

Голові разової спеціалізованої
вченої ради PhD ID 16003
Чорноморського національного
університету імені Петра Могили,
доктору біологічних наук, професору
ГРИГОР'ЄВІЙ Людмилі Іванівні

ВІДГУК

офіційного опонента, **СОВГІРИ Світлани Василівни**, доктора педагогічних наук, професора, професора кафедри біології та хімії Уманського національного університету, м. Умань на дисертаційну роботу Маца Андрія Дмитровича на тему: «Оцінка впливу змін клімату на стан поверхневих вод», подану на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 101 «Екологія».

Актуальність теми дисертаційного дослідження. Зміна клімату та її кумулятивний вплив на водні ресурси належать до найбільш гострих екологічних викликів ХХІ століття. Згідно з даними Всесвітньої метеорологічної організації, зростання глобальної температури на 1,45°C відносно доіндустріального рівня супроводжується зростанням частоти й інтенсивності екстремальних погодних явищ, таких як посухи та аномальні опади. Для України ця проблема має винятково критичне значення, оскільки за останні три десятиліття зменшення річкового стоку на 10–25% у різних регіонах створило передумови для системного дефіциту водних ресурсів, насамперед у її південних областях.

Особливу вразливість демонструє регіон Північного Причорномор'я – аридна територія з нестійким водним балансом, високим рівнем водоспоживання та значним техногенним навантаженням. У деяких районах цього регіону відхилення якості поверхневих вод від діючих нормативів

досягає 70–80%, що створює загрозу для стабільності водопостачання, функціонування природних екосистем та економічного розвитку.

Актуальність дисертаційної роботи А.Д. Маца обумовлена нагальною потребою у комплексній, науково обґрунтованій оцінці того, як саме глобальні та регіональні кліматичні трансформації впливають на функціонування гідроекосистем у зонах підвищеного ризику. Досліджувана акваторія річки Південний Буг у межах міста Миколаєва є складним об'єктом, де поєднуються висока зарегульованість стоку (понад 8000 водойм у басейні), специфічні гідрохімічні та геологічні умови й інтенсивний антропогенний тиск.

Не викликає сумніву теоретико-методологічне та практичне значення праці, що полягає у розробці міждисциплінарного підходу, який охоплює методи гідрохімії, метеорології, системної екології, ГІС-технологій (зокрема супутникового аналізу Google Earth Engine, Copernicus) та математичного моделювання. Виявлення лімітуючих чинників, оцінювання пояснювальної здатності кліматичних параметрів (температури та опадів) щодо варіацій гідрохімічних показників якості води та розмежування ролі кліматичного й антропогенного факторів дозволяють переосмислити пріоритети природоохоронної політики.

Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, темами. Науковий пошук здобувача безпосередньо пов'язаний із виконанням науково-дослідної теми кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили «Екологічна безпека водних ресурсів» / «Water Security» (державний реєстраційний номер 0124U004562). З огляду на необхідність виконання вимог Водної рамкової директиви ЄС та Закону України «Про основні засади державної кліматичної політики», тема дисертаційного дослідження А.Д. Маца є своєчасною, обґрунтованою та має важливе теоретичне і практичне значення для екологічної науки.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Проведений науковий аналіз дисертаційної роботи Маца Андрія Дмитровича свідчить про високий рівень

обґрунтованості наукових положень, висновків та практичних рекомендацій, поданих у дослідженні. Автор демонструє системний підхід до розв'язання поставленого науково-прикладного завдання – оцінювання та моделювання впливу кліматичних змін на стан поверхневих вод Північного Причорномор'я (на прикладі акваторії р. Південний Буг у межах м. Миколаєва).

Формулювання понятійно-категоріального апарату та методологічних засад роботи відрізняється чіткістю, логічною послідовністю та взаємозв'язком. Мету дослідження чітко орієнтовано на розробку комплексного підходу до оцінки та прогнозування стану поверхневих вод за умов трансформованого кліматичного режиму з урахуванням сукупного впливу антропогенних чинників. Вона є реалістичною, досяжною та повною мірою відбиває науковий задум дисертанта.

Об'єкт дослідження сформульовано коректно – це процеси впливу змін клімату на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

Предмет дослідження є логічно звуженим та конкретизованим щодо об'єкта – зміна кліматичних чинників та їх вплив на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

Взаємозв'язок між метою, об'єктом, предметом дослідження та поставленими завданнями повністю витриманий, що забезпечує методологічну цілісність роботи.

Для досягнення поставленої мети та вирішення визначених завдань дисертантом було застосовано комплекс методів, які поєднали класичні гідроекологічні підходи з передовими цифровими та аналітичними технологіями. Здобувачем ефективно використано ресурси платформ *Google Earth Engine* та супутникові дані місії *Copernicus (Sentinel-2, Sentinel-3)* і *Landsat*. Це дозволило провести просторово-часовий моніторинг температури поверхні води, індексів BLUE, GREEN, NDVI, прозорості та каламутності акваторії з високою дискретністю, що неможливо забезпечити виключно контактними методами.

У роботі застосовано математико-статистичний та аналітичний апарат для виявлення та оцінки залежностей між кліматичними параметрами й показниками якості поверхневих вод. Кореляційний аналіз – для визначення наявності, характеру та щільності зв'язків між кліматичними чинниками (температура повітря, кількість опадів) та якісними показниками поверхневих вод. Регресійне моделювання – для побудови математичних залежностей та розрахунку коефіцієнтів детермінації, що дало змогу оцінити частку впливу кліматичних чинників на варіацію гідрохімічних показників (розчинений кисень, БСК₅, рН, твердість, сульфати, нітрати, мінералізація, загальне залізо). Оцінка якості поверхневих вод проводилася через порівняльний аналіз за нормативами гранично допустимих концентрацій, а також із залученням методичних підходів національної екологічної класифікації якості поверхневих вод України та нормативних засад Водної рамкової директиви ЄС (2000/60/ЄС). Обраний методологічний комплекс забезпечує достовірність отриманих результатів та дозволяє об'єктивно оцінити ступінь впливу кліматичних змін на стан поверхневих вод.

Високий ступінь достовірності отриманих дисертантом наукових результатів, висновків та рекомендацій забезпечується широким масивом вихідних даних. Робота базується на репрезентативній вибірці багаторічних спостережень за період понад 20–30 років. Проаналізовано масиви гідрометеорологічних даних Укргідрометцентру, результати державного моніторингу довкілля (Регіонального офісу водних ресурсів Миколаївської області), а також власні польові та лабораторні дослідження автора. Загальна кількість проаналізованих проб води та супутникових знімків обчислюється тисячами одиниць, що забезпечує статистичну надійність та достовірність висновків.

Доведено статистично значуще зростання середньорічної температури повітря та води досліджуваного регіону, що супроводжується підвищенням випаровуваності та зменшенням ефективного стоку. Встановлено, що кліматичний чинник трансформує класичний сезонний режим якісного складу

води, посилюючи літню та осінню гіпоксію, спалахи евтрофікації та процеси осолонення за рахунок нагонів морських вод з Дніпробузького лиману. Науково обґрунтовано, що кліматично обумовлене зменшення розбавного потенціалу річки підсилює негативний ефект від місцевих скидів стічних вод, перетворюючи антропогенне навантаження на критичний дестабілізуючий фактор у періоди межені.

Практичні рекомендації, сформульовані А.Д. Мацом, є реалістичними, спираються на розроблені моделі та спрямовані на адаптацію управління водними ресурсами до умов зміни клімату (зокрема, оптимізацію режимів попусків із водосховищ, модернізацію системи моніторингу із залученням ГІС та впровадження заходів біоплато).

Достовірність та наукова новизна одержаних результатів. Достовірність результатів дослідження спирається на використання представницького масиву даних багаторічних спостережень за метеорологічними параметрами та якісними показниками поверхневих вод у пониззі басейну річки Південний Буг в межах міста Миколаєва. Надійність зроблених висновків підтверджується послідовним застосуванням коректного математико-статистичного апарату, зокрема кореляційно-регресійного аналізу з побудовою лінійних і нелінійних математичних моделей та розрахунком коефіцієнтів детермінації. Дослідження базується на апробованих національних методах екологічної оцінки якості поверхневих вод та принципах Водної рамкової директиви ЄС (2000/60/ЄС), що забезпечує методологічну цілісність роботи та узгодженість її результатів із сучасними концепціями гідроекології та басейнового управління.

Наукова новизна дисертаційного дослідження полягає у розв'язанні важливого науково-прикладного завдання щодо оцінювання взаємозв'язків між кліматичними чинниками та гідрохімічним станом гідроекосистеми. *Уперше* систематизовано та обґрунтовано міждисциплінарний підхід, що інтегрує інструментарій гідрохімії, метеорології та системної екології для комплексної оцінки впливу кліматичних змін на поверхневі водойми (на прикладі

р. Південний Буг у межах м. Миколаєва). Розроблено та проаналізовано комплекс математичних моделей, які кількісно описують залежність восьми ключових гідрохімічних показників (розчиненого кисню, БСК₅, рН, мінералізації, твердості, загального заліза, нітратів і сульфатів) від атмосферних опадів та температури повітря. Доведено та кількісно підтверджено низьку пояснювальну здатність кліматичних чинників щодо варіативності більшості досліджених гідрохімічних параметрів річки, що виявило домінуючу роль некліматичних факторів – насамперед антропогенного навантаження, а також геологічних і гідрологічних умов – у формуванні якості води. Визначено кількісні характеристики нелінійних (параболічних) залежностей гідрохімічних показників від температури повітря із фіксацією критичних (оптимальних чи мінімальних) температурних значень, які відображають специфіку біогеохімічних процесів у водній екосистемі. *Удосконалено* понятійно-категоріальний апарат теорії екологічної безпеки через розширення сутності понять «екологічна безпека водних ресурсів» та «екологічна небезпека водних ресурсів» із урахуванням кліматичного чинника як системоутворюючого елемента. *Набули подальшого розвитку* методологічні підходи до гармонізації національної нормативно-правової бази через зіставлення українських стандартів якості поверхневих вод із європейськими нормативами, що дозволило виявити наявні розбіжності та обґрунтувати практичні кроки щодо впровадження вимог Водної рамкової директиви ЄС. Оцінка регіональних аспектів кліматичних змін на Миколаївщині дала змогу конкретизувати глобальні кліматичні тренди на локальному рівні та сформувати емпіричну основу для розробки адаптаційних стратегій басейнового управління.

Отже, головна новаторська сторона дослідження полягає в обґрунтуванні міждисциплінарної методології та розробці комплексу математичних моделей, що вперше у вітчизняній науці дозволили кількісно оцінити загальноусталений внесок кліматичних трансформацій у динаміку гідрохімічного режиму річки Південний Буг та довести детермінованість якості води переважно комплексним впливом антропогенних, геологічних і гідрологічних чинників.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність дисертаційної роботи полягає у можливості безпосереднього використання її наукових висновків, розроблених математичних моделей та методичних підходів для вдосконалення системи басейнового управління водними ресурсами та регіональної екологічної політики. Отримані математичні моделі та кількісні оцінки зв'язків між метеорологічними чинниками й гідрохімічними показниками дозволяють підвищити точність прогнозів стану водних об'єктів у межах урбанізованих територій за умов підвищення температури повітря та зміни режиму опадів. Виявлений домінуючий вплив антропогенного навантаження над кліматичним чинником надає обґрунтовані підстави для перегляду та оптимізації водоохоронних програм. Вони дозволяють переорієнтувати ресурси й інвестиції з пасивних кліматичних адаптацій на першочергові заходи з модернізації очисних споруд, обмеження скидів промислових і муніципальних стічних вод та регулювання стоку в басейні Південного Бугу.

Результати порівняльного аналізу українських стандартів якості поверхневих вод із нормативами Європейського Союзу є практичним підґрунтям для розробки місцевих та басейнових планів управління згідно з вимогами Водної рамкової директиви ЄС (2000/60/ЄС). Матеріали дослідження щодо регіональних кліматичних тенденцій на Миколаївщині та оцінки параметрів якості води за умов воєнного часу можуть бути використані природоохоронними органами, Басейновим управлінням водних ресурсів річки Південний Буг та місцевими органами самоврядування для розробки стратегій екологічної безпеки, адаптації благоустрою міста до змін клімату й відновлення водогосподарського комплексу регіону. Крім того, розроблені методичні засади й результати досліджень впроваджено у навчальний процес Чорноморського національного університету імені Петра Могили під час викладання спеціальних курсів з екологічного моніторингу.

Впровадження результатів дослідження здійснювалося у процесі систематичної роботи з природоохоронними установами – Обласне управління

екології та природних ресурсів Миколаївської ОВА (акт впровадження №1501/011-04/01 від 10.10.2024); Національний природний парк «Бузький Гард» (акт впровадження №406 від 23.12.2025); Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області (акт впровадження №296/01 від 23.12.2025).

Повнота викладення основних положень дисертації у наукових працях. Заслуговує на увагу, що основні положення і результати дослідження викладено у значній кількості публікацій: 35 наукових і методичних праць, з яких 6 статей у виданнях, що індексуються у базах даних SCOPUS/WOS, 4 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б». Також представлена широка географія апробації результатів дослідження на конференціях міжнародного та всеукраїнського рівнів.

Оцінка змісту дисертації, завершеності та відповідності встановленим вимогам. Дисертаційна робота Маца Андрія Дмитровича є завершеним науковим дослідженням, яке складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Структура роботи є логічною, послідовною та повністю відповідає поставленій меті й завданням дослідження. Загальний обсяг дисертації становить 290 машинописних сторінок (разом з додатками 311 машинописних сторінок), із яких основний зміст роботи викладено на 245 сторінках. У тексті дисертаційної роботи налічується 106 рисунків і 9 таблиць. Список використаних джерел містить 156 найменувань, з яких 63 англійською мовою.

У **вступі** здобувач якісно обґрунтовує актуальність обраного напрямку, окреслюючи гостроту проблеми дефіциту та деградації якості поверхневих вод Південного Причорномор'я за умов прискорення глобальних кліматичних трансформацій. Чітко сформульовані мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження логічно підпорядковані розв'язанню фундаментальної екологічної задачі. Сильною стороною вступу є переконливе висвітлення наукової новизни та практичного значення отриманих результатів, що створює міцну основу для всієї подальшої аргументації.

У першому розділі «Теоретичний аналіз питань змін клімату та екологічної безпеки водних ресурсів» автор демонструє виключну наукову ерудицію, критично проаналізувавши доробок вітчизняних та зарубіжних учених у сфері екологічної безпеки гідроекосистем. Важливою перевагою є глибокий порівняльний аналіз нормативно-правової бази України та міжнародних стандартів якості води, а також ґрунтовна систематизація інституційних засад кліматичної політики. Це дозволило здобувачу уточнити концептуальні поняття «екологічна безпека» та «екологічна небезпека» водних ресурсів з урахуванням кліматичного чинника.

У другому розділі «Характеристика основних індикаторів змін клімату, які впливають на водні екосистеми» подано детальний аналіз багаторічних метеорологічних рядів даних для міста Миколаєва та області. Сильною стороною розділу є високоточна обробка та візуалізація динаміки температурного режиму й опадів, що дало змогу об'єктивно зафіксувати реальні регіональні прояви кліматичних змін і встановити ключові індикатори впливу на місцеві гідроекосистеми.

У третьому розділі «Дослідження стану екосистеми річки Південний Буг у межах міста Миколаєва» здобувач здійснює комплексне оцінювання гідрологічних, температурних та антропогенних чинників функціонування Південного Бугу та Бузького лиману. Беззаперечною перевагою та новаторством цього розділу є застосування передових методів дистанційного зондування Землі за допомогою платформи Google Earth Engine, що дозволило розрахувати спектральні індекси (BLUE, GREEN, NDVI) для об'єктивного моніторингу стану водного дзеркала та прибережної зони.

У четвертому розділі «Динаміка та температурні моделі інтегрованих гідрохімічних показників гідроекосистеми Південного Бугу в межах Миколаївської області» проведено детальний аналіз часових змін основних показників якості води (розчинний кисень, БСК₅, рН, мінералізація, твердість, залізо, сульфати, нітрати). Сильною стороною є побудова математичних моделей залежності цих параметрів від температури води, що дозволило

науково обґрунтувати ступені чутливості гідроекосистеми до термічного чинника.

У п'ятому розділі «Оцінювання впливу кількості атмосферних опадів на функціональний стан гідроекосистеми Південного Бугу в межах Миколаївської області» здобувач розкриває механізми впливу атмосферного зволоження на гідрохімічний режим річки. Дослідження динаміки вимивання та розбавлення забруднюючих речовин залежно від кількості опадів є важливим здобутком роботи, який демонструє складний взаємозв'язок між метеорологічними явищами та якістю водного середовища.

У шостому розділі «Математичні моделі впливу кліматичних чинників на акваторію Південного Бугу поблизу Миколаєва» автором синтезовано отримані результати через побудову статистичних моделей залежності якості води від дії температури та опадів. Наукова доброчесність та високий критичний рівень здобувача підтверджуються глибоким аналізом обмежень кліматичного моделювання та визначенням домінуючої ролі антропогенного навантаження. На основі цього розроблено цінні практичні рекомендації з інтегрованого басейнового менеджменту та сталого природокористування.

У загальних висновках здобувач логічно підсумовує результати досліджень, які повністю відповідають поставленим завданням та підтверджують високий рівень наукової обґрунтованості дисертаційної праці.

Дотримання засад академічної доброчесності. Аналіз наданих матеріалів дисертаційної праці свідчить про повне дотримання автором норм академічної доброчесності та чинного законодавства у сфері авторського права. Випадків академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації даних не зафіксовано. Усі запозичені ідеї, положення та цитати супроводжуються належними посиланнями на першоджерела, що висвітлені у відповідному бібліографічному списку.

Зауваження та дискусійні моменти. Загалом позитивно оцінюючи ґрунтовну та глибоко опрацьовану дисертаційну роботу Маца Андрія

Дмитровича, вважаю за необхідне зупинитися на окремих зауваженнях дискусійного характеру:

1. У вступі та анотації зазначається на необхідності розробки адаптаційних стратегій до змін клімату, проте в практичному значенні та висновках автор наголошує, що основні зусилля та інвестиції мають бути спрямовані не на кліматичну адаптацію, а на пряме скорочення антропогенного навантаження. Тому варто уточнити співвідношення між розробкою адаптаційних стратегій та прямою мінімізацією антропогенного навантаження, оскільки в роботі спостерігається певна суперечливість щодо визначення їхньої пріоритетності.

2. Наводячи дані про наявність у басейні понад 8000 водойм, здобувач вказує на середню щільність: близько «одного водосховища на кожні 10 км». Лінійне співвідношення кількості водойм до довжини річки надто спрощено відображає зарегульованість басейну, оскільки не враховує просторової неоднорідності їх розташування.

3. Використаний у математичних моделях набір кліматичних чинників обмежений лише температурою повітря та опадами, що залишає поза увагою інші гідрокліматичні чинники формування якості води, наприклад, величина випаровування, швидкість течії тощо.

4. Застосування кубічної моделі для опису залежності твердості води від кількості опадів потребує додаткового обґрунтування через ризик математичного перенавчання моделі та відсутність чіткої інтерпретації фізико-хімічних механізмів.

5. Запропоноване розширення понятійно-термінологічного апарату щодо екологічної безпеки водних ресурсів має швидше систематизуючий характер, оскільки фактор зміни клімату вже є загальновизнаним у сучасній екологічній науці.

Проте, зазначені зауваження принципово не впливають на ступінь наукової новизни, практичної значущості отриманих результатів, а також загальну позитивну оцінку дисертаційного дослідження, і мають

рекомендаційний характер. Загалом, висновки та положення наукової новизни добре обґрунтовано, логічно пов'язано з отриманими експериментальними даними та відповідають меті і завданням дослідження.

Загальний висновок. Дисертаційна робота здобувача Маца Андрія Дмитровича «Оцінка впливу змін клімату на стан поверхневих вод» є самостійним, завершеним науковим дослідженням, що відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261 (зі змінами) та вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами), а її автор – **Мац Андрій Дмитрович** – заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 «Екологія».

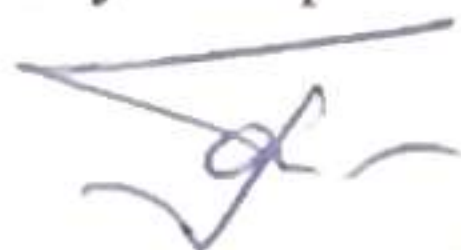
Офіційний опонент:

доктор педагогічних наук, професор,

професор кафедри біології та хімії

Уманського національного університету,

м. Умань



Світлана СОВГІРА

Підпис професора Совгіри С.В. засвідчую:

