«ЗАТВЕРДЖУЮ»
В.о. ректора
Чорноморського національного
університету імені Петра Могили,
доктор технічних наук, професор

_____ Леонід КЛИМЕНКО

« 28 » травня 2026 р.

ВИСНОВОК

Чорноморського національного університету імені Петра Могили про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Маца Андрія Дмитровича на тему: «Оцінка впливу змін клімату на стан поверхневих вод», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 101 Екологія

Витяг

з протоколу № 2 розширеного засідання кафедри екології Навчально-наукового методичного інституту та
запрошених фахівців галузі знань 10 Природничі науки
від «28» травня 2026 року

Присутні: Головуючий на засіданні – завідувач кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили, д.б.н., професор Григор'єва Л.І.

Від кафедри екології: д.т.н., професор, ректор ЧНУ імені Петра Могили Клименко Л.П.; к.т.н., доцент, доцент кафедри екології Алексєєва А.О.; к.т.н., доцент, доцент кафедри екології Крисінська Д.О.; к.географ.н., доцент, доцент кафедри екології Патрушева Л.І.; к.геолог.н., доцент, доцент кафедри екології Смирнов В.М.

Запрошені на розширене засідання кафедри екології: д.т.н., професор, проректор з наукової роботи Дінжос Р.В.; д.м.н., професор, проректор з проректор з науково-педагогічної роботи та питань розвитку Клименко М.О.; к.пед.н., доцент, директор Навчально-наукового методичного інституту Кузнецова О.А.; д.е.н., професор, завідувач відділу аспірантури та докторантури Ужва А.М.; к.б.н., доцент, завідувач кафедри медико-біологічних дисциплін Корольова О.В.; к.б.н., доцент, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін Чеботар Л.В.; к.б.н., доцент, в.о. завідувача кафедри фармації, фармакології, медичної, біоорганічної та біологічної хімії Ларичева О.М.; д.б.н., професор, професор кафедри медико-біологічних основ спорту та фізкультурно-спортивної реабілітації Козій М.С.; д.пед.н., к.х.н., професор, професор кафедри геоінженерії Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Кофанова О.В.; к.т.н. («Екологічна безпека»), к.е.н., доцент, доцент кафедри

промислового маркетингу Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Кофанов О.Є.; д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, директор НДІ екологічного проектування та природоохоронних технологій Вінницького національного технічного університету Петрук В.Г.

Серед присутніх 8 докторів наук, 9 кандидатів наук, з них: 2 доктора біологічних наук; 3 доктори технічних наук; 1 доктор педагогічних наук (кандидат хімічних наук); 1 доктор медичних наук; 1 доктор економічних наук; 1 кандидат геологічних наук; 3 кандидати біологічних наук; 1 кандидат географічних наук; 3 кандидати технічних наук зі спеціальності «Екологічна безпека».

Порядок денний:

Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта кафедри екології Маца Андрія Дмитровича на тему «Оцінка впливу змін клімату на стан поверхневих вод», поданого на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 101 Екологія.

Науковий керівник – кандидат геологічних наук, доцент, доцент кафедри екології ЧНУ імені Петра Могили Смирнов Віктор Миколайович.

Дисертація виконувалась на кафедрі екології навчально-наукового методичного інституту Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Чорноморського національного університету імені Петра Могили (протокол №11 від 29 листопада 2023 року).

Виступили:

Здобувач Мац Андрій Дмитрович, який представив презентацію за основними положеннями дисертації «Оцінка впливу змін клімату на стан поверхневих вод», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 101 Екологія.

Кліматичні зміни належать до пріоритетних напрямків міжнародної екологічної політики, а також національних досліджень. Більшість басейнів річок і водоймищ України, з яких, переважно, забезпечуються потреби населення у воді, не можна вважати екологічно безпечними. Так, у деяких районах території Північного Причорномор’я відхилення в якості води від норми сягає 70–80%. Актуальність дослідження зумовлена стрімким посиленням кліматичних змін, що, за початковою гіпотезою, безпосередньо впливають на кількість та якість поверхневих вод. В Україні упродовж останніх 30 років річковий стік зменшився на 10–25% у різних регіонах, що вже спричиняє дефіцит водних ресурсів у південних областях. Це загрожує стабільності водопостачання, функціонуванню екосистем і вимагає науково обґрунтованої оцінки впливу кліматичних змін для розробки адаптаційних стратегій.

Мета дослідження полягала у 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 розробка математичної моделі впливу змін клімату на стан поверхневих вод.

Мета дослідження визначила такі **завдання**:

1. Теоретичний аналіз літературних джерел з проблем змін клімату та оцінки стану поверхневих природних гідроекосистем, нормативно-законодавчої бази щодо інтегрованого менеджменту водних ресурсів;

2. Визначити основні індикатори змін клімату, які вливають 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 гідроекосистеми річки; дослідження динаміки інтегрованих гідрохімічних показників гідроекосистеми Південного Бугу;

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

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

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

Об’єкт дослідження: процеси впливу змін клімату на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

Предмет дослідження: зміна кліматичних чинників та їх вплив на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

При проведенні роботи було використано загальнонаукові **методи** дослідження: аналіз, синтез, спостереження, узагальнення та системно-структурний підхід. Застосовано методи екологічного моніторингу. Для обробки та оцінювання отриманих даних використано методи математичного аналізу, кореляційного та непараметричного статистичного аналізу. Окрему увагу приділено використанню геоінформаційних технологій. Зокрема, застосовано платформу Google Earth Engine (GEE), як потужного інструменту для просторового аналізу супутникових знімків та кліматичних даних, що дозволив здійснити оцінку змін температурного режиму та кількості опадів у часовій динаміці. Використовували супутникові знімки для моніторингу змін поверхневих вод, а саме колекції знімків: Sentinel-2 для візуалізації водного покриву та визначення характеристик якості води (наприклад, хлорофіл, мутність); Landsat 8 для аналізу змін на більшій часовій шкалі. Також використовувались дані Copernicus Climate Change Service та ресурс Ventusky для уточнення метеорологічних показників у просторі та часі. Застосування ГІС-методів забезпечило візуалізацію кліматичних змін, виявлення температурних аномалій та моделювання ризиків для водних екосистем. Також для проведення обчислювальних операцій, обробки та візуалізації даних було використано хмарне середовище розробки Google Colaboratory/Colab, що дозволило ефективно виконувати моделювання та побудову 3D-графіків-поверхонь, були реалізовані за допомогою мови програмування Python.

Дослідження проводилось на території міста Миколаєва в межах басейну річки Південний Буг.

У контексті дослідження впливу кліматичних змін на стан водних ресурсів особливої актуальності набуває чітке розмежування понять «екологічна безпека» та «екологічна небезпека» водного середовища. Визначено, що екологічна безпека розглядається як стабільний стан водних екосистем, що дозволяє забезпечити якість і доступність води для різних сфер використання, зберігаючи екологічну рівновагу. Натомість екологічна небезпека означає наявність або загрозу порушень гідрологічного режиму, забруднення, зниження водності та втрати біорізноманіття, що загострюється під впливом змін клімату.

Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод в Україні та на міжнародному рівні засвідчив суттєві розбіжності. Визначено, що нормативи якості поверхневих вод для господарсько-побутових потреб ЄС та США є суворішими за українські за багатьма показниками, такими як ХСК, БСК, хлориди, сульфати, фосфати, нітрати, нітрити, амоній, хром, меркурій, нафтопродукти. Проте, за мінералізацією та купрумом українські нормативи є жорсткішими. За такими інтегрованими показниками, як pH та жорсткість, вимоги майже однакові..

Для дослідження впливу кліматичних змін на стан гідроекосистем визначено та обґрунтовано такі інтегровані параметри, як: температура атмосферного повітря та атмосферні опади.

Встановлено, що з 1980 по 2024 рік середньорічна температура в регіоні зростала зі швидкістю 0,61°C/10 років, що суттєво перевищує глобальні темпи. Останнє десятиріччя стало найтеплішим за останні 6500 років. У 2024 році зафіксовані рекордні температури, що викликають тепловий стрес, збільшення кількості «тропічних ночей» та спекотних днів. Зафіксовано стійке зростання максимальної температури та зниження мінімальної, що сприяє появі температурних екстремумів і підвищує ризики для здоров’я та сільського господарства.

Аналіз динаміки опадів показав, що у регіоні фіксується їх дефіцит (409–469 мм/рік), сезонний їхній перерозподіл та переважання зливових дощів. Коефіцієнт зволоження Селянінова вказує на переважання дуже сухих і помірно сухих умов. Відзначено зростання частоти стихійних опадів, при цьому загальна кількість днів з опадами зменшується. Фіксується стала тенденція до аридизації (опустелювання) південних районів області.

Температурні дані води у межах міста Миколаєва свідчать про тенденцію до зростання мінімальних температур, а лінія тренду свідчить про кліматичне потепління. Аномально високе значення у +1 °C у 2021 році може свідчити про екстремальні погодні умови або локальні впливи.

Визначено, що басейн сильно зарегульований, налічує понад 8000 ставків і водосховищ. Приблизна середня щільність водойм становить близько одного водосховища на кожні 10 км, що знову доводить факт про високу зарегульованість річки, що призводить до втрати весняного повеневого стоку, уповільнення течії, зниження швидкості самоочищення річки та порушення умов життєдіяльності водної флори та фауни.

Дослідження стану поверхневих вод в акваторії міста Миколаєва засвідчили, що гідроекосистема характеризується високою жорсткістю (до 20 мг-екв/дм³) та лужністю. Мінералізація води зростає в напрямку до гирла річки. Найвищі показники фіксуються у листопаді, після чого спостерігається поступове зниження взимку та навесні, що пов'язано зі збільшенням водного стоку в холодний період.

Аналіз супутникових індексів за 2020–2024 роки показав, що BLUE-індекс знизився з 0,113 (2020) до 0,084 (2024), що свідчить про зменшення прозорості води; GREEN-індекс коливався у межах 0,097–0,119, що відповідає підвищенню продуктивності водоростей; NDVI-індекс зріс із 0,132 до 0,165, що свідчить про активізацію прибережної рослинності та можливе заростання берегової зони.

Для дослідження впливу кліматичних чинників на стан поверхневих було обрано основні інтегровані гідрохімічні показники якості поверхневих вод, які відповідали таким критеріям: чутливість до кліматичних змін; здатність демонструвати сезонні та річні коливання; відбиття їх змін у гідрологічному циклі; забезпечення повної оцінки екологічного стану; практичне значення для управління водними ресурсами. Для дослідження стану поверхневих вод було обрано вісім гідрохімічних показників (розчинний кисень; БСК; мінералізація; pH; загальне залізо; твердість; сульфати, нітрати), чотири з яких (pH, БСК, мінералізація, твердість) належать до інтегрованих.

Вибір пунктів спостережень у межах міста Миколаєва і Миколаївської області обмовлений такими критеріями: репрезентативність; просторове охоплення; антропогенний вплив; гідродинамічні умови; біологічна різноманітність; доступність та безпека; наявність історії досліджень.

Аналіз динаміки гідрохімічних показників поверхневих вод виявив чіткі тенденції, а саме: для O_2 спостерігається поступове зниження у всіх пунктах спостережень; для $БСК_5$ відзначено зниження у період 1980−2020 років, але після 2020 року спостерігається зворотний тренд, що вказує на можливий вплив антропогенних або природних чинників; для мінералізації показано, що її підвищення відбувається під впливом випаровування та зменшення стоку; для pH відзначаються зміни через кліматичні чинники, такі як зменшення стоку та зміни вуглекислотного балансу, при цьому високий вміст CO_2 знижує pH; концентрації нітратів коливаються, особливо після паводків та значних опадів, що відображає зміни у режимі опадів; підвищення концентрації сульфатів пов'язане з ерозією ґрунтів та змивом з сільськогосподарських/промислових територій, а також зростанням випаровування; для загального заліза концентрація зростає внаслідок збільшення опадів або поверхневого стоку; зростання твердості відбувається через підвищене випаровування (що збільшує концентрацію кальцію та магнію) та зменшення стоку під час посух.

Визначено, що температура поверхневих вод, як один з індикаторів змін клімату, має різний характер впливу на гідрохімічні інтегровані показники. Лінійні моделі показали слабкі закономірності, тоді як поліноміальні квадратичні закономірності краще описують нелінійну природу залежності.

Для розчинного кисню середній коефіцієнт детермінації залежності від температури становить 30%. Для $БСК_5$ середній коефіцієнт детермінації

залежності від температури становить 33%. Середній коефіцієнт детермінації залежності pH від температури становить 16%. Для мінералізації середній коефіцієнт детермінації залежності від температури становить 13%. Середній коефіцієнт детермінації залежності твердості від температури становить 27%. Середній коефіцієнт детермінації загального заліза залежності від температури становить 2%. Для сульфатів середній коефіцієнт детермінації залежності від температури становить 16%, тоді як для нітратів середній коефіцієнт детермінації залежності від температури становить 10%.

Найбільш залежними від температури є показники розчиненого кисню (30%) та $БСК_5$ (33%). Середній рівень залежності мають твердість (27%), pH (16%), мінералізація (13%) та сульфати (16%). Найменш залежними від температури є показники загального заліза (2%) та нітратів (10%). Зміни температури мало впливають на означені показники.

У ході дослідження було висунуто низку проміжних гіпотез щодо впливу кількості атмосферних опадів на основні гідрохімічні показники вод Південного Бугу, зокрема: розчинний кисень, біологічне споживання кисню ($БСК_5$), pH, мінералізацію, загальне залізо, твердість, нітрати та сульфати. Водночас результати побудови статистичних моделей не підтвердили значущого впливу кількості опадів на більшість із цих показників.

Для розчинного кисню жодна з моделей не продемонструвала переконливої залежності (макс. $R^2=0,0172$ для квадратичної моделі), що свідчить про переважання інших чинників (температура води, гідродинаміка, цвітіння водоростей тощо). Аналогічна ситуація спостерігалася й для $БСК_5$ − найбільший коефіцієнт детермінації для квадратичної моделі становив лише 0,10, а решта моделей показали ще слабші зв’язки.

Залежність pH від опадів також виявилася вкрай слабкою (R^2 до 0,047 для кубічної моделі), що підтверджує переважний вплив антропогенних забруднень та геохімічних умов. Моделі для мінералізації продемонстрували низьку пояснювальну здатність навіть для поліномів високого ступеня ($R^2\approx0,136$ для полінома 4-го ступеня).

Найбільш переконливим виявився вплив опадів на твердість води. Кубічна модель мала $R^2\approx0,705$, що свідчить про суттєвий нелінійний зв’язок між показниками. Це частково підтверджує гіпотезу щодо розбавлення води та зменшення концентрації йонів кальцію та магнію в періоди рясних дощів.

Для загального заліза, сульфатів і нітратів залежність від кількості опадів виявилася слабкою або практично відсутньою. Навіть найбільш точні моделі (наприклад, кубічна для сульфатів з $R^2\approx0,0534$ або для нітратів з $R^2\approx0,02$) не дозволяють говорити про визначальний вплив опадів.

Отже, висунуті гіпотези підтвердилися лише частково: у більшості випадків кількість опадів не є провідним чинником у формуванні гідрохімічного режиму річки, хоча певні тенденції на окремих ділянках (як у випадку твердості) можуть фіксуватися.

Причина слабкого впливу кількості опадів полягає в складності гідроекологічних процесів. Водна екосистема річки Південний Буг має здатність до саморегуляції через процеси розбавлення, біологічного

самоочищення, денітрифікації, осадження завислих речовин та гідродинамічних змін часто компенсують вплив опадів.

До того, на хімічний склад води суттєво впливають інші чинники – зокрема, температура води, швидкість течії, глибина, сезонність, атмосферний тиск, антропогенне навантаження, типи ґрунтів і геологічна будова басейну, які часто переважають над кліматичним параметром «кількість опадів», особливо за умов урбанізованих або сільськогосподарських територій із високим рівнем забруднення.

На основі математичних моделей, побудованих для гідрохімічних показників Південного Бугу в межах Миколаєва, встановлено, що кліматичні чинники – кількість опадів та температура повітря – мають обмежений вплив на більшість з них. Зокрема, коефіцієнт детермінації (R^2) для моделей загального заліза (0,127), $БСК_5$ (0,176), сульфатів (0,283), мінералізації (0,288), pH (0,354) та твердості (0,380) виявився низьким. Це свідчить, що ці показники лише незначною мірою пояснюються змінами опадів та температури. Наприклад, для $БСК_5$ понад 82% варіацій залишаються поза впливом кліматичних чинників, вказуючи на домінуючу роль інших факторів, таких як концентрація органічних речовин від стічних вод та гідрологічний режим. Аналогічно, для pH та мінералізації, понад 64% та 71% варіацій відповідно, залежать від некліматичних факторів, включаючи геологічні особливості та антропогенне навантаження. Дещо помітніший вплив кліматичні чинники мають на розчинений кисень (R^2=0,4484) та нітрати (R^2=0,505), пояснюючи приблизно половину їхніх варіацій. Однак, навіть для цих показників, значна частина змін обумовлена іншими впливами, такими як рівень забруднення, гідрологічний режим, наявність флори та фауни, а також скиди стічних вод.

Отже, доведено, що стан гідроекосистеми Південного Бугу у межах Миколаєва значною мірою визначається не кліматичними чинниками, а антропогенними впливами та геологічними, гідрологічними особливостями водозбору, що стало ключовим підґрунтям щодо розробки рекомендацій з інтегрованого менеджменту водних ресурсів та сталого (збалансованого) природокористування.

У представленій роботі проведено аналіз взаємозв'язків між кліматичними чинниками (опадами, температурою атмосферного повітря) та гідрохімічними показниками Південного Бугу в межах Миколаєва. Розроблено математичні моделі, які виявили низьку пояснювальну здатність впливу клімату для більшості параметрів. Виявлено, що якість води річки переважно визначається антропогенним навантаженням та геологічними особливостями. Результати обґрунтовують необхідність пріоритетного зменшення забруднення та впровадження інтегрованого басейнового менеджменту для сталого оздоровлення річкової екосистеми.

Після закінчення презентації присутніми на захисті фахівцями Мацу А.Д. були поставлені такі запитання:

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, директор НДІ екологічного проектування та

природоохоронних технологій Вінницького національного технічного університету Петрук В.Г.: У чому полягає наукова новизна дослідженя?

Мац А.Д.: По-перше, доведено за допомогою математичних моделей, що кліматичні зміни (температура, опади) мають лише другорядний вплив на якість води у Південному Бузі в межах Миколаєва. Це означає, що ключову роль відіграють саме антропогенні та локальні гідрологічні фактори. По-друге, уточнено поняття "екологічної безпеки", інтегрувавши туди кліматичний чинник як постійну загрозу. Головний результат — це міждисциплінарний підхід, який об'єднав гідрохімію, метеорологію та екологію задля визначення математичних залежностей основних показників (кисень, $БСК_5$, загальне залізо тощо) від кліматичних чинників. Результати виявилися неочікуваними: клімат пояснює лише незначну частку змін стану річки. Це дає нам наукове підґрунтя стверджувати, що для порятунку Південного Бугу в Миколаєві треба змінювати пріоритети у планах управління річковим басейном, а саме: не адаптуватись до глобального потепління, а проводити заходи щодо відновлення русла річки, наприклад, через демонтаж гребель. Також зафіксовано регіональні кліматичні тренди саме для Миколаївщини (посухи, зливи), що важливо для стратегії адаптації міста.

Доктор педагогічних наук, кандидат хімічних наук, професор, професор кафедри геоінженерії Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Кофанова О.В: 1. Як Ви оцінювали адекватність обраних поліноміальних моделей та наскільки статистично значущими є отримані результати залежності якості води від кліматичних параметрів? 2. Який саме програмно-інструментальний комплекс було застосовано для обробки статистичних даних та побудови математичних моделей залежності показників якості води від кліматичних чинників?

Мац А.Д.: По першому питанню: вибір поліноміальних моделей був зумовлений складним, нелінійним характером процесів, що відбуваються в гідроекосистемі під впливом змін клімату. Проста лінійна регресія не дозволяла відобразити критичні точки та пороги, після яких починається стрімке погіршення показників, наприклад, інтенсивна евтрофікація при досягненні певних температур. Використання кубічних моделей дозволило досягти вищих значень коефіцієнта детермінації (R^2), який для окремих параметрів, як-от твердість та мінералізація, продемонстрував вагому залежність від кліматичних коливань. Саме такий підхід дав змогу виявити, що зв'язок між температурою та хімічним складом води не є рівномірним, а має виражені сезонні екстремуми. Отже, обраний математичний апарат став інструментом для ідентифікації найбільш вразливих періодів, коли кліматичний тиск на річку стає критичним. По-другому питанню щодо програмно-інструментального комплексу було використано табличний процесор Microsoft Excel та хмарну платформу Google Earth Engine.

Доктор медичних наук, професор, проректор з проректор з науково-педагогічної роботи та питань розвитку Клименко М.О.: Андрію Дмитровичу, опишіть теоретичну базу вашого дослідження. Чиї наукові праці

стали підґрунтям для вашої роботи, що було зроблено до Вас у цьому напрямку і в чому полягає Ваш особистий крок уперед у вирішенні наукової проблеми?

Мац А.Д.: Теоретичний фундамент дослідження базується на працях провідних наукових шкіл, які заклали основи сучасного розуміння трансформації водних екосистем. Так, вихідною точкою для аналізу гідрологічного стану стали роботи В. І. Вишневського (щодо змін стоку річок України) та В. К. Хільчевського, чия методологія гідрохімічних досліджень є загальновизнаним стандартом. Оцінку екологічної безпеки та антропогенного навантаження здійснювалось, спираючись на праці Є. В. Хлобистова та М. А. Хвесика, П. М. Линника, які є фундаторами теорії сталого водокористування в Україні, а також наукова школа учених кафедри екології ЧНУ імені Петра Могили тощо. Формуючи теоретичну базу, ми спирались на світову класику лімнології, зокрема на дослідження Роберта Ветцела, що дозволило системно підійти до аналізу інформації. Питання ж сталого управління та оцінки екологічного статусу водних об'єктів розглядалися крізь призму Водної Рамкової Директиви ЄС та підходів європейської гідрологічної школи, яскравим представником якої є Гельмут Габерзак. Щодо особистого внеску, то вважаю заначити, що всупереч традиційним уявленням про визначальну роль опадів у самоочищенні річок, доведено їхній незначний вплив ($R^2<0,05$) на якість води у нижній течії Південного Бугу, що пояснюється взаємною компенсацією процесів розбавлення та змиву забруднювачів та зарегульованістю річки. Вперше визначено нелінійні поліноміальні моделі 2-го та 3-го ступенів, які дозволили точно описати вплив кліматичних чинників на стан поверхневих вод. Так, визначено, що понад 64–82% варіацій ключових показників зумовлені не кліматом, а техногенним навантаженням, що дозволило чітко розмежувати природні та антропогенні чинники дестабілізації водних ресурсів. Також використано платформу Google Earth Engine для дистанційної верифікації отриманих математичних моделей..

Кандидат біологічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри фармації, фармакології, медичної, біоорганічної та біологічної хімії Ларичева О.М.: На основі табл. 1 слайду 8 чи могли Ви надати узагальнені відмінності між поняттями «екологічна безпека водних ресурсів» та «екологічна небезпека водних ресурсів» ?

Мац А.Д.: Відповідно до теоретико-методологічних засад, викладених у п. 1.1. дисертаційної роботи, розмежування цих понять базується на системному підході до оцінки стійкості гідроекосистеми під впливом кліматичних змін та антропогенного тиску: екологічна безпека водних ресурсів розглядається як стан динамічної рівноваги, за якого сумарне навантаження на річку не перевищує її асиміляційного потенціалу. У цьому стані механізми самоочищення працюють ефективно, забезпечуючи стабільність. Безпека — це керований процес, що мінімізує екологічні ризики для соціо-екологічної системи регіону. Екологічна небезпека водних ресурсів характеризується переходом системи у кризовий стан, коли під різними впливами природні захисні бар'єри руйнуються. У такому стані спостерігається деградація водної екосистеми. Небезпека виникає тоді, коли кліматичні аномалії посилюють негативну дію техногенних факторів. Ключова відмінність, як зазначається у п.

1.1, полягає у здатності до самовідновлення: безпека передбачає збереження цієї здатності, тоді як небезпека свідчить про вичерпання екологічного резерву річки)..

Доктор біологічних наук, професор, професор кафедри медико-біологічних основ спорту та фізкультурно-спортивної реабілітації Козій М.С.: Чому Ви обрали для вивчення стану річки саме показники pH, мінералізації, БСК, жорсткості, нітратів, сульфатів тощо?

Мац А.Д.: Показники $БСК_5$ були обрані як індикатори інтенсивності деструкції органіки, швидкість якої безпосередньо залежить від зростання температури води та тривалості бездощових періодів. Мінералізація та твердість дозволяють кількісно оцінити наслідки аридизації (опустелювання) регіону, коли через дефіцит опадів відбувається концентрування солей та посилюється вплив підземного мінералізованого живлення. Вміст нітратів та сульфатів аналізувався для розуміння того, як зміна режиму опадів впливає на вимивання біогенів з агроландшафтів та їх подальшу трансформацію в умовах теплового стресу. Використання саме цих індикаторів забезпечило можливість побудувати математичні моделі, що відображають залежність між кліматичними предикторами та якістю водного середовища.

Доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Дінжос Р.В..: Чим обумовлений вибір саме нелінійних (параболічних) залежностей для опису зв’язку між температурою та гідрохімічними показниками? Чи розглядали ви інші класи функцій і за якими критеріями оцінювали адекватність обраних моделей?

Мац А.Д.: Вибір параболічної моделі (полінома другого степеня) був зумовлений двома факторами. Більшість гідрохімічних процесів, як-от споживання кисню або самоочищення, мають екстремуми. Температурний оптимум для мікрофлори означає, що при досягненні певного порогу інтенсивність процесу змінюється нелінійно. Парабола найкраще описує наявність таких критичних точок. Ми порівнювали лінійні, експоненціальні та поліноміальні моделі. Саме параболічні залежності показали вищу адекватність за коефіцієнтом детермінації (R^2), хоча він і залишався в межах низьких та помірних значень.

Доктор біологічних наук, професор, професор кафедри медико-біологічних основ спорту та фізкультурно-спортивної реабілітації Козій М.С.: Чому Ви обрали для вивчення стану річки саме показники pH, мінералізації, БСК, жорсткості, нітратів, сульфатів тощо?

Мац А.Д.: Показники $БСК_5$ були обрані як індикатори інтенсивності деструкції органіки, швидкість якої безпосередньо залежить від зростання температури води та тривалості бездощових періодів. Мінералізація та твердість дозволяють кількісно оцінити наслідки аридизації (опустелювання) регіону, коли через дефіцит опадів відбувається концентрування солей та посилюється вплив підземного мінералізованого живлення. Вміст нітратів та сульфатів аналізувався для розуміння того, як зміна режиму опадів впливає на вимивання біогенів з агроландшафтів та їх подальшу трансформацію в умовах теплового стресу. Використання саме цих індикаторів забезпечило можливість

побудувати математичні моделі, що відображають залежність між кліматичними предикторами та якістю водного середовища.

Доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили Григор'єва Л.І.: На основі яких матеріалів будувалось дослідження та які методи використовувались саме під час експериментальної роботи? Як проводився відбір проб?

Мац А.Д.: Для формування емпіричної бази було використано дані за період 1980–2024 років. Основними джерелами інформації стали: Державна звітність: екологічні паспорти Миколаївської області, регіональні доповіді про стан довкілля; матеріали Держводагентства України, Регіонального офісу водних ресурсів у Миколаївській області, Гідрометеоцентру, а також дані супутникових платформ Google Earth Engine, Copernicus та Ventusky.

Експериментальна частина дослідження базувалася на проведенні моніторингу якості поверхневих вод в акваторії Миколаєва (описано у п.3.4) із застосуванням фотометричного методу за допомогою фотометру eXactMicro20. Проби відбиралися з глибини 20–30 см у спеціальний інертний посуд із дотриманням методики, що виключає збурення осадів та потрапляння повітря. За лабораторних умов упродовж доби визначався комплекс інтегрованих показників, зокрема pH, мінералізація, загальна жорсткість та вміст біогенних елементів (нітрати, сульфати, фосфати).

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології ННІ медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили Алексєєва А.О.: 1. Чим пояснюється вибір саме поліноміальних (квадратичних та кубічних) моделей для опису залежностей, тоді як лінійні моделі показали низьку ефективність? 2. 2. Як ви можете пояснити відносно високий коефіцієнт детермінації для твердості води ($R^2 \approx 0{,}705$) у кубічній моделі впливу опадів, тоді як для інших показників він значно нижчий?

Мац А.Д.: По першому питанню: вибір поліноміальних моделей (квадратичних та кубічних) обумовлений нелінійною природою біогеохімічних процесів, на які температура впливає як каталізатор або лімітуючий чинник. Лінійні моделі виявилися малоефективними, оскільки вони не здатні відобразити складні механізми саморегуляції гідроекосистем та екстремальні значення показників при критичних температурах. Поліноміальні залежності дозволяють точніше описати параболічний характер змін, де існують певні температурні оптимуми. Зокрема, при підвищенні температури спостерігається інтенсифікація розкладу органіки (ріст БСК) та одночасне зниження розчинності кисню, що має виражений нелінійний тренд. Таким чином, саме поліноміальний підхід забезпечує адекватне математичне відображення реальної динаміки гідрохімічного стану Південного Бугу за умов кліматичних змін. По другому питання: це пов'язано зі специфікою гідрологічного режиму та геологічною будовою водозбору, де опади безпосередньо регулюють баланс між поверхневим та мінералізованим підземним живленням. Кубічна модель дозволяє найкраще описати ці складні переходи та критичні точки зміни гідрохімічного стану, які не охоплюються простими лінійними залежностями. Для інших показників вплив опадів часто нівелюється антропогенними

чинниками або біологічними процесами, тоді як твердість залишається найбільш чутливою до природної динаміки водного балансу. Отже, саме геологічна зумовленість джерела солей твердості робить цей показник найбільш залежним від кількості атмосферної вологи у порівнянні з іншими параметрами якості води.

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології ННІ медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили Крисінська Д.О.: 1. У роботі зазначено, що показник мінералізації зростає в напрямку до гирла річки. Які саме природні чи антропогенні процеси зумовлюють пікові значення цього показника саме у листопаді? 2. Чому для таких показників як загальне залізо та нітрати було виявлено найменшу залежність від температурного фактору R^2 становить лише 2% та 10% відповідно?

Мац А.Д.: По першому питанню: у цей період спостерігається стійка осіння межень, коли розбавляюча дія річкового стоку є мінімальною через вичерпання запасів поверхневих вод перед початком холодного сезону. Відсутність інтенсивних опадів та припинення вегетації призводять до того, що основне живлення річки забезпечується більш мінералізованими підземними водами. У нижній течії Південного Бугу цей ефект посилюється через нагінні явища з боку Бузького лиману, які сприяють проникненню солонуватих вод углиб русла. Крім того, зниження температури води у листопаді змінює інтенсивність сорбційних процесів, що також впливає на концентрацію розчинених солей. Антропогенний вплив у цей час залишається стабільним, проте на фоні низької водності його частка у формуванні загальної мінералізації стає більш помітною. Таким чином, листопадовий максимум є результатом природного дефіциту прісного стоку.

По другому питанню: низька залежність вмісту загального заліза (R^2=0,02) та нітратів (R^2=0,10) від температурного фактору пояснюється тим, що їхня концентрація у воді визначається переважно антропогенними та літогенними чинниками, а не термічним режимом. Для загального заліза основним джерелом є геологічні особливості водозбору та надходження зі стічними водами промислових підприємств, що мають сталий характер протягом року. Нітрати, своєю чергою, потрапляють у річкову систему внаслідок змиву мінеральних добрив з агроландшафтів та скидів господарсько-побутових стоків, де інтенсивність надходження залежить від графіку польових робіт або обсягів водовідведення, а не від температури довкілля. Хоча температура впливає на швидкість денітрифікації, цей біологічний ефект нівелюється значними обсягами зовнішнього забруднення, які значно перевищують природну здатність екосистеми до самоочищення. Таким чином, варіативність цих показників майже повністю підпорядкована техногенному навантаженню, що робить температурний чинник статистично малозначущим у моделях їхньої динаміки.

Після відповідей на запитання виступили:

Науковий керівник – кандидат геологічних наук, доцент, доцент кафедри екології **Смирнов В.М.:** Дозвольте дати коротку характеристику здобувача. Мац Андрій Дмитрович вступив до аспірантури у 2023 році, перед тим маючи

досить значний досвід участі у Міжнародних екологічних проєктах з безпеки водних ресурсів. Ще у студентські роки він брав активну участь у Міжнародному проекті під патронатом Британської Ради між ЧНУ імені Петра Могили та Університетом Західної Англії (Велика Британія), 2016; Міжнародному проекті Еразмус+ Жана Моне «Найкращі європейські практики для платформи «Водна безпека» для досягнення цілей сталого розвитку», 2018−2021; Діалоги Вишеградської групи та України щодо зміни клімату та сталого розвитку, 2021−2022. Це дозволило здобувачеві достроково підготувати дисертаційне дослідження.

Упродовж навчання в аспірантурі Андрій Мац здійснював безпосередній аналіз та практичні дослідження в межах міжнародного проєкту Еразмус+ Жана Моне Кафедра "Європейські зелені виміри" (2022−2025). Завдяки активній науковій діяльності здобувачу вдалося зібрати унікальний фактичний матеріал, що став фундаментом його дисертаційного дослідження та дозволив апробувати результати на високому рівні. Особливої уваги заслуговує його особистий внесок у підготовку навчального посібника з екологічного моніторингу та серії наукових праць у виданнях, що індексуються базами Scopus та Web of Science. Значний обсяг публікацій свідчить про глибоку інтеграцію дослідника у сучасний європейський науковий простір.

Варто підкреслити, що впродовж навчання в аспірантурі діяльність здобувача не обмежувалася виключно науковим пошуком. З 2025 року Андрій Мац набув статусу експерта НАЗЯВО, що дозволило йому безпосередньо долучитися до процесів забезпечення якості вищої освіти в Україні та отримати досвід фахової оцінки освітніх програм. Попри значне академічне навантаження, він активно реалізує свій потенціал у межах Українсько-Польського інституту ЧНУ імені Петра Могили. Виконуючи функції перекладача та лектора польських студій, Андрій Мац забезпечує ефективну комунікацію між університетами-партнерами. Така багатогранна діяльність характеризує його не лише як перспективного науковця-еколога, а й як відповідального громадського діяча та фахівця, здатного працювати в мультидисциплінарному середовищі.

Окремо слід відзначити активну участь Андрія Маца у профорієнтаційній роботі кафедри екології. Завдяки володінню сучасними інструментами візуалізації, він забезпечив якісний супровід численних публікацій та заходів, розробивши унікальний візуальний контент. Ця діяльність демонструє його здатність до реалізації креативних підходів до комунікації.

Отже вважаю, що Мац А.Д. є сформованим науковцем-екологом, яка має широкий кругозір у галузі природничих наук. Завдяки своїм здібностям та наполегливості в ході виконання власного дисертаційного дослідження абсолютно самостійно забезпечила постановку та виконання наукових завдань, збір фактичного матеріалу у польових умовах, їх обробку та аналіз отриманих результатів. Все це дозволило підготувати якісне дисертаційне дослідження, яке характеризується самостійністю, цілісністю та завершеністю, за своєю науковою новизною, теоретичним та практичним значенням результатів може бути рекомендованою до захисту у спеціалізованій вченій раді.

Рецензенти дисертаційної роботи, які наголосили на позитивних аспектах дослідження та висловили свої побажання та зауваження:

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології ННІ медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили Алексєєва А.О.: Варто підкреслити, що наша дискусія була надзвичайно змістовною. Головне завдання здобувача полягає не лише у презентації результатів, а й у вмінні фахово відповідати на запитання, що дозволяє глибше розкрити сутність наукового пошуку.

Оскільки автор надав ґрунтовні відповіді на всі поставлені запитання, дозвольте зосередитися на ключових положеннях роботи та представити рецензію на дисертаційну роботу «Оцінка впливу кліматичних змін на стан поверхневих вод» за спеціальністю 101 Екологія здобувача Андрія Дмитровича МАЦА, виконану на кафедрі екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

Дисертаційну роботу присвячено актуальній науково-прикладній проблемі − оцінці трансформації стану поверхневих вод під впливом глобальних та регіональних кліматичних змін. За умов прогресуючої аридизації південних регіонів України, зокрема Миколаївщини, де зафіксовано приріст температури на 1,0–1,5°C, питання збереження екологічної безпеки водних ресурсів набуває стратегічного значення. Автор обґрунтовано акцентує увагу на поєднанні кліматичного та антропогенного чинників, що є критично важливим для басейну Південного Бугу − системи з високим рівнем зарегульованості (понад 8000 водойм) та інтенсивним промисловим навантаженням.

Результати роботи базуються на комплексному підході, що поєднує методи класичного гідрохімічного аналізу, математичного моделювання (поліноміальні моделі) та сучасних геоінформаційних технологій. Обґрунтованість висновків підтверджується: використанням значного масиву даних за період 1980–2024 рр.; застосуванням супутникових даних платформ Google Earth Engine та Copernicus для розрахунку екологічних індексів (NDVI, BLUE, GREEN); використанням перевірених статистичних методів (трендовий аналіз, кореляції, гідротермічний коефіцієнт Селянінова).

Щодо наукової новизни результатів, то зазначу, що уточнено понятійний апарат екологічної безпеки водних ресурсів через призму кліматичної адаптації. Вперше для умов пониззя Південного Бугу встановлено кількісні параметри зв'язку між температурою води та ключовими гідрохімічними показниками за допомогою нелінійних моделей. Доведено домінуючу роль антропогенного фактору над кліматичним для більшості показників ($БСК_5$, pH, мінералізація), що дозволило переглянути пріоритети у схемах інтегрованого управління водними ресурсами регіону. Виявлено закономірності аридизації регіону та її вплив на евтрофікацію водойм через аналіз спектральних індексів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для: оновлення програм державного моніторингу вод з урахуванням кліматичних ризиків; розробки стратегій адаптації водного господарства Миколаївської області до умов глобального потепління;

гармонізації українських нормативів якості вод із вимогами Водної рамкової директиви ЄС.

Загалом позитивно оцінюючи дисертаційну роботу Маца А.Д. все ж таки виникла низка зауважень до оформлення роботи. Як і для всіх дисертаційних робіт такого рівня тест містить певну кількість орфографічних та стилістичних помилок і це абсолютно нормально, що свідчить про те, що робота була написана самостійно. Також в процес ознайомлення зі змістом роботи виникла необхідність отримати відповіді на уточнюючі запитання-зауваження до отриманих результатів, що висвітлені в експериментальних розділах:

1. Ви стверджуєте, що досить велика кількість варіацій $БСК_5$ знаходяться поза впливом кліматичних чинників. Які саме чинники, на Вашу думку, формують цей основний відсоток змін?
2. Які зміни в біологічному різноманітті (планктон, іхтіофауна) Ви зафіксували у Південному Бузі і як вони корелюють із кліматичними змінами?
3. Чому кількість опадів не стала визначальним чинником для більшості гідрохімічних показників Південного Бугу?
4. Яку роль відіграє висока зарегульованість басейну (наявність понад 8000 водойм) у погіршенні якості води за умов потепління?
5. На основі саме яких супутникових індексів Ви підтвердили процес заростання берегів та зниження прозорості води?
6. Які конкретні відмінності між нормативами України та ЄС Ви виділяєте як найбільш критичні для гармонізації законодавства?

Мац А.Д.: Дуже дякую шановному рецензенту за докладний аналіз роботи та висловлені запитання та дозвольте дати на них відповіді:

1. Хоча кліматичні чинники суттєво впливають на інтенсивність біохімічних процесів, основна частка варіацій показника $БСК_5$ у межах Миколаївського регіону формується під дією прямого антропогенного тиску. Домінуючу роль у цьому процесі відіграють скиди недостатньо очищених господарсько-побутових та промислових стічних вод, які постачають у річкову систему значні обсяги легкоокиснюваної органіки. Крім того, важливим фактором є зливовий стік з міських територій, який під час дощів вимиває органічні забруднення безпосередньо в акваторію, створюючи пікові навантаження, що не корелюють із сезонними температурними трендами.
2. Підвищення середньорічної температури води та тривалі періоди межені сприяють інтенсифікації процесів евтрофікації, що створює сприятливі умови для розвитку малочутливих до дефіциту кисню видів зоопланктону, зокрема коловерток (Rotatoria). В іхтіофауні спостерігається витіснення цінних аборигенних видів більш витривалими інвазійними формами, що безпосередньо пов’язано з термічним навантаженням та погіршенням гідрохімічного режиму.
3. Опади діють двонаправлено — розбавляють концентрації та одночасно змивають забруднювачі з поверхні, що нівелює сумарний статистичний ефект.
4. Висока зарегульованість басейну Південного Бугу (понад 8000) у поєднанні з кліматичним потеплінням створює кумулятивний негативний ефект для якості води. Наявність такої кількості штучних об’єктів призводить до

перехоплення та фактичної втрати весняного стоку, який є критично важливим для промивання русла та розбавлення забруднювачів. В умовах підвищення температури у стоячій воді ставків та водосховищ швидкість течії різко знижується, що мінімізує насичення води киснем та пригнічує природні процеси самоочищення.

5. Для підтвердження процесів деградації прибережних зон та зміни оптичних властивостей води було використано спектральний аналіз супутникових даних Sentinel-2, зокрема індекси NDVI та BLUE. Зростання вегетаційного індексу NDVI з 0,132 до 0,165 свідчить про інтенсивне розширення площі прибережно-водної рослинності та заростання мілководь, що є прямим наслідком евтрофікації. Водночас зафіксоване зниження показника синього спектра (BLUE) з 0,113 до 0,084 вказує на погіршення прозорості води через збільшення концентрації завислих речовин та фітопланктону. Такі тренди корелюють із підвищенням температури та уповільненням водообміну, що створює сприятливі умови для розвитку водоростей. Отримані дистанційні дані дозволили об’єктивно оцінити масштаби трансформації екосистеми на значних ділянках русла, де наземний моніторинг є ускладненим. Таким чином, поєднання біофізичних індексів дозволило математично підтвердити візуальні спостереження щодо замулення та «цвітіння» води у нижній течії Південного Бугу.

6. Стандарти ЄС є жорсткішими, зокрема щодо вмісту нітратів та БСК, а також базуються на басейновому принципі управління.

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології ННІ медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили Алексєєва А.О.:

Я цілком задоволена відповідями здобувача. Тому дозвольте озвучити мій висновок як рецензента. Отже, дисертаційне дослідження Андрія Дмитровича Маца на тему «Оцінка впливу кліматичних змін на стан поверхневих вод» є цілісною, самостійною 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». Робота виконана згідно з Порядком підготовки здобувачів ступеня доктора філософії (постанови КМУ № 261 та № 283) та вимогами щодо присудження відповідного ступеня (постанова КМУ № 44). Відповідно, представлена робота може бути рекомендованою для подання до спеціалізованої вченої ради та представлення до офіційного захисту.

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології ННІ медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили Крисінська Д.О.: Дисертаційна робота Андрія Дмитровича МАЦА «Оцінка впливу кліматичних змін на стан поверхневих вод» присвячена актуальній науково-прикладній проблемі − оцінці трансформації стану поверхневих вод під впливом глобальних та регіональних кліматичних змін. За умов прогресуючої аридизації південних регіонів України, зокрема Миколаївщини, де зафіксовано приріст температури на 1,0–1,5°C, питання збереження екологічної безпеки водних ресурсів набуває стратегічного значення. 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.

Результати роботи базуються на комплексному підході, що поєднує методи класичного гідрохімічного аналізу, математичного моделювання (поліноміальні моделі) та сучасних геоінформаційних технологій. Обґрунтованість висновків підтверджується: використанням значного масиву даних за період 1980–2024 рр.; застосуванням супутникових даних платформ Google Earth Engine та Copernicus для розрахунку екологічних індексів (NDVI, BLUE, GREEN); використанням перевірених статистичних методів (трендовий аналіз, кореляції, гідротермічний коефіцієнт Селянінова).

Щодо наукової новизни результатів, то зазначу, що у роботі уточнено понятійний апарат екологічної безпеки водних ресурсів через призму кліматичної адаптації. Вперше для умов пониззя Південного Бугу встановлено кількісні параметри зв'язку між температурою води та ключовими гідрохімічними показниками за допомогою нелінійних моделей. Доведено домінуючу роль антропогенного фактору над кліматичним для більшості показників ($БСК_5$, pH, мінералізація), що дозволило переглянути пріоритети у схемах інтегрованого управління водними ресурсами регіону. Виявлено закономірності аридизації регіону та її вплив на евтрофікацію водойм через аналіз спектральних індексів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для: оновлення програм державного моніторингу вод з урахуванням кліматичних ризиків; розробки стратегій адаптації водного господарства Миколаївської області до умов глобального потепління; гармонізації українських нормативів якості вод із вимогами Водної рамкової директиви ЄС.

Загалом позитивно оцінюючи дисертаційну роботу Маца А.Д. все ж таки виникла потреба зазначити дискусійні запитання до автора:

1. З чим пов’язане зафіксоване в дослідженні зниження індексу BLUE з 0,113 до 0,084 на основі супутникових даних?

2. Ви вказуєте на аномальне зростання мінімальних температур повітря у 2021 році (+1 °C). Як ця температурна аномалія відбилася на стані гідроекосистеми Південного Бугу?

3. У висновках йдеться про те, що опади можуть діяти на якість води у протилежних напрямах. Поясніть цей механізм «нівелювання ефекту», який ви виявили у статистичних моделях.

4. На основі чого було зроблено висновок про аридизацію територій Миколаївщини та наближення клімату до напівпустельного типу?

Мац А.Д.: Дякую, Діано Олександрівно, за ґрунтовну рецензію та Ваші запитання. Дозвольте дати на них відповіді:

1. Зниження індексу BLUE з 0,113 до 0,084 свідчить про зниження прозорості води внаслідок посилення процесів евтрофікації та антропогенного впливу).

2. Аномальне зростання мінімальних температур повітря у 2021 році на +1 °C мало суттєвий каскадний вплив на стан гідроекосистеми Південного Бугу, перш за все через посилення теплового навантаження на водний об'єкт. Підвищення нічних та зимових температур нівелює природне охолодження води, що призводить до раннього початку вегетаційного періоду та інтенсивної евтрофікації. Такі умови стимулюють надмірний розвиток фітопланктону, що в результаті спричиняє значне погіршення кисневого режиму через активне споживання розчиненого кисню на процеси дихання та деструкції органіки.).

3. Механізм «нівелювання ефекту», виявлений у статистичних моделях, пояснюється подвійною і суперечливою роллю атмосферних опадів у формуванні якості річкової води. З одного боку, збільшення кількості опадів сприяє зростанню водного стоку, що призводить до гідравлічного розбавлення наявних у річці забруднювачів і зниження їхньої концентрації. З іншого боку, зливові потоки спричиняють інтенсивний площинний змив з навколишніх територій, приносячи в русло нові порції органіки, мінеральних добрив та завислих речовин. Ці два процеси діють одночасно і в протилежних напрямках: дещо очищуючи воду шляхом розведення, опади водночас насичують її новими інгредієнтами забруднення. В результаті такого накладання різноспрямованих векторів впливу підсумковий статистичний зв’язок (коефіцієнт детермінації) між кількістю опадів та якістю води часто виявляється слабким або нелінійним. Це свідчить про те, що опади не просто змінюють об’єм води, а динамічно перерозподіляють баланс між привносом та розбавленням речовин у гідроекосистемі.).

4. Висновок про аридизацію територій Миколаївщини та наближення клімату до напівпустельного типу зроблено на основі вивчення процесів дефіциту зволоження за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова (ГТК), зростання кількості «тропічних ночей» та підвищення середньорічної температури на 0,61°C за десятиріччя.

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології ННІ медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили Крисінська Д.О.: Висловлені питання спрямовані на уточнення окремих моментів в роботі і не торкаються концептуальних положень дисертації, не зменшують наукової цінності та практичної значущості результатів дослідження і не впливають на високу позитивну оцінку дисертаційної роботи. Я цілком задоволена відповідями здобувача. Тому дозвольте озвучити загальний висновок як рецензента. Отже, 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». Робота виконана згідно з Порядком підготовки здобувачів ступеня доктора філософії (постанови КМУ № 261 та № 283) та вимогами щодо присудження відповідного

ступеня (постанова КМУ № 44). Вважаю, що дисертація може бути рекомендована до захисту.

В **обговоренні** дисертаційного дослідження взяли участь:

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, директор НДІ екологічного проектування та природоохоронних технологій Вінницького національного технічного університету Петрук В.Г.: Вельмишановні колеги, я думаю, що ми сьогодні підтримаємо роботу аспіранта. Представлена робота вирішує актуальне науково-практичне завдання − кількісну оцінку внеску кліматичних змін у трансформацію якості водних ресурсів. Особливо хочу відзначити міждисциплінарний підхід автора: поєднання гідрохімічного моніторингу з методами математичного моделювання дозволило об’єктивно розмежувати природні та антропогенні чинники впливу на екосистему Південного Бугу.

Наукова новизна підтверджується виявленням нелінійних залежностей, що має критичне значення для прогнозування екологічних ризиків у межах Миколаївського регіону. Робота виконана на високому методичному рівні, а її результати є необхідним підґрунтям для гармонізації українських стандартів моніторингу з європейськими нормами. Дисертація відповідає всім формальним вимогам, вона відповідає спеціальності 101 Екологія, і тому пропоную її рекомендувати до офіційного захисту.

Доктор педагогічних наук, кандидат хімічних наук, професор, професор кафедри геоінженерії Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Кофанова О.В: Шановні колеги! Як фахівець у галузі хімічних наук, хочу відзначити високу якість опрацювання первинної гідрохімічної інформації. Автору вдалося систематизувати значний масив моніторингових даних за ключовими показниками ($БСК_5$, розчинений кисень, мінералізація), що є фундаментом для подальшого моделювання. Особливої уваги заслуговує науково обґрунтоване розмежування природного фону та техногенного навантаження. Це дозволило спростувати стереотип про домінуючий вплив глобального потепління на локальні водні об'єкти, вивівши на перший план проблему антропогенного забруднення. Робота структурована логічно, термінологічний апарат (зокрема поняття екологічної безпеки) уточнено коректно. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, і може бути рекомендовано до захисту.

Кандидат технічних наук («Екологічна безпека»), к.е.н., доцент, доцент кафедри промислового маркетингу Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Кофанов О.Є.: Дисертаційна робота відзначається чіткою структурою та логікою побудови системи показників екологічної безпеки. Автор не просто провів моніторинг, а запропонував дієвий інструментарій для оцінювання стану водних екосистем. Для мене, як фахівця з екологічної безпеки, критично

важливим є обґрунтований висновок про те, що саме антропогенний фактор залишається визначальним для Південного Бугу. Це дозволяє переглянути пріоритети в управлінні водними ресурсами регіону, спрямовуючи ресурси на контроль джерел забруднення. Окрім того, інтеграція кліматичного чинника у поняття «екологічної безпеки» робить це дослідження актуальним у контексті сучасних світових трендів сталого розвитку. Роботу підтримую, вона може бути рекомендована до захисту.

ВИСНОВОК
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Маца Андрія Дмитровича на тему: «Оцінка впливу змін клімату на стан поверхневих вод», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 101 Екологія

1. Обґрунтування вибору теми дослідження. Кліматичні зміни належать до пріоритетних напрямків міжнародної екологічної політики, а також національних досліджень. Більшість басейнів річок і водоймищ України, з яких, переважно, забезпечуються потреби населення у воді, не можна вважати екологічно безпечними. Так, у деяких районах території Північного Причорномор'я відхилення в якості води від норми сягає 70–80%. Актуальність дослідження зумовлена стрімким посиленням кліматичних змін, що безпосередньо впливають на кількість та якість поверхневих вод. В Україні упродовж останніх 30 років річковий стік зменшився на 10–25% у різних регіонах, що вже спричиняє дефіцит водних ресурсів у південних областях. Це загрожує стабільності водопостачання, функціонуванню екосистем і вимагає науково обґрунтованої оцінки впливу кліматичних змін для розробки адаптаційних стратегій. Особливо вразливим є Північне Причорномор'я − аридна територія з нестійким водним балансом, високим рівнем водоспоживання та значним антропогенним навантаженням. Це загрожує стабільності водопостачання, функціонуванню екосистем і вимагає науково обґрунтованого оцінювання впливу кліматичних змін для розробки адаптаційних стратегій сталого управління водними ресурсами.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційне дослідження виконано відповідно до наукової тематики кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили «Екологічна безпека водних ресурсів»/«Water Security» (державний реєстраційний номер 0124U004562). Тема дисертаційного дослідження затверджена рішенням вченої ради Чорноморського національного університету імені Петра Могили (протокол № 11 від 29.11.2023 р.).

3. Мета і завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є комплексна оцінка впливу кліматичних змін на стан поверхневих водних екосистем з обґрунтуванням лімітуючих чинників, які є ключовими у функціонуванні і еволюції водних об'єктів та розробка математичної моделі впливу змін клімату на стан поверхневих вод.

Мета дослідження визначила такі **завдання**:

1. Теоретичний аналіз літературних джерел з проблем змін клімату та оцінки стану поверхневих природних гідроекосистем, нормативно-законадавчої бази щодо інтегрованого менеджменту водних ресурсів;

2. Визначити основні індикатори змін клімату, які вливають 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 гідроекосистеми річки; дослідження динаміки інтегрованих гідрохімічних показників гідроекосистеми Південного Бугу;

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

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

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

4. Об’єкт дослідження.

Об’єктом дослідження є процеси впливу змін клімату на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

5. Предмет дослідження.

Предметом дослідження є зміна кліматичних чинників та їх вплив на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

6. Методи дослідження.

При проведенні роботи було використано загальнонаукові методи дослідження: аналіз, синтез, спостереження, узагальнення та системно-структурний підхід. Застосовано методи гідрометеорологічного, екологічного моніторингу та фізико-хімічні методи визначення концентрації забруднюючих речовин. Для обробки та оцінювання отриманих даних використано методи математичного аналізу, кореляційного та непараметричного статистичного аналізу. Окрему увагу приділено використанню геоінформаційних технологій. Зокрема, застосовано платформу Google Earth Engine (GEE), як потужного інструменту для просторового аналізу супутникових знімків та кліматичних даних, що дозволив здійснити оцінку змін температурного режиму та кількості опадів у часовій динаміці. Використовували супутникові знімки для моніторингу змін поверхневих вод, а саме колекції знімків: Sentinel-2 для візуалізації водного покриву та визначення характеристик якості води (наприклад, хлорофіл, мутність); Landsat (наприклад, Landsat 8) для аналізу змін на більшій часовій шкалі. Також використовувались дані Copernicus Climate Change Service та ресурс Ventusky для уточнення метеорологічних показників у просторі та часі. Застосування ГІС-методів забезпечило візуалізацію кліматичних змін, виявлення температурних аномалій та моделювання ризиків для водних екосистем. Також для проведення

обчислювальних операцій, обробки та візуалізації даних було використано хмарне середовище розробки Google Colaboratory/Colab (хмарне середовище розробки), що дозволило ефективно виконувати моделювання та побудову 3D-графіків-поверхонь, були реалізовані за допомогою мови програмування Python. Дослідження проводилось на території міста Миколаєва в межах басейну річки Південний Буг.

7. Наукова новизна дослідження: *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, $БСК_5$, pH, 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, $БСК_5$, pH, 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.

8. Теоретичне значення. *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.

9. Практичне значення. На основі отриманих результатів про низький вплив кліматичних чинників на більшість гідрохімічних показників визначено, що основні зусилля та інвестиції у поліпшення якості води мають бути спрямовані не на адаптацію до кліматичних змін як першочерговий фактор впливу на якість, а на радикальне зменшення антропогенного навантаження. Розроблені математичні моделі можуть слугувати базою для майбутніх, більш комплексних систем моніторингу та прогнозування якості води. Розуміння відносної ролі кліматичних та некліматичних чинників дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів та управлінських зусиль. Замість того, щоб зосереджуватися виключно на кліматичних моделях, які можуть давати обмежену інформацію для певних гідрохімічних параметрів, органи влади та відповідальні організації можуть переорієнтувати свою діяльність на прямі джерела забруднення, забезпечуючи більш швидкий та відчутний результат у поліпшенні якості вод Південного Бугу. Інтегроване басейнове управління має враховувати не лише кліматичні загрози, а й, що важливіше, комплексний антропогенний вплив. Це сприятиме розробці більш ефективних регіональних програм з охорони та раціонального використання водних ресурсів, що є критично важливим для сталого розвитку Миколаївщини.

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).

10. Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням, виконаним автором. Здобувачем було проведено аналіз наукової літератури, визначені напрямки та завдання досліджень, виконані основні експерименти та вимірювання досліджуваних параметрів, проведено аналіз та систематизація результатів дослідження. Вимірювання концентрації забруднюючих речовин проводилися спільно із науковим керівником в навчально-науковій лабораторії хімії та екологічного моніторингу Навчально-наукового медичного інституту Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Обговорення результатів досліджень, викладених в дисертації, проводили разом зі співавторами статей. Друковані публікації з висвітлення отриманих даних підготовлено як одноосібно, так й у співавторстві.

11. Апробація результатів дослідження. Результати дисертаційної роботи були оприлюднені, обговорені та опубліковані в матеріалах українських та міжнародних науково-практичних конференцій: XVII Міжнародна наукова конференція «Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення» [«Ольвійський форум – 2023: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі»] (м. Миколаїв, 15–18 червня 2023 р.) / Чорноморський національний університет імені Петра Могили; V Міжнародної наук.-практ. конф. «Європейські виміри сталого розвитку», (м. Київ,

КНУХТ, 1–2 червня 2023 р.); V International Scientific-Practical Conference [«Water Supply and Wastewater Disposal: designing, construction, operation and monitoring»], (Lviv, 11−13 October, 2023) / Lviv Polytechnic National University; IV Міжнар. наук.-практичної конф. «Екологія. Ресурси. Енергія. Багатофункціональні еко- та енергоефективні, реурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях», (м. Київ, КНУБА, 22−24 лист. 2023 р.); XXVI Всеукр. наук.-практ. конф. присвячена Всесвіт. дню науки в ім'я миру та розвитку «Могилянські читання – 2023»: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти (м. Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили, 6–10 листоп. 2023 р.); International Conference on European Dimensions of Sustainable Development, (Kyiv, June 1−2, 2023 Kyiv); XVI Миколаївські міські екологічні читання «Збережемо для нащадків», (м. Миколаїв, 23 листопада 2023 р.); Інтернет-конференції «Сталий розвиток ЄС – кращі практики для України», (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 22 лютого 2024 року); IX Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 28−29 березня 2024 р.); XVIII Міжнародна наукова конференція «Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення» [«Ольвійський форум – 2024: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі»] (м. Миколаїв, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 20–23 червня 2024 р.); IX Міжнародний з'їзд екологів, (м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет. 25–27 вересня 2024 р.); 8-й Міжнародний конгрес: «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», (Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 16–18 жовтня 2024 р.); XXVII Всеукр. наук.-практ. конф. присвяченої Всесвіт. дню науки в ім'я миру та розвитку «Могилянські читання – 2024: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти. Природничі науки», (м. Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили, 6–10 листоп. 2024 р.); V Міжнародна науково-практична конференція : Енергія. Ресурси. Екологія : багатофункціональні еко- та енергоефективні, реурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях, (Київ, КНУБА, 27−29 листопада 2024 р.); II Всеукр. наук.-практ. конф. «Комплексне використання ресурсів довкілля», (Дрогобич, Держ. вищ. навч. заклад «Донецький національний технічний університет», 20 листопада 2024 р.); X Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», (Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 27−28 березня 2025 р.); International Conference «European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects», (Mykolaiv, PMBSNU, 5–7 June 2025); IX Міжнародний щорічний симпозіум – 2025 «Здоров'я довкілля та біобезпека: наука, інженерія та застосування» (Обудський університет, Будапешт, Угорщина, 08–09 травня 2025 р.); Ольвійський форум – 2025: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі: XXII Міжнар. наук. конф. : Радіаційна, техногенно-екологічна та біологічна безпека : стан, шляхи і заходи покращення, (м. Миколаїв, ЧНУ імені Петра Могили, 20 червня 2025 р.).

12. Публікації. Основні положення і результати дослідження викладені у 35 наукових і методичних працях, з яких 6 статей у виданнях, що індексуються у базах даних SCOPUS/WOS, 4 статі у наукових фахових виданнях України категорії «Б».

Список опублікованих праць за темою дисертації

Підручники, навчальні посібники

1. Мітрясова О. П. Практикум з екологічного моніторингу довкілля : навчальний посібник / Олена Мітрясова, Віктор Смирнов, **Андрій Мац** ; Чорноморський національний університет імені Петра Могили. – Одеса : Олді+, 2025. – 180 с. ISBN 978-966-289-305-2 *(Розділ ІІ. Методи вимірювання показників водного середовища).*

Статті у виданням, що індексуються у базах даних SCOPUS/WOS

2. Mitryasova Olena, Koszelnik Piotr, Gruca-Rokosz Renata, Smyrnov Victor, Smyrnova Svitlana, Kida Małgorzata, Ziembowicz Sabina, Bezsonov Yevhen, **Mats Andrii**. 2021. Environmental and Geochemical Parameters of Bottom-Sediment from the Southern Bug Estuary, *Journal of Ecological Engineering*, 2021, 22(2), 244–255. DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/131120 *(обробка, аналіз матеріалу).*

3. Mitryasova Olena, Pohrebennyk Volodymyr, Salamon Ivan, Oleksiuk Alina, **Mats Andrii**. 2021, Temporal Patterns of Quality Surface Water Changes, *Journal of Ecological Engineering*, 2021, 22(4), 283–295. DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/134199 *(обробка, аналіз матеріалу).*

4. Mitryasova Olena, Cieśla Maksymilian, Nosyk Anastasia, **Mats Andrii**. 2021, Hydrochemical Indicators Dynamic in Surface Water, *Journal of Ecological Engineering*, 2021, 22(8), 111–122. DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/140264 *(Збір, обробка матеріалу).*

5. **Mats, A.**; Mitryasova, O.; Salamon, I.; Smyrnov, V. 2025. Spatial-Temporal Characteristics of Surface Water Quality. *Journal of Ecological Engineering*, 2025, 26(1), 204−212. https://www.jeeng.net/Spatial-Temporal-Characteristics-of-Surface-Water-Quality,195514,0,2.html *(Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання статті).*

6. **Mats, A.;** Mitryasova, O.; Salamon, I.; Kochanek, A. 2025. Atmospheric air temperature as an integrated indicator of climate change. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 2025, 26(3), 352−360.
DOI: https://doi.org/10.12912/27197050/200307 *(Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання статті).*

7. **Mats, A.,** Mitryasova, O., Salamon, I., Smyrnov, V. 2025. Rainfall Regime Shifts as a Proxy for Hydrological Climate Change Vulnerability. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 27, 738−745. https://doi.org/10.54740/ros.2025.059 *(Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання статті).*

Статті у фахових виданнях України категорії «Б»

8. **Mats A.** Assessment of the Status of the Surface Water of the Buzky Estuary within Mykolaiv City. *Environmental Problems*, 2023. Vol. 8, Num. 4, P. 217–223. https://doi.org/10.23939/ep2023.04.217

9. **Мац, А.** (2024). Дослідження особливостей температурного режиму міста Миколаєва і області в контексті питання зміни клімату. *Екологічна безпека та природокористування*, 51(3), 59–71. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.3.59-71

10. **Mats, A.** (2024). Study of the overregulation of the Southern Buh river. *Journal Environmental Problems*, 9(4), 235–240. https://doi.org/10.23939/ep2024.04.235

11. Мітрясова, О., **Мац, А.,** Чвир, В., & Смирнов, В. (2025). Порівняльний аналіз нормативів якості атмосферного повітря і поверхневих вод в Україні та ЄС. Екологічна безпека та природокористування, 52(4), 28–44. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.4.28-44 (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання статті).*

Розділи монографій

12. Mitryasova O. Environmental Risk and State of Surface Water Resources / Olena Mitryasova, Volodymyr Pohrebennyk, Yevhen Bezsonov, **Andrii Mats** // Climate Change & Sustainable Development: New Challenges of the Century: **Monograph** / Editors: prof. Olena Mitryasova & prof. Piotr Koszelnik. – Mykolaiv: PMBSNU – Rzeszow: RzUT, 2021. – P. 279–288. *(Обробка, аналіз матеріалу, написання публікації).*

13. **Mats, A.,** Mitryasova, O., Salamon, I. Assessing Climate Change Through Atmospheric Temperature Dynamics // European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects: Monograph / editors prof. Olena Mitryasova, prof. Chad Staddon. – Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, 2025, 171–180. https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/2804 *(Обробка, аналіз матеріалу, написання публікації).*

Матеріали та тези доповідей конференцій

14. Мітрясова О. П. Екологічна якість вод Бузького лиману відповідно водної рамкової директиви / О.П. Мітрясова, В.М. Смирнов, **А.Д. Мац** // Збірник тез XVII Міжнародної наукової конференції «Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення» [«Ольвійський форум – 2023: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі»] (м. Миколаїв, 15–18 червня 2023 р.) / Чорноморський національний університет імені Петра Могили. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2023. С. 53–56. (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації)*.

15. Mitryasova O., Smyrnov V., Chvyr V., **Mats A.** The Nexus between Indicators of Surface Water Quality on the Small River for Better Basin Management. Європейські виміри сталого розвитку : матеріали V Міжнародної наук.-практ. конф. (м. Київ, 1–2 червня 2023 р.). К.: НУХТ, 2023 . С. 44. – URL: https://drive.google.com/file/d/1-McCwalNhrYQJfb-srDUI3NfPiLnHOvQ/view (дата звернення : 28.11.2023) (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації)*.

16. Mitryasova O. Assessment of Surface Water Quality of the Buzky Estuary within the Mykolaiv City / Olena Mitryasova, Viktor Smyrnov, **Andrii Mats** // Proceedings of the V International Scientific-Practical Conference [«Water Supply

and Wastewater Disposal: designing, construction, operation and monitoring»], (Lviv, 11−13 October, 2023) / Lviv Polytechnic National University, 2023. – P. 14. DOI https://doi.org/10.51500/7826-33-9 ISBN 978-617-7826-33-9 (on-line) (*Обробка, аналіз матеріалу, написання публікації, доповідь на конференції)*.

17. Mitryasova O., Smyrnov V., Mats A. The Status of the Surface Waters of the Buzky Estuary within Mykolaiv City: Pre-war and Wartime Periods: VIIIth International Annual Symposium-2024 on "Environmental Health and Biosecurity: Sciences, Engineering and Application", Obuda University, Budapest−Hungary, 09−10 May, 2024, P. 183–184. https://symposium.rkk.uni-obuda.hu/wp-content/uploads/2025/07/Proceedins-Book_VIII_Symposium-2024.pdf

18. **Мац А.,** Мітрясова О., Смирнов В. Дослідження якості вод Бузького лиману за інтегрованими гідрохімічними показниками. Екологія. Ресурси. Енергія. Багатофункціональні еко- та енергоефективні, реурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях : робоча програма та тези IV-ї Міжнар. наук.-практичної конф., (м. Київ, 22−24 лист. 2023 р.). Київ, КНУБА, 2023. С. 46–47. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2023/11/jere_2023_program_tezy.pdf (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації)*.

19. Мітрясова О. П., Смирнов В. М., **Мац А. Д.** Дослідження сольового складу поверхневих вод Бузького лиману. Могилянські читання – 2023 : досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні : глобальний, національний та регіональний аспекти : тези доповідей XXVI Всеукр. наук.-практ. конф. присвяченої Всесвіт. дню науки в ім'я миру та розвитку, м. Миколаїв, 6–10 листоп. 2023 р. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2023. С. 323−324. (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації, доповідь на конференції).*

20. Mitryasova O., Smyrnov V., **Mats A.,** Chvyr V. Correlation Analysis of the Water Quality Indicators on the Small River. International Conference on European Dimensions of Sustainable Development : Selected Papers, Kyiv, June 1−2, 2023 Kyiv : NUFT, P. 176–186. (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації, доповідь на конференції).*

21. Мітрясова О. П., **Мац А. Д.,** Смирнов В. М. Моніторинг якості поверхневих вод за інтегрованими гідрохімічними показниками. Збережемо для нащадків : матеріали XVI Миколаївських міських екологічних читань, м. Миколаїв, 23 листопада 2023 р. Миколаїв, Управління екології департаменту ЖКГ Миколаївської міської ради, Миколаївський міський центр екологічної інформації та культури [та ін.]. Миколаїв, 2023, С. 133–134. (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації, доповідь на конференції).*

22. **Мац А.Д.,** Смирнов В.М., Мітрясова О.П. Водна безпека міста Миколаєва за умов воєнного стану. Сталий розвиток ЄС – кращі практики для України : матеріали Інтернет-конференції, м. Львів, 22 лютого 2024 року. Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2024. С. 129–134. *(Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації).*

23. **Мац А.Д.,** Мітрясова О.П., Смирнов В.М. Питання екологічної безпеки водних ресурсів міста Миколаєва за умов воєнного часу : Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване

природокористування. IX Міжнародний молодіжний конгрес, 28−29 березня 2024, Україна, Львів : зб. матер. − Електрон. дан. Київ : Ярочéнко Я. В., 2024. С. 49. https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2024/feb/33847/zbirnykixmizhnarodnyymolodizhnyykongres28-29032024fin.pdf on-line.ISBN 978-617-7826-43-8 (On-line) (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації).*

24. **Мац А.Д.,** Смирнов В.М., Мітрясова О.П. Світова практика нормативів якості поверхневих вод для господарсько-побутових потреб : Збірник тез XVIII Міжнародної наукової конференції «Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення» [«Ольвійський форум – 2024: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі»] (м. Миколаїв, 20–23 червня 2024 р.) / Чорноморський національний університет імені Петра Могили. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2024. С. 192–195. (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації).*

25. Мітрясова О.П., **Мац А.Д.,** Смирнов В.М. Моніторинг якості поверхневих вод у межах міста Миколаєва. IX Міжнародний з'їзд екологів : доповіді, м. Вінниця, 25–27 вересня 2024 р. Вінницький національний технічний університет, 2024, 126–128. − URL : https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/854/1490/2770-2 (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації).*

26. **Мац А.Д.,** Мітрясова О.П., Смирнов В.М. Якість поверхневих вод в акваторії міста Миколаєва. 8-й Міжнародний конгрес : «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» : збірник матеріалів, Україна, Львів, 16–18 жовтня 2024, Національний університет «Львівська політехніка», 2024. – С. 20. – URL : https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2024/oct/36233/stalyy-rozvytok-zakhyst-navkolyshnoho-seredovyshcha-enerhooshchadnist-20241.pdf ISBN 978-617-8285-40-1 (on-line) (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації)*

27. **Мац А. Д.** Дослідження зарегульованості річки Південний Буг за параметром динаміки кількості водосховищ. Могилянські читання – 2024 : досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні : глобальний, національний та регіональний аспекти. Природничі науки : тези доповідей XXVII Всеукр. наук.-практ. конф. присвяченої Всесвіт. дню науки в ім'я миру та розвитку, м. Миколаїв, 6–10 листоп. 2024 р. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2024. С. 19−22. https://surl.li/nmempx

28. **Мац А.,** Мітрясова О., Смирнов В. Засоби Google Earth Engine для дослідження стану гідроекосистеми. V Міжнародна науково-практична конференція : Енергія. Ресурси. Екологія : багатофункціональні еко- та енергоефективні, реурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях : Робоча програма та тези доповідей, Київ, 27−29 листопада 2024 р., Київ : КНУБА, 2024. С. 98− 99. https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/ere-2024-ua.pdf (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації)*

29. **Мац А.Д.,** Мітрясова О.П., Смирнов В.М. Оцінювання динаміки кількості опадів Миколаївської області. ІІ Всеукр. наук.-практ. конф. : Комплексне використання ресурсів довкілля : зб. матер., 20 листопада 2024 р., Дрогобич : Держ. вищ. навч. заклад «Донецький національний технічний університет». Дрогобич : ДВНЗ «ДонНТУ», 2024. С. 109–111. (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації, доповідь на конференції).*

30. **Мац А.Д.,** Мітрясова О.П. Дослідження зміни температури атмосферного повітря як показника кліматичних змін: Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. X Міжнародний молодіжний конгрес, 27−28 березня 2025, Україна, Львів : зб. матер. − Електрон. дан. Київ : Ярочéнко Я. В., 2025, С. 133. ISBN (on-line) 298-617-7826-65-0 https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2025/feb/38049/zbirnykhmizhnarodnyymolodizhnyykongres27-28032025.pdf (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації, доповідь на конференції).*

31. **Mats, A.,** Mitrysova, O. Assessing Climate Change through Atmospheric Temperature DynamicsEuropean Green Dimensions : Fundamental, Applied, and Industrial Aspects : Proceedings of the International Conference 5–7 June 2025, Mykolaiv. – Mykolaiv : PMBSNU, 2025. P. 57. https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/2803 *(Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації).*

32. **Mats, A.** Reservoir Dynamics and Overregulation in the Southern Buh River Basin: Regional Analysis and Challenges: Proceedings of the International Conference «European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects», June 5−7, 2025, Mykolaiv. P. 56. https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/2803

33. **Мац А.,** Мітрясова О. Визначення Blue-індексів гідроекосистеми Бузького лиману: Ольвійський форум – 2025 : стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі : XXII Міжнар. наук. конф. : Радіаційна, техногенно-екологічна та біологічна безпека : стан, шляхи і заходи покращення, 20 червня 2025 р., м. Миколаїв : XX Наук. конф. : тези, Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2025, С. 149–153. *(Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації).*

34. **Mats A.,** Mitryasova O. Dynamics of Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand (BOD_5) in Surface: Proceedings of the VI International Scientific-Technical Conference «Water Supply and Wastewater Disposal: designing, construction, operation and monitoring», 15−17 October 2025, Ukraine, Lviv. – Kyiv : Ya.Yarochenko, 2025. P. 29. (*Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації*).

35. Mitryasova O., Smyrnov V., **Mats A.,** Kovalska O. Hydrochemical Status Deterioration and Water Resilience Challenges in the Southern Buh Estuary : IXth International Annual Symposium – 2025 “Environmental Health and Biosecurity: Sciences, Engineering and Application”, 08−09 May, 2025, Budapest, Hungary : abstracts, Budapest : Obuda University, 2025, P. 163–164. *(Збір, обробка, аналіз матеріалу, написання публікації).*

13. Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 290 машинописних сторінок (разом з додатками 310 машинописних сторінок), із яких основний зміст роботи викладено на 272 сторінках. У тексті дисертаційної роботи налічується 106 рисунків і 9 таблиць. Список використаних джерел містить 156 найменувань, з яких 63 англійською мовою.

14. Характеристика особистості здобувача.

За час навчання в аспірантурі Мац Андрій Дмитрович зарекомендував себе як ініціативна, творча та цілеспрямована особистість із високим рівнем самоорганізації та професійної відповідальності. Завдяки високим показникам у навчальному рейтингу та глибокому аналітичному мисленню, Мац А.Д. сформувався як зрілий і вмотивований науковець. Особливої уваги заслуговує його здатність інтегрувати результати досліджень, зокрема отримані в межах участі у міжнародних проєктах, а саме: Еразмус+ Жана Моне «The Best European Practices for the „Water Security“ Platform to Achieve the Goals of Sustainable Development»; «Visegrad and Ukraine Dialogues on Climate Change and Sustainable Development», Visegrad Fund; Еразмус+ Жана Моне «Європейські зелені виміри», безпосередньо в освітній процес спеціальності 101 Екологія. Андрій Мац є співавтором навчального посібнику (ним написано окремий розділ навчального посібнику, який присвячено методам моніторингу водного середовища), що підтверджує його вміння трансформувати складні наукові дані у методичні матеріали. Його активна позиція як експерта НАЗЯВО та робота в Українсько-Польському інституті свідчать про високий рівень громадської відповідальності та здатність працювати у міжнародному мультидисциплінарному середовищі. Мац А.Д. також демонструє високий рівень професійної етики, стратегічного мислення та відданість розвитку сучасної системи вищої освіти й міжнародної академічної співпраці. Його професійна діяльність сприяє впровадженню європейських стандартів якості освіти та зміцненню міжнародних науково-освітніх зв’язків. Водночас він активно підтримує розвиток інноваційних підходів у сфері освіти, науки та міжкультурної комунікації. Поєднання глибокої фахової експертизи з навичками сучасної комунікації та щирим прагненням до розвитку екологічної науки характеризує Андрія Дмитровича Маца як перспективного фахівця, здатного вирішувати складні завдання сучасного науково-освітнього простору.

15. Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертація виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури. Структура та зміст дисертації характеризуються логічною послідовністю викладу матеріалу, науковою обґрунтованістю та належним рівнем академічної культури.

16. Рецензенти рекомендують: відповідно до **пп. 15, 16** Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової

спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, ***пропонується такий склад разової ради:***

Голова ради:

Григор'єва Людмила Іванівна, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

Рецензент:

Алексєєва Анна Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

Офіційні опоненти:

Кватернюк Сергій Михайлович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет;

Совгіра Світлана Василівна, доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри біології та хімії, Уманський національний університет;

Шибанова Алла Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, НУ «Львівська політехніка».

Усі члени разової спеціалізованої вченої ради не мають реального чи потенційного конфлікту інтересів щодо здобувача Маца Андрія Дмитровича (зокрема, є його близькою особою) та/або його наукового керівника.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Маца Андрія Дмитровича:

«За» – 16

«Проти» – немає

«Утримались» – немає

Презентація Маца Андрія Дмитровича на 15 сторінках додається.

Голова засідання –
Завідувач кафедри екології, професор,
доктор біологічних наук **Людмила ГРИГОР'ЄВА**

Секретар засідання
кандидат географічних наук,
доцент, доцент кафедри екології **Лариса ПАТРУШЕВА**

Оцінка впливу змін клімату на стан поверхневих вод

Галузь знань 10 Природничі науки

Спеціальність 101 Екологія

Андрій Дмитрович МАЦ, здобувач PhD 3 року навчання
Кафедра екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили

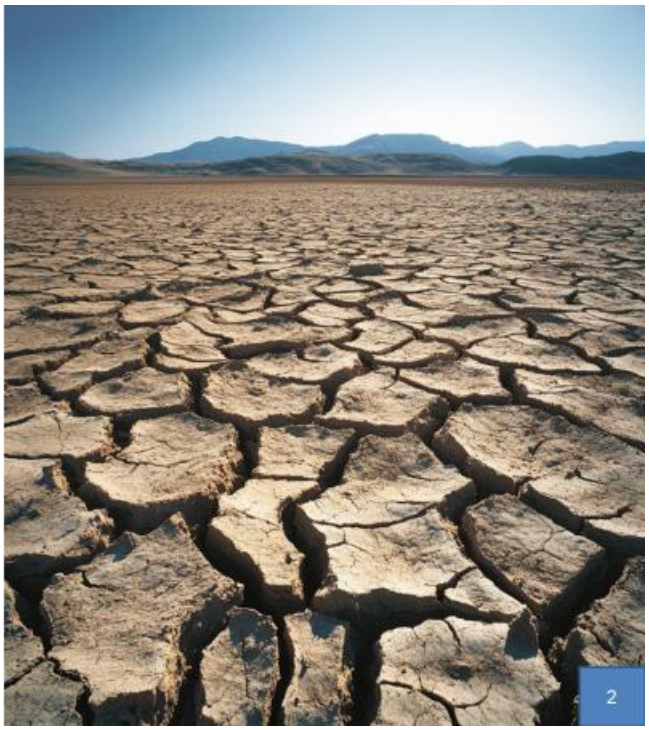
Науковий керівник: **Віктор Миколайович СМИРНОВ**, к.геолог.н., доцент, доцент кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили

1

АКТУАЛЬНІСТЬ

Кліматичні зміни — пріоритет міжнародної екологічної політики. В Україні за останні 30 років річковий стік зменшився на **10–25%**.

У Північному Причорномор'ї відхилення якості води від норми сягає **70–80%**. Це створює дефіцит ресурсів та загрожує екосистемам регіону.



2

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Комплексна оцінка

Аналіз впливу кліматичних змін на стан поверхневих водних екосистем з обґрунтуванням лімітуючих чинників.

Математичне моделювання

Розробка моделі впливу змін клімату на стан поверхневих вод для прогнозування майбутніх змін.

3

ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Теоретичний аналіз літературних джерел з проблем змін клімату та оцінки стану поверхневих природних гідроекосистем, нормативно-законодавчої бази щодо інтегрованого менеджменту водних ресурсів;
2. Визначити основні індикатори змін клімату, які вливають 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 гідроекосистеми річки; дослідження динаміки інтегрованих гідрохімічних показників гідроекосистеми Південного Бугу;
5. Оцінювання впливу кліматичних чинників на стан гідроекосистеми Південного Бугу у межах Миколаївської області
6. Розробка математичної моделі щодо впливу кліматичних чинників на стан гідроекосистеми Південного Бугу у межах міста Миколаєва;
7. Визначення та обґрунтування рекомендацій з інтегрованого менеджменту водних ресурсів та сталого (збалансованого) природокористування.

4

ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ

Об'єкт

Процеси впливу змін клімату на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

Предмет

Зміна кліматичних чинників та їх безпосередній вплив на якісні та кількісні показники гідроекосистеми.

5

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

- Загально-наукові методи дослідження: аналіз, синтез, спостереження узагальнення та системно-структурний підхід.
- Методи гідрометеорологічного, екологічного моніторингу, фізико-хімічні методи визначення показників якості води.
- Методи математичного аналізу та непараметричного статистичного аналізу.
- Інструментарій ГІС та ДЗЗ: Google Earth Engine (GEE); Sentinel-2; Landsat 8; Copernicus Climate Change Service.

Дослідження проводилось на території міста Миколаєва в межах басейну річки Південний Буг.

6

ПУБЛІКАЦІЇ ТА АПРОБАЦІЯ

Основні положення і результати дослідження викладені у 36 наукових і методичних працях, з яких 1 навчальний посібник, 7 статей у виданнях, що індексуються у базах даних SCOPUS/WOS, 5 статей у наукових фахових виданнях, 2 розділи у міжнародних колективних монографіях.

Впровадження результатів:

- 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).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Таблиця 1 - Різниця між поняттями «екологічна безпека водних ресурсів» і «екологічна небезпека водних ресурсів»

Критерій	Екологічна безпека водних ресурсів	Екологічна небезпека водних ресурсів
Стан середовища	Сталий (збалансований), підтримує екологічну рівновагу.	Потенційно загрозливий, дестабілізований
Вплив на людина та довкілля	Забезпечує здоров'я, добробут і збереження біорізноманіття.	Спричиняє ризики для здоров'я, руйнування екосистем і втрату біорізноманіття
Джерела впливу	Раціональне природокористування, ефективне управління, моніторинг.	Антропогенне забруднення, неефективне управління, відсутність контролю.
Ціль	Гарантувати якісну воду, запобігати деградації.	Виявити, оцінити та мінімізувати шкідливі впливи на водне середовище.
Приклади прояву	Чисті водойми, дотримання норм, інтегроване управління.	Забруднення, евтрофікація, неконтрольовані скиди, зниження водності, зміна клімату.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Таблиця 2 - Порівняльна характеристика нормативів якості поверхневих вод для господарсько-побутових потреб в Україні та світі.

№п/п	Показник	Україна	ЄС	США
1.	Температура води, °С	-	-	-
2.	Колір, см	10	без аномалій	15
3.	pH	6,5–8,5	6,0–9,0	6,5–8,5
4.	Жорсткість, мг-екв/дм³	7	12	7
5.	Лужність,		-	400
6.	Кальцій, мг/дм³	200	150	160
7.	Магній, мг/дм³	50	-	100
8.	Мінералізація, мг/дм³	1000	1500	1500
9.	Хлориди, мг/дм³	350	200	250
10.	Сульфати, мг/дм³	500	150	250
11.	Сульфіди, мг/дм³	0	-	-
12.	Нітрати, мг/дм³	45	50	0,01
13.	Нітрити, мг/дм³	3,3	-	0,001
14.	Фосфати, мг/дм³	3,5	0,2	0,05
15	Цианди, мг/дм³	0,1	0,05	0,025
16.	Зважені речовини, мг/дм³	0,75+фон (30)	-	-
17.	Розчинний кисень, мгO₂/дм³	≥4	-	≥6
18.	БСК, мгO₂/дм³	≤ 6 (при 20°С)	-	≤3 (при 20°С)
19.	ХСК, мгO₂/дм³	30	-	16
20.	Амоній-йони, мг/дм³	0,5	0,1	0,25
21.	Ферум загальний, мг/дм³	0,3	0,1	0,3
22.	Нафтопродукти, мг/дм³	0,1	-	0,01
23.	СПАР, мг/дм³	0,5	0,3	-
24.	Хром(+3), мг/дм³	0,5	0,02	0,001
25.	Хром(+6), мг/дм³	0,05		
26.	Цинк, мг/дм³	1,00	0,50	5,00
27.	Купрум, мг/дм³	1,00	0,02	1,30
28.	Алюміній, мг/дм³	0,5	0,2	0,2
29.	Феноли, мг/дм³	0,001	0,001	0,004
30.	Кадмій, мг/дм³	0,001	0,001	0,005
31.	Нікол, мг/дм³	0,1	-	0,610
32.	Меркурій, мг/дм³	0,0005	0,0005	0,000012
33.	Коліформи кількість/дм³	≤100	50/100 см³	130/100 см³

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

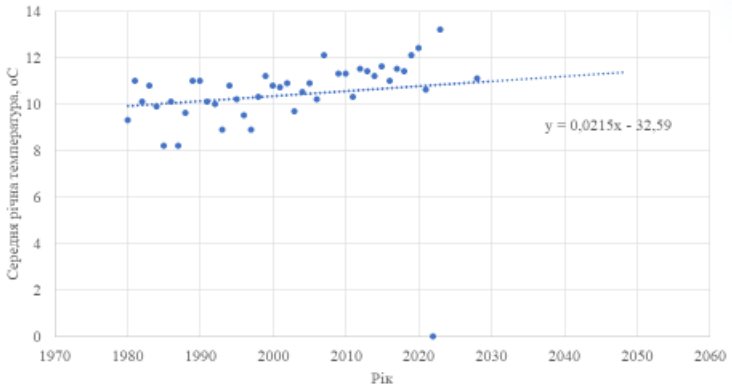


Рис. 1. Динаміка зміни середньої річної температури з 1980 по 2024 роки.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

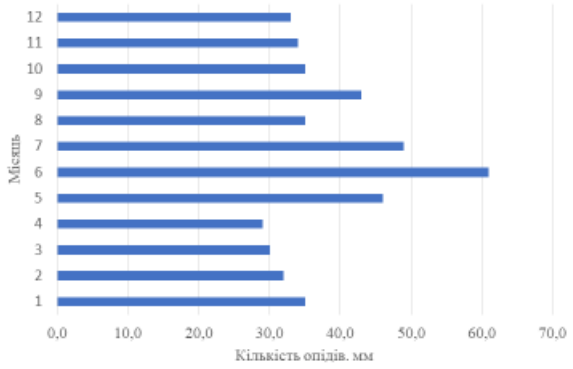


Рис. 2. Середня місячна кількість опадів (мм) у Миколаївській області упродовж 1981–2024 рр.

Таблиця 3 - Значення кількості опадів та ГТК Селянінова упродовж 1981–2024 років.

Показник	Сезон	Миколаївська область	Миколаїв
Кількість опадів, мм	Зима	90	104
	Весна	100	105
	Літо	125	150
	Осінь	97	114
	Рік	409	469
Коефіцієнт зволоження Селянінова (ГТК)	Тепла пора року	0,71	0,83

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

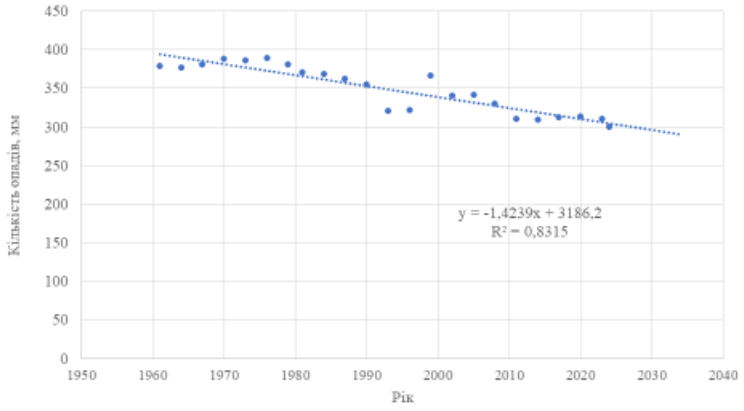


Рис. 3. Річна зміна кількості опадів упродовж 1961–2024 років по Миколаївській області.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

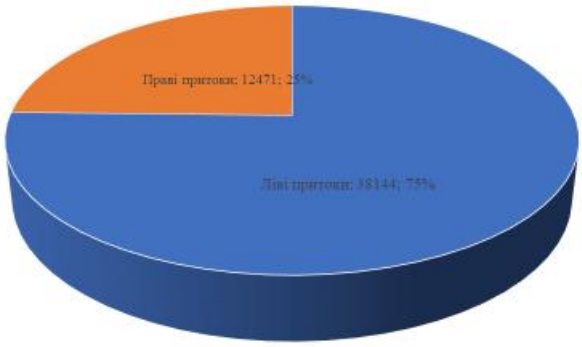


Рис. 4. Розподіл площі водозбору приток Південного Бугу (км²) підпорядковуються закономірностям Фібоначчі.

13

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

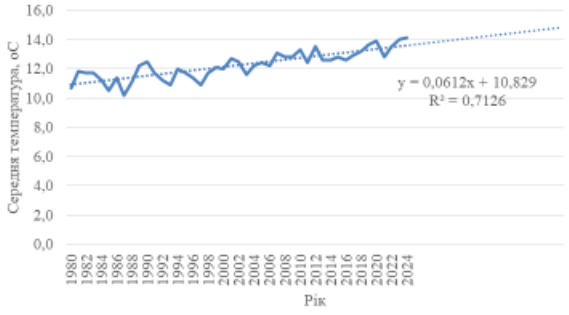


Рис. 5. Динаміка зміни середньої температури води у межах міста Миколаєва упродовж 1980–2024 років.

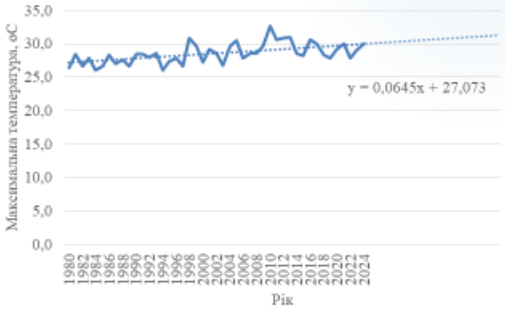


Рис. 6. Динаміка зміни максимальної температури води у межах міста Миколаєва упродовж з 1980–2024 років.

14

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

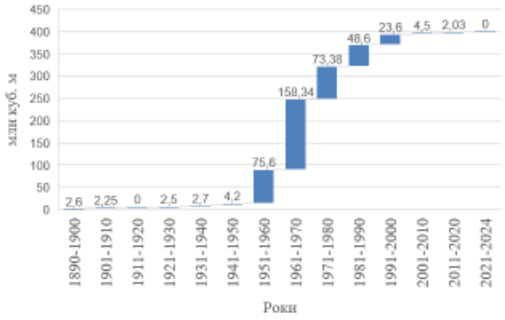


Рис. 7. Динаміка ємності водосховищ басейну річки Південний Буг.

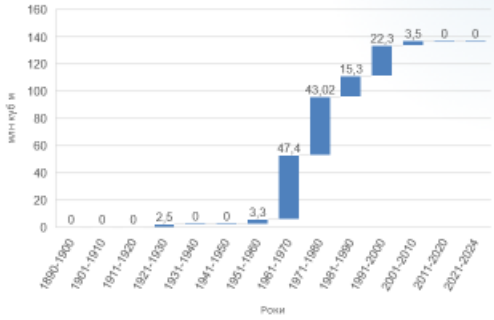


Рис. 8. Динаміка ємності водосховищ річки Південний Буг у межах Миколаївської області.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Рис. 9. Щільність розташування водосховищ річки Південний Буг.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

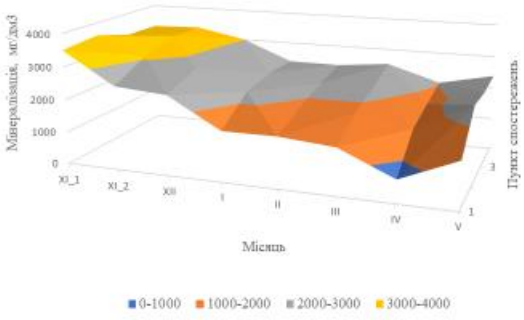


Рис. 10. Динаміка мінералізації води по пунктах спостережень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

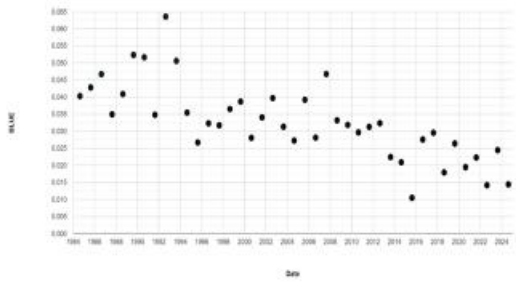


Рис. 10. BLUE індекс за період з 1984 по 2024 роки Бузького лиману у точці спостережень (46.975073, 31.949205).

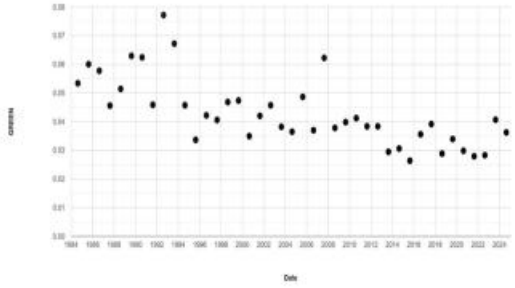


Рис. 11. GREEN індекс за період з 1984 по 2024 роки Бузького лиману у точці спостережень (46.975073, 31.949205).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

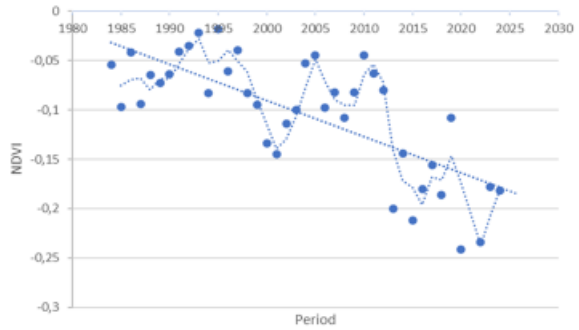


Рис. 12. NDVI індекс за період з 1984 по 2024 роки Бузького лиману у точці спостережень (46.975073, 31.949205).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

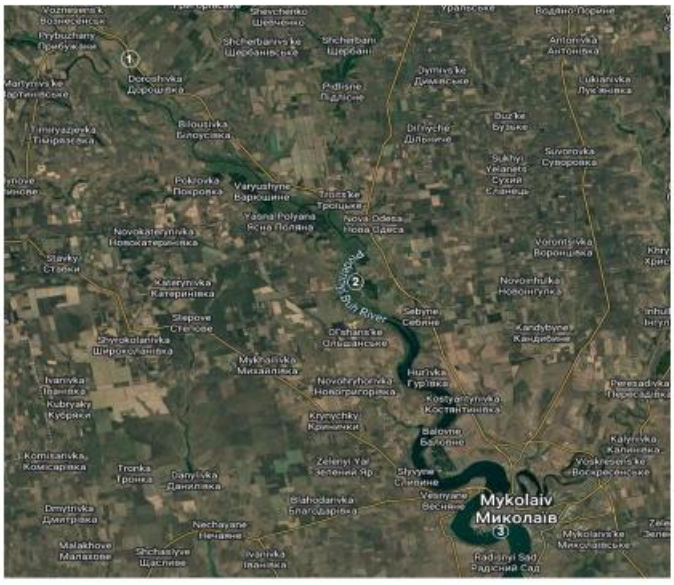


Рис. 13. Пункти спостережень:

1. с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська; 47.521062, 31.415568);
2. с. Ковалівка (47.250418, 31.736822);
3. Бузький лиман (м. Миколаїв, район ТЕЦ; 46.942608, 31.988113).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

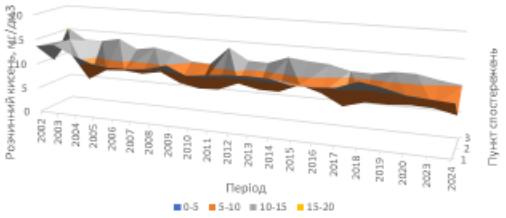


Рис. 14. Динаміка зміни вмісту розчинного кисню у пунктах спостережень 1, 2, 3.

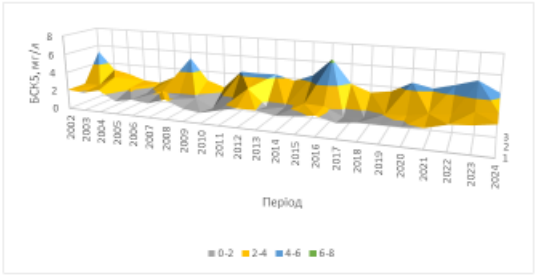


Рис. 15. Динаміка зміни $БСК_5$ у пунктах спостережень 1, 2, 3.

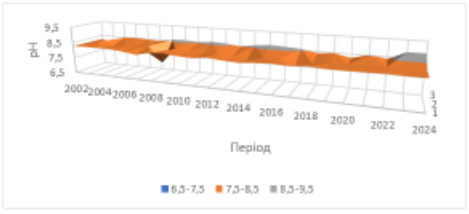


Рис. 16. Динаміка зміни pH у пунктах спостережень 1, 2, 3.

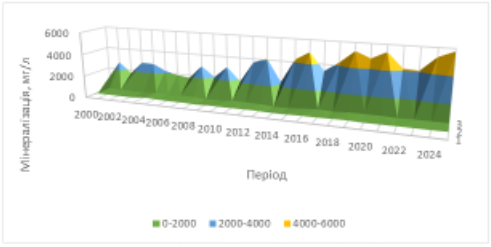


Рис. 17. Динаміка зміни мінералізації у пунктах спостережень 1, 2, 3.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Таблиця 4 - Залежність інтегрованих показників від температури поверхневих вод

№/п	Показник	Середній коефіцієнт детермінації залежності від температури, %
1.	Розчинний кисень	30
2.	$БСК_5$	33
3.	pH	16
4.	Мінералізація	13
5.	Твердість	27
6.	Залізо загальне	2
7.	Сульфати	16
8.	Нітрати	10

Класифікація показників за ступенем залежності:

- ❑ Висока та середня залежність ($R^2 > 25\%$): $БСК_5$ та Розчинний кисень. Твердість.
- ❑ Слабка залежність ($10\% < R^2 < 20\%$): pH, Мінералізація, Сульфати, Нітрати.
- ❑ Відсутність залежності ($R^2 < 5\%$): Залізо загальне.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

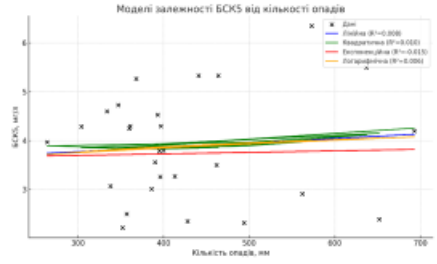


Рис. 18. Моделі залежності $БСК_5$ від кількості опадів.

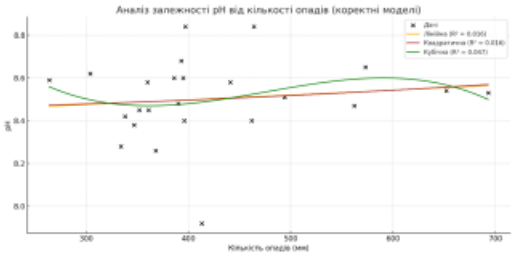


Рис. 19. Моделі залежності pH від кількості опадів.

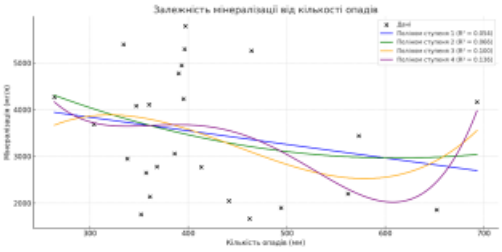


Рис. 20. Моделі залежності мінералізації від кількості опадів.

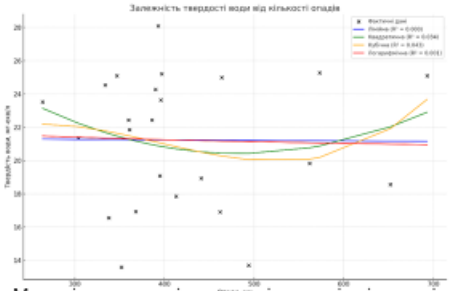


Рис. 21. Моделі залежності твердості води від кількості опадів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

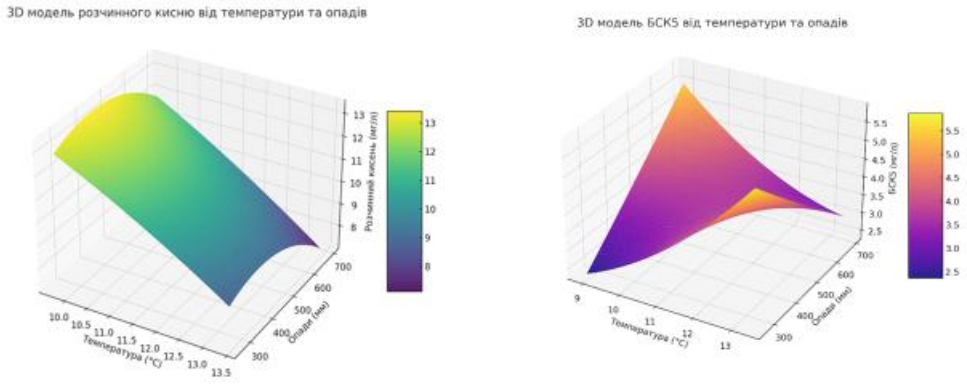
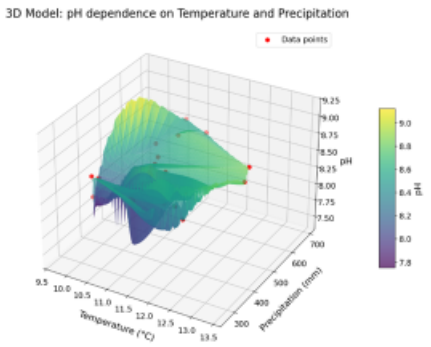


Рис. 22. 3D модель DO, $БСК_5$ від температури та кількості атмосферних опадів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ



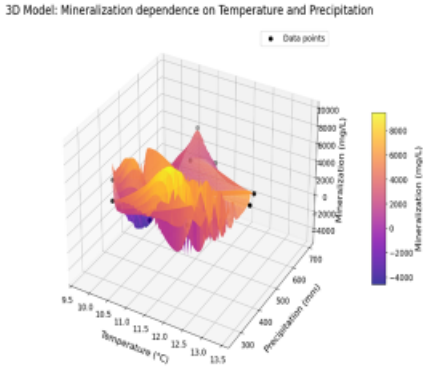


Рис. 23. 3D моделі pH, мінералізації від температури та кількості атмосферних опадів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

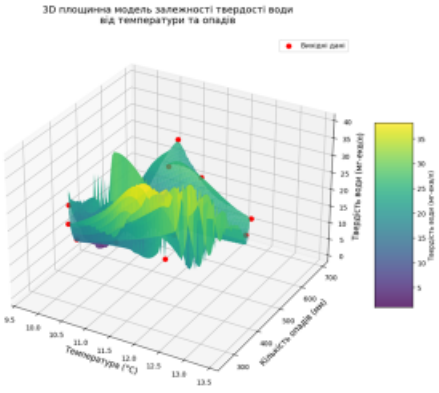


Рис. 24. 3D моделі твердості від температури та кількості атмосферних опадів.

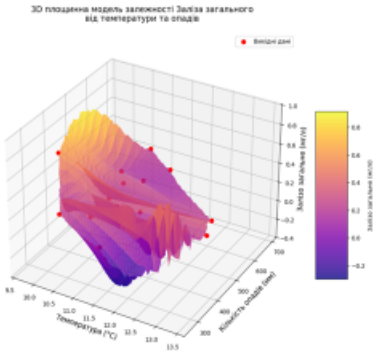


Рис. 25. 3D моделі загального заліза від температури та кількості атмосферних опадів.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано понятійний апарат у сфері водного менеджменту та **уточнено** зміст термінів «екологічна безпека» та «екологічна небезпека» водних ресурсів. Визначено, що безпека полягає у забезпеченні сталого функціонування екосистем та гарантуванні якості води, тоді як небезпека охоплює ризики деградації та втрати водності.
Встановлено, що сучасне трактування цих понять потребує обов'язкового врахування кліматичних змін як критичного чинника виникнення екологічних ризиків та формування адаптаційних механізмів управління басейновими системами.
Показано результати порівняльного аналізу стандартів якості поверхневих вод України та ЄС. Виявлено необхідність подальшої гармонізації вітчизняного законодавства з вимогами Водної рамкової директиви, зокрема в частині переходу до басейнового принципу управління.
Встановлено, що європейські нормативи щодо вмісту нітратів та БСК є суворішими, що вимагає вдосконалення системи національного екологічного моніторингу для досягнення «доброго» екологічного стану вод.
Проаналізовано динаміку глобальних та регіональних кліматичних змін. Підтверджено стійку тенденцію до зростання середньої температури повітря, яка у 2023 році перевищила доіндустріальний рівень на 1,2°C, що провокує трансформацію гідроекосистем та почастішання екстремальних метеоявищ.
Показано, що на регіональному рівні (Миколаївщина) приріст середньої температури повітря склав 1,0–1,5°C порівняно з базовим періодом 1961–1990 рр.
Встановлено доцільність використання температури атмосферного повітря та кількості опадів як ключових інтегрованих параметрів для оцінки кліматичного впливу на стан водних об'єктів.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано стан водних екосистем Миколаївщини за 1980–2024 рр. із залученням даних ГІС-платформ (Google Earth Engine, Copernicus), фондових матеріалів та власних експериментів.
Встановлено інтенсивне зростання середньорічної температури повітря в регіоні (на **0,61°C за 10 років**), що супроводжується аридизацією територій та дефіцитом зволоження згідно з розрахунками ГТК Селянінова.
Показано трансформацію клімату регіону до напівпустельного типу, що характеризується збільшенням кількості "тропічних ночей" та нерівномірністю опадів при загальному річному показнику 409–469 мм.
Встановлено критичний рівень антропогенної зарегульованості басейну Південного Бугу (понад 8000 водойм), що призводить до втрати весняного стоку та пригнічення процесів природного самоочищення річки.
Визначено, що середня щільність штучних водойм сягає одного об'єкта на кожні 10 км русла, що є основним фактором сповільнення течії.
Показано, що гідрохімічний режим характеризується високою твердістю (до **20 мг-екв/дм^3**) та сезонною варіативністю мінералізації, пік якої припадає на листопад з наступним розбавленням під час зимово-весняного водопілля.
Проаналізовано динаміку спектральних індексів, що підтверджує погіршення стану екосистеми: зниження прозорості води (індекс **BLUE**: 0,113 → 0,084) та активне заростання акваторій (ріст **NDVI**: 0,132 → 0,165).
Встановлено інтенсифікацію процесів евтрофікації (ріст індексу **GREEN**) та збіднення біорізноманіття, де в структурі планктону та іхтіофауни домінують лише резистентні до забруднення види.
Обґрунтовано необхідність впровадження адаптаційних стратегій управління водними ресурсами для нівелювання ризиків, викликаних поєднанням кліматичних викликів та високого антропогенного навантаження.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано ключові гідрохімічні показники (інтегровані: pH, БСК, мінералізація, твердість), обраних за критеріями чутливості до кліматичних змін та екологічної значущості.
Показано, що поліноміальні квадратичні та кубічні моделі ефективніше описують нелінійні залежності у гідроекосистемі, ніж стандартні лінійні наближення.
Встановлено помірну кореляцію температури води з рівнем розчиненого кисню (R^2=30%) та $БСК_5$ (33%), що підтверджує термічну зумовленість інтенсивності біохімічних процесів.
Виявлено слабку залежність від температури для показників мінералізації, pH та сульфатів (13–16%), а також практичну відсутність впливу на вміст загального заліза (2%).
Доведено неспроможність гіпотези про визначальний вплив опадів на якість води. Для більшості показників $R^2 < 0,05$, що пояснюється взаємною компенсацією ефектів розбавлення та змиву забруднювачів. Винятком є твердість води ($R^2 \approx 0,705$), яка демонструє складну нелінійну відповідь на кількість опадів.
Встановлено, що кліматичні чинники (температура повітря та опади) сумарно пояснюють лише близько половини варіацій для нітратів (R^2=0,505) та розчиненого кисню (R^2=0,448).
Показано, що понад 64–82% змін ключових показників ($БСК_5$, pH, мінералізація) зумовлені некліматичними чинниками: антропогенним навантаженням (стічні води), геологічною будовою та специфікою гідрологічного режиму в межах Миколаєва.
Обґрунтовано, що стан гідроекосистеми Південного Бугу є переважно результатом техногенного впливу, що вимагає зміщення фокусу в стратегіях управління з суто кліматичної адаптації на інтегрований басейновий менеджмент та контроль скидів.

29

Дякую за увагу!

30