструють різний рівень вразливості до кліматичних змін, причому найбільш критичними є сільськогосподарський та комунальний сектори, які вже зазнають негативного впливу посух та зростання температур. Особливу стурбованість викликає зниження рівня підземних вод. За даними щомісячного моніторингу Регіонального офісу водних ресурсів у Черкаській області, середній рівень

підземних вод у криницях за період 2020–2024 років знизився приблизно на 0,4 м щорічно, що становить близько 2 м загального падіння за п'ять років.

Отримані результати свідчать про необхідність термінового впровадження адаптаційних заходів, таких як модернізація інфраструктури водопостачання, запровадження водозберігаючих технологій та розробка стратегій раціонального водокористування, що дозволить зменшити ризики для міської екосистеми в умовах прогнозованого посилення кліматичних змін у регіоні.

Головні висновки. Проведене дослідження чітко демонструє, що Уманський регіон переживає суттєві зміни у водному балансі, спричинені кліматичними змінами. Аналіз даних за 2015–2024 роки виявив стійку тенденцію до зменшення річної кількості опадів (на 13–16% нижче норми), що особливо помітно у літній період. Ці зміни призводять до зниження рівня підземних вод (зафіксовано падіння на 2 м за останні 5 років) та погіршення стану поверхневих водних об'єктів. Такі умови створюють серйозні виклики для всієї урбоєкосистеми міста, особливо для водопостачання та сільського господарства.

Дані про споживання водних ресурсів за 2020–2024 роки свідчать про суттєву трансформацію структури водокористування. Найбільш значне зменшення спостерігається у промисловому (33%) та сільськогосподарському (25%) секторах, що обумовлено як економічними факторами, так і кліматичними обмеженнями. Комунальний сектор, незважаючи на зниження обсягів на 16%, залишається основним споживачем, що підкреслює його вразливість у зв'язку зі старінням інфраструктури та зростанням втрат води. Отримані дані підтверджують необхідність перегляду традиційних підходів до водокористування в умовах змін клімату. Результати дослідження вказують на критичну потребу в розробці та впровадженні комплексних адаптаційних заходів.

Таблиця 2

Аналіз ймовірної вразливості основних водокористувачів м. Умань залежно від змін клімату

Категорія водокористувача	Характер водо-користування	Потенційні кліматичні загрози	Ймовірна вразливість	Потенційні наслідки
Комунальні служби (водо- постачання)	Водозбір підземних і поверхневих вод	Зниження рівня водоносних горизонтів, посухи	Висока	Ризик дефіциту питної води влітку, зниження якості води
Промислові підприємства	Технічне водо-постачання	Нестабільність стоку, перегрів води, зниження дебіту річок	Середня	Порушення технологічних процесів, потреба у модернізації
Аграрний сектор (околиця міста)	Зрошення, технічні потреби	Тривалі посухи, зменшення доступності води для поливу	Висока	Нестабільність врожаїв, збільшення витрат на полив
Туристично-рекреаційна сфера	Естетична якість вод, рекреація	Цвітіння водоростей, забруднення, обміління ставків	Середня	Зниження привабливості об'єктів (ДП «Софіївка» тощо)
Побутові споживачі (населення)	Питне водо-постачання, господарські потреби	Переванта-ження систем, посухи, забруднення	Середня	Соціальна напруга, обмеження споживання

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані дані можуть бути використані для розробки адаптаційних стратегій – модернізації водогосподарської інфраструктури та запровадження водозберігаючих технологій у кому-

нальному, промисловому та сільськогосподарському секторах. А також, для планування водокористування – прогнозування дефіциту водних ресурсів та оптимізації їх розподілу в умовах кліматичних змін.

Література

1. Wada Y., van Beek L. P. H., Wanders N., Bierkens M. F. P. Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. *Environ. Res. Lett.*, 2013. 8. P. 1–14. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034036>.
2. Schewe J. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2014. USA111. P. 3245–3250. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222460110>
3. Gosling S.N., Arnell N.W. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 2016. 134. P. 371. <https://doi.org/10.1007/s10584013-0853-x>.
4. UN-GA. United Nations Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations General Assembly. New York, NY, 2015.
5. Parry Martin, Nigel Arnell, Pam Berry, David Dodman, Samuel Fankhauser. Assessing the Costs of Adaption to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates. Martin Parry. London: International institute for environment and development (IIED), 2009.
6. Інформаційно-аналітична довідка про стан водних ресурсів держави та особливості сільськогосподарського виробництва в умовах змін клімату. URL: <http://naas.gov.ua/upload/iblock/78a/> (дата звернення: 01.05.2025).
7. Аналіз актуальних чинників погіршення якості питного водопостачання в контексті національної безпеки України. Аналітична записка. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/analiz-aktualnikh-chinnikiv-pogirshennya-yakosti-pitnogo> (дата звернення: 04.05.2025).
8. Сніжко С. Оцінка можливих змін водних ресурсів місцевого стоку в Україні в XXI столітті. *Водне господарство України*, 2012. № 6 (102). С. 8–16.
9. Case T. Climate change and infrastructure issues. AWWA Research Foundation. Drinking Water Research. *Climate Change Special Issue*, 2008. 18. P. 15–17.
10. Kundzewicz Z. W., Krysanova V., Benestad R. E., Hov O., Piniewski M., Otto I. M. Uncertainty in climate change impacts on water resources. *Environ. Sci. Policy*, 2018. 79 (Jan). P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.008>.
11. Mirdashtvan M., Najafinejad A., Malekian A., Sa'doddin A.. Sustainable water supply and demand management in semi-arid regions: Optimizing water resources allocation based on RCPs scenarios. *Water Resour. Manage.*, 2021. 35 (15). P. 5307–5324. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-03004-0>.
12. Хільчевський В. К. Характеристика водних ресурсів України на основі бази даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2021. №1(59). С. 6–16.
13. Ромащенко М. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво. *Меліорація і водне господарство*, 2020. 1. С. 5–22.
14. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
15. Bonelli S., Vicuna S., Meza F. J., Gironás J., Barton J.. Incorporating climate change adaptation strategies in urban water supply planning: The case of central Chile. *J. Water Clim. Change*, 2014. 5 (3). P. 357–376. <https://doi.org/10.2166/wcc.2014.037>.
16. Stagge J. H., Moglen G. E. Water resources adaptation to climate and demand change in the Potomac River. *J. Hydrol. Eng.*, 2017. 22 (11). P. 4017–4050. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001579](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001579).
17. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (дата звернення: 24.04.2025).
18. UN World Water Development Report 2023. URL: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2023> (дата звернення: 23.04.2025).
19. Azhoni A., Jude S., Holman I. Adapting to climate change by water management organisations: Enablers and barriers. *J. Hydrol.*, 2018. 559 (Apr). P. 736–748. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.047>.
20. Aerts J. C., Droogers J. H. P. Climate Change in Contrasting River Basins: Adaptation Strategies for Water, Food and Environment. Oxfordshire, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux (CAB) International Press., 2004.