

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Чорноморського національного
університету імені Петра Могили
доктору біологічних наук, професору
ГРИГОР'ЄВІЙ Людмилі Іванівні

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри екології
Чорноморського національного університету імені Петра Могили
Алексєєвої Анни Олександрівни на дисертаційну роботу здобувача
наукового ступеня доктора філософії **Маца Андрія Дмитровича**
на тему: «**Оцінка впливу кліматичних змін на стан поверхневих вод**»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань **10 «Природничі науки»**, за спеціальністю **101– Екологія**

Актуальність теми дослідження, зв'язок з науковими програмами, темами. Стрімке посилення глобальних та регіональних кліматичних змін висуває нові жорсткі вимоги до системи екологічної безпеки та управління стратегічними природними ресурсами. Серед усіх компонентів довкілля найбільш динамічними та вразливими до кліматичного стресу є поверхневі водні екосистеми. Для України, яка за обсягами локальних водних ресурсів належить до малозабезпечених країн Європи, комплексне оцінювання цих процесів має критичне значення. Особливо гостро проблема постає в аридних регіонах Північного Причорномор'я, де на тлі природного дефіциту зволоження спостерігається високий рівень водоспоживання та прогресуюче антропогенне навантаження. На прикладі басейну річки Південний Буг у межах міста Миколаєва здобувач Андрій Мац порушує фундаментальну для сучасної екологічної науки проблему – необхідність чіткого розмежування та математичного моделювання кліматичних і некліматичних (техногенних) чинників формування якості поверхневих вод.

Наукову проблематику дисертаційного дослідження безпосередньо пов'язано з виконанням пріоритетних завдань національної політики у сфері екологічної безпеки, відповідно до зобов'язань України в межах євроінтеграційних процесів, реформування водного сектору, реалізації Закону України «Про основні засади державної кліматичної політики», кореляції з національними завданнями ЦСР 6 «Чиста вода та належні санітарні умови» та

ЦСР 13 «Пом'якшення наслідків зміни клімату». Дисертаційне дослідження є складовою частиною планової наукової тематики кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили «Екологічна безпека водних ресурсів» / «Water Security» (державний реєстраційний номер 0124U004562), що підтверджує його офіційний статус та актуальність для розвитку вітчизняної екологічної науки.

Автор обґрунтовано акцентує увагу на поєднанні кліматичного та антропогенного чинників, що є критично важливим для басейну Південного Бугу – системи з високим рівнем зарегульованості та інтенсивним промисловим навантаженням.

Ступінь обґрунтованості наукових положень та результатів.

Логіко-структурну архітектуру дисертаційного дослідження повністю підпорядковано досягненню визначеної мети та вичерпному розв'язанню поставлених завдань. Зміст роботи відзначається чіткою послідовністю викладу, високою науковою культурою та системно-комплексним підходом до розв'язання фундаментальної науково-практичної проблеми екологічної безпеки – наукового обґрунтування комплексного екологічного оцінювання стану річкової системи Південного Бугу у межах міста Миколаєва, що дозволяє оптимізувати стратегії адаптації та водогосподарського менеджменту за умов кліматичної нестабільності.

У дисертаційному дослідженні концептуально окреслено й чітко аргументовано його генеральну мету, яка фокусується на комплексній оцінці впливу кліматичних змін на стан поверхневих водних екосистем з обґрунтуванням лімітуючих чинників, які є ключовими у функціонуванні і еволюції водних об'єктів та розробці математичної моделі впливу змін клімату на стан поверхневих вод. Для реалізації цієї мети автором було послідовно розв'язано систему взаємодоповнюючих наукових завдань:

1. Теоретичний аналіз літературних джерел із проблем змін клімату та оцінки стану поверхневих природних гідроекосистем, а також нормативно-законодавчої бази щодо інтегрованого менеджменту водних ресурсів.
2. Визначення основних індикаторів змін клімату, які впливають на водні екосистеми.
3. Дослідження стану екосистеми річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.
4. Визначення лімітуючих кліматичних чинників, які є ключовими у функціонуванні та еволюції річки, а також дослідження динаміки інтегрованих гідрохімічних показників її гідроекосистеми.

5. Оцінювання впливу кліматичних чинників на стан гідроекосистеми Південного Бугу в межах Миколаївської області.

6. Розробка математичної моделі щодо впливу кліматичних чинників на стан гідроекосистеми Південного Бугу в межах міста Миколаєва.

7. Визначення та обґрунтування рекомендацій з інтегрованого менеджменту водних ресурсів та сталого (збалансованого) природокористування.

Об'єкт та предмет дослідження визначено коректно та науково зріло, що забезпечило системність і цілісність усього дисертаційного аналізу. Для всебічного виконання поставлених завдань і забезпечення високої достовірності результатів автор використав комплекс сучасних наукових методів, які охоплюють як фундаментальні загальнонаукові, так і спеціалізовані екологічні та математичні підходи. Загальнонаукові методи (аналіз, синтез, узагальнення, спостереження, а також системно-структурний підхід) застосовано для теоретичного осмислення наукової проблеми, систематизації наявних даних та формування цілісної структури дослідження. Методи гідрометеорологічного та екологічного моніторингу, фізико-хімічного аналізу задіяно для безпосереднього визначення концентрацій забруднюючих речовин у поверхневих водах та оцінювання поточного екологічного стану водного об'єкта. Методи математичного, кореляційного та непараметричного статистичного аналізу використано для кількісної обробки масивів моніторингових даних, встановлення закономірностей та оцінювання достовірності виявлених тенденцій. Геоінформаційні технології та методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) інтегровано як провідний інструмент просторово-часового аналізу. Завдяки хмарній платформі Google Earth Engine (GEE) здійснено обробку багаторічних серій супутникових знімків. Методи просторово-часового кліматичного аналізу реалізовано через залучення глобальних баз даних Copernicus Climate Change Service та інтерактивного ресурсу Ventusky, що дозволило верифікувати й уточнити регіональні метеорологічні показники, виявити локальні температурні аномалії, візуалізувати кліматичні тренди та змодельовати потенційні ризики для водного басейну. Хмарні технології обчислень та комп'ютерне моделювання розгорнуто в інтерактивному середовищі Google Colaboratory (Colab). За допомогою мови програмування Python та її спеціалізованих бібліотек виконано математичне моделювання процесів, автоматизовану обробку великих даних та побудовано тривимірні графіки-поверхні (3D-моделі) для наочної візуалізації отриманих результатів.

У першому розділі автор закладає ґрунтовний теоретико-методологічний фундамент роботи. Проведений аналіз вітчизняних та зарубіжних наукових праць дозволив дисертанту уточнити понятійно-категоріальний апарат, зокрема дефініції «екологічна безпека водних ресурсів» та «екологічна небезпека водних ресурсів» із чітким урахуванням кліматичного чинника як нової системної загрози. Особливу наукову цінність має порівняльний аналіз нормативно-правової бази України та Європейського Союзу, під час якого автор переконливо доводить наявність суттєвих розбіжностей у нормативах.

Другий розділ присвячено глибокому аналізу регіональних кліматичних чинників у Миколаївській області за тривалий період (1980–2024 рр.) із залученням сучасних геоінформаційних та супутникових платформ, а також багаторічних моніторингових даних Регіонального офісу водних ресурсів Миколаївської області. Отримані результати зафіксували випереджаючі темпи потепління в регіоні (зростання середньорічної температури на $0,61^{\circ}\text{C}/\text{десятиріччя}$), збільшення кількості «тропічних ночей» та тривалих хвиль спеки. Розрахунки гідротермічного коефіцієнта Селянінова дозволили автору математично підтвердити небезпечну тенденцію до аридизації клімату та зміщення його характеристик у бік напівпустельного типу.

У третьому розділі дисертант фокусується на комплексному дослідженні безпосереднього об'єкта – екосистеми нижньої течії річки Південний Буг та Бузького лиману в межах міста Миколаєва. Автор детально описує катастрофічний рівень штучної зарегульованості басейну (понад 8000 гідротехнічних споруд), що призводить до втрати природного весняного стоку та блокування процесів самоочищення. Використання супутникових індексів (BLUE, GREEN, NDVI) дозволило автору наочно продемонструвати процеси хронічної евтрофікації, зниження прозорості води та інтенсивного заростання акваторії.

Четвертий та п'ятий розділи складають розрахунково-аналітичне ядро дослідження, де автор перевіряє ключові наукові гіпотези за допомогою статистичного та математичного моделювання. У четвертому розділі переконливо доведено, що взаємозв'язок між температурою води та гідрохімічними показниками має нелінійний характер і найкраще описується поліноміальними квадратичними моделями. Автор диференціював рівень впливу температури, встановивши, що найсильніше вона визначає динаміку БСК₅ (33%) та розчиненого кисню (30%). У п'ятому розділі здобувач приходить до нетривіальних та важливих висновків щодо впливу атмосферних опадів на гідроекосистему. Математичний аналіз спростував поширену думку

про визначальну роль опадів у формуванні якості води для більшості параметрів ($R^2 < 0,05$), виявивши високу залежність лише для показника твердості води ($R^2 \approx 0,71$). Автор пояснює це явище складними процесами саморегулювання річки та взаємонівелюванням ефектів розбавлення та змиву поллютантів з водозбору.

Шостий розділ синтезує отримані результати у вигляді комплексних багатофакторних моделей впливу кліматичних чинників (температури повітря та опадів одночасно) на акваторію Південного Бугу. Побудовані моделі продемонстрували низькі коефіцієнти детермінації для більшості забруднюючих речовин (наприклад, варіація БСК₅ лише на 17,6% зумовлена кліматом). Це дозволило автору зробити принципово важливий для екологічної безпеки висновок: попри очевидні кліматичні зміни, домінуючим чинником деградації річки залишається пряме антропогенне навантаження (скиди стічних вод). На основі цього розроблено практичні та цілком обґрунтовані рекомендації щодо модернізації системи басейнового менеджменту.

Наукова новизна результатів. *Уперше* у вітчизняній теорії та практиці управління водними ресурсами систематизовано та обґрунтовано міждисциплінарний підхід (який охоплює методи різних галузей знань, а саме: гідрохімії (моніторингові дослідження показників стану гідроекосистем; метеорології (моніторингові дослідження кліматичних показників); системної екології (теоретичний аналіз та синтез; порівняльний аналіз) до оцінювання взаємозв'язків між кліматичними чинниками та гідрохімічним станом річкових екосистем на прикладі Південного Бугу в межах міста Миколаєва, який полягає у тому, що: *розроблено та проаналізовано* комплекс математичних моделей, що кількісно описують залежність ключових інтегрованих гідрохімічних показників (розчинений кисень, БСК₅, рН, мінералізація, твердість, загальне залізо, нітрати, сульфати) від атмосферних опадів та температури повітря. Це дозволило вперше чітко продемонструвати та кількісно оцінити низьку пояснювальну здатність зазначених кліматичних чинників для більшості досліджених гідрохімічних параметрів річки, підтверджуючи домінуючу роль некліматичних (антропогенних, геологічних та гідрологічних) факторів у формуванні якості води. Визначено конкретні кількісні характеристики нелінійних (параболічних) залежностей окремих гідрохімічних показників (зокрема, розчиненого кисню, БСК₅, рН, мінералізації, твердості, загального заліза, нітратів та сульфатів) від температури повітря, включаючи виявлення оптимальних або мінімальних

температурних значень, що відображають специфічні біогеохімічні процеси у водній екосистемі Південного Бугу.

Удосконалено сутність та розширено трактування понять «екологічна безпека водних ресурсів» та «екологічна небезпека водних ресурсів» завдяки інтеграції впливу змін клімату як системоутворюючого чинника. Це дозволило представити екологічну безпеку як забезпечення сталого функціонування водних екосистем, що гарантує якість та доступність води, а екологічну небезпеку – як комплексну загрозу деградації, забруднення та втрати водності, що посилюється взаємодією антропогенних та кліматичних чинників.

Набули подальшого розвитку методологічні підходи до порівняльного аналізу нормативної бази через зіставлення українських стандартів якості поверхневих вод з міжнародними (європейськими) нормативами. Це дозволило виявити конкретні розбіжності та обґрунтувати шляхи гармонізації національного законодавства у сфері водних ресурсів з Водною рамковою директивою ЄС; регіональні аспекти кліматичних змін та їхнього впливу на гідроекосистеми, зокрема зафіксовано зростання середньої температури на Миколаївщині та узагальнено наслідки цих змін (почастішання посух, інтенсивних злив, деградація водних об'єктів), що конкретизує загальносвітові тенденції на локальному рівні та створює емпіричну базу для подальших адаптаційних стратегій.

Теоретична та практична цінність, впровадження результатів дослідження.

Теоретична цінність дисертації полягає в оптимізації методологічних підходів до оцінювання якості поверхневих вод в умовах глобальних змін клімату. Математично доведено відносну роль кліматичних та некліматичних факторів у трансформації гідроекосистеми Південного Бугу. Розроблені багатофакторні математичні моделі сформували теоретичну базу для створення нових, більш комплексних систем екологічного моніторингу та прогнозування стану водного середовища. Практична цінність результатів дослідження

Практичне значення отриманих результатів полягає у зміні пріоритетів екологічного менеджменту: обґрунтовано, що інвестиції та управлінські зусилля органів влади мають бути спрямовані не на кліматичну адаптацію, а на радикальне зменшення безпосереднього антропогенного навантаження та ліквідацію прямих джерел забруднення річки. Результати дослідження дозволяють оптимізувати розподіл ресурсів для розробки високоефективних регіональних програм з охорони та сталого використання водних ресурсів Миколаївщини на засадах інтегрованого басейнового управління.

Основні наукові положення та практичні рекомендації дисертаційної роботи впроваджено у діяльність провідних природоохоронних та водогосподарських установ регіону, що підтверджено відповідними документами: Управління екології та природних ресурсів Миколаївської ОВА (акт впровадження № 1501/011-04/01 від 10.10.2024 р.); Національний природний парк «Бузький Гард» (акт впровадження № 406 від 23.12.2025 р.); Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області (акт впровадження № 296/01 від 23.12.2025 р.).

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях.

Основні положення і результати дослідження викладені у 35 наукових і методичних працях. Особливої уваги заслуговує якісний склад публікацій, який демонструє високий рівень міжнародної та національної апробації результатів дослідження: 6 статей опубліковано у провідних міжнародних виданнях, що індексуються у престижних наукометричних базах Scopus та Web of Science; 4 статті представлені у наукових фахових виданнях України категорії «Б». Здобувач має високий показник наукометричної впливовості – індекс Гірша (h-index) становить 6, що свідчить про високий рівень визнання наукових доробок дисертанта світовим академічним співтовариством. Для дослідника на етапі захисту дисертаційної роботи це є непересічним досягненням, яке беззаперечно свідчить про значну цитованість публікацій, затребуваність отриманих наукових результатів та їх вагомий внесок у розвиток сучасної екологічної науки.

Оцінка оформлення дисертації.

Представлена дисертація відзначається вивіреною архітектонікою, логікою побудови та послідовним розгортанням наукової думки. Структура роботи повністю підпорядкована досягненню визначеної мети й розв'язанню поставлених завдань, а чіткий внутрішній зв'язок між розділами та підрозділами забезпечує цілісне й усебічне висвітлення наукової проблеми. Текст дослідження написано зразковою науковою мовою, матеріал викладено аргументовано, системно та переконливо, що суттєво полегшує сприйняття та розуміння авторських висновків і результатів.

Робота виконана із дотриманням чинних вимог Міністерства освіти і науки України, що висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Ілюстративний матеріал (рисунок, графіки), табличні дані, додатки, а також бібліографічний список використаних джерел підготовлені та оформлені на високому професійному рівні, а загальний стиль

викладу повністю відповідає академічним стандартам сучасних наукових праць.

Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації.

Під час ознайомлення зі змістом роботи виникла необхідність отримати відповіді на **уточнювальні запитання-зауваження** до отриманих результатів, що висвітлені в експериментальних розділах:

1. Чим пояснюється вибір саме поліноміальних (квадратичних та кубічних) моделей для опису залежностей, тоді як лінійні моделі показали низьку ефективність?

2. Як ви можете пояснити відносно високий коефіцієнт детермінації для твердості води ($R^2 \approx 0,71$) у кубічній моделі впливу опадів, тоді як для інших показників він значно нижчий?

3. Ви стверджуєте, що значна кількість варіацій БСК₅ знаходяться поза впливом кліматичних чинників. Які саме чинники, на Вашу думку, формують цей основний відсоток змін?

4. Які зміни в біологічному різноманітті (планктон, іхтіофауна) Ви зафіксували у Південному Бузі і як вони корелюють із кліматичними змінами?

5. З чим пов'язано те, що кількість опадів не виявилася визначальним чинником для більшості гідрохімічних показників річки?

6. Яку роль відіграє висока зарегульованість басейну (наявність понад 8000 водойм) у погіршенні якості води за умов потепління?

7. На основі яких саме супутникових індексів Ви підтвердили процес заростання берегів та зниження прозорості води?

8. Які конкретні відмінності між нормативами України та ЄС Ви виділяєте як найбільш критичні для гармонізації законодавства?

Проте, питання-зауваження мають на меті лише деталізацію окремих положень і не нівелюють вагомий науковий внесок автора. Робота демонструє високий рівень підготовки здобувача, а викладені дискусійні питання не змінюють позитивного висновку щодо дисертації загалом.

Загальний висновок

Дисертаційне дослідження Андрія Дмитровича Маца на тему «Оцінка впливу кліматичних змін на стан поверхневих вод» є цілісною та завершеною науковою роботою. За рівнем наукової новизни, теоретичним значенням та обґрунтованістю результатів дисертація повністю відповідає вимогам спеціальності 101 «Екологія» та галузі знань 10 «Природничі науки». Дисертацію виконано відповідно до вимог Постанови Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р. «Про затвердження Порядку присудження

ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» та оформлено згідно з наказом Міністерства освіти і науки України «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» від 12.01.2017 №40 (зі змінами, згідно з наказом МОН від 31 травня 2019 року № 759), а її автор Мац Андрій Дмитрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки зі спеціальності 101 «Екологія».

РЕЦЕНЗЕНТ

Кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри

екології Чорноморського національного

університету імені Петра Могили

Анна АЛЕКСЕЄВА

Підпис А. О. Алексеевой
засвідчую

Вчений секретар



Вікторія ЧОРНА