УДК 504.4:556.53:626.81:502.17:551.583
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.5-68.19

ПОРІВНЯННЯ СЦЕНАРІЇВ ЗМЕНШЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА РІЧКИ ХАДЖИДЕР І АЛКАЛІЯ МЕТОДОМ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ

Дрозд О.М.[1] (orcid.org/0000-0003-4856-8589),
Дядін Д.В.[2] (orcid.org/0000-0003-3421-3592)
[1]Estación Experimental de Aula Dei, EEAD-CSIC
Avenida Montañana 1005, 50059, Zaragoza, España
[2]Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
вул. Васильківська, 37, 03022, м. Київ
odrozd@eead.csic.es, dmdyadin@gmail.com

Посилення посушливості клімату й нестійкості природного зволоження актуалізує відновлення зрошення як умову стабілізації сільськогосподарського виробництва та забезпечення продовольчої безпеки держави. Водночас виконання природоохоронних зобов'язань України потребує збереження біорізноманіття і водозалежних екосистем. Для малих річок ризики формуються внаслідок водозабору, зарегулювання стоку, високої розораності водозборів, порушення прибережних захисних смуг, надходження ерозійного і дренажного стоку, поживних речовин та засобів захисту рослин. Кумулятивний характер цих впливів зумовлює необхідність комплексного порівняння водогосподарських, агроекологічних і природоохоронних заходів. Метою дослідження було сформувати та порівняти альтернативні сценарії зменшення навантаження на річки Хаджидер і Алкалія та пов'язані з ними водозалежні екосистеми НПП «Тузловські лимани». Застосовано адаптований підхід до багатокритеріального оцінювання, що поєднував системний опис території, структурний аналіз взаємовпливів, експертне визначення пріоритетності заходів, оцінювання корисності сценаріїв і аналіз чутливості. Провідними чинниками трансформації системи визначено високу частку орних земель, зміни й регулювання річкового стоку, кліматично зумовлений дефіцит води та поверхневий водозабір. Найбільшу залежність від сукупного впливу виявлено для водного біорізноманіття малих річок і біорізноманіття охоронюваних лиманів. Для порівняння сформовано водогосподарський, агроекологічний та інтегрований сценарії. Найвищу інтегральну корисність отримав інтегрований сценарій, пріоритетність якого зберігалася під час аналізу чутливості. Результати мають експертно-сценарний характер і можуть бути використані для визначення пріоритетів відновлення малих річок, екологічно орієнтованого планування зрошення та обґрунтування обмежень господарської діяльності на територіях, прилеглих або гідрологічно пов'язаних з об'єктами природно-заповідного фонду і територіями Смарагдової мережі. *Ключові слова:* малі річки, зрошуване землеробство, зміна клімату, водозалежні екосистеми, багатокритеріальне оцінювання.

Comparison of scenarios for reducing pressures on the Khadzhyder and Alkaliia Rivers using multi-criteria decision analysis. Drozd O., Diadin D.

Increasing climate aridity and the growing variability of natural moisture availability have made the restoration of irrigation increasingly important for stabilising agricultural production and safeguarding Ukraine's food security. At the same time, meeting the country's environmental commitments requires the conservation of biodiversity and water-dependent ecosystems. Small rivers are affected by water abstraction, flow regulation, the high proportion of cropland within their catchments, degradation of riparian protection zones, and inputs of erosion and drainage runoff, nutrients, and crop protection products. The cumulative nature of these pressures highlights the need for an integrated comparison of water-management, agroecological, and conservation measures. This study aimed to develop and compare alternative scenarios for reducing pressures on the Khadzhyder and Alkaliia Rivers and the associated water-dependent ecosystems of Tuzlovski Lymany National Nature Park. An adapted multi-criteria assessment approach was applied, combining a systems-based description of the study area, structural analysis of interactions among system components, expert prioritisation of measures, utility-based scenario assessment, and sensitivity analysis. The principal drivers of system transformation were identified as the high proportion of cropland, changes in and regulation of river flow, climate-induced water scarcity, and surface water abstraction. Aquatic biodiversity in small rivers and biodiversity in protected lagoons were found to be the components most dependent on cumulative system pressures. Three alternatives were compared: a water-management scenario, an agroecological scenario, and an integrated scenario. The integrated scenario achieved the highest overall utility and remained the top-ranked alternative during sensitivity analysis. The results are expert- and scenario-based and therefore represent a relative ranking of alternatives under the adopted assumptions. The proposed approach can support the prioritisation of small-river restoration measures, environmentally responsible irrigation planning, and the justification of restrictions on economic activities in areas adjacent to or hydrologically connected with protected areas within Ukraine's Nature Reserve Fund and Emerald Network sites. *Key words:* small rivers, irrigated agriculture, climate change, water-dependent ecosystems, multi-criteria assessment.

Постановка проблеми. Південь України характеризується поєднанням інтенсивного сільськогосподарського використання території з наявністю великих водно-болотних комплексів міжнародного значення. Дефіцит природного зволоження обмежує продуктивність землеробства та зумовлює потребу

© Дрозд О.М., Дядін Д.В., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

у розвитку зрошення, тоді як інтенсифікація сільськогосподарського виробництва, зміни землекористування і водного режиму можуть посилювати навантаження на малі річки та пов'язані з ними водозалежні екосистеми. За таких умов постає науково-практична проблема узгодження аграрного розвитку і водогосподарської діяльності із завданнями збереження природного біорізноманіття.

Національний природний парк «Тузловські лимани» охоплює один із найцінніших природних комплексів Північно-Західного Причорномор'я. Система лиманів Шагани – Алібей – Бурнас має статус водно-болотного угіддя міжнародного значення та виконує важливі функції збереження водоплавних і навколоводних птахів, гідробіонтів і прибережних оселищ [1, 2]. Річки Хаджидер і Алкалія гідрологічно пов'язані з лиманною системою парку. Їхні пониззя сполучені із системою лиманів Хаджидер, Алібей, Солоний і Бурнас, а пригирлові ділянки належать до комплексу природних і трансформованих водотоків НПП «Тузловські лимани» [3]. Для цих малих річок характерні виражена сезонна мінливість стоку, тривалі маловодні періоди та переривчастість водного режиму. Навіть епізодичний річковий приплив впливає на водний і сольовий баланс пригирлових ділянок, їх кисневий і трофічний режими, надходження до лиманів розчинених і завислих речовин.

Уразливість цієї системи посилюється в умовах зміни клімату. Розрахунки водного балансу квазізакритих лиманів Північно-Західного Причорномор'я засвідчують збільшення дефіциту прісної води та дають підстави віднести Тузловську групу до водойм, чутливих до скорочення стоку з водозборів [4]. Поєднання зростаючого випаровування зі зменшенням річкового припливу підвищує ризики обміління й осолонення лиманів та подальшої трансформації водозалежних біотопів.

Хаджидер і Алкалія є транскордонними річками, тому частина їхнього стоку та антропогенного навантаження формується на території Республіки Молдова [10]. У межах української частини водозборів обсяги надходження води до лиманів залежать від зарегулювання русел, наявності ставків і дамб, місцевих водозаборів та загальної трансформації території. Якість води визначається структурою землекористування, розораністю водозборів, станом прибережних захисних смуг, застосуванням добрив і засобів захисту рослин з прилеглих сільськогосподарських угідь, а також надходженням ерозійного, дренажного і забрудненого поверхневого стоку. Отже, стан водозалежних екосистем НПП формується під сукупним впливом зміни клімату, сільськогосподарського навантаження та водогосподарського регулювання у межах усього річкового басейну.

За таких умов основна науково-практична проблема полягає у визначенні такого поєднання водогосподарських, агроекологічних і природоохоронних заходів, яке сприятиме зменшенню сукупного навантаження на малі річки та пов'язані з ними водозалежні екосистеми в умовах інтенсивного сільськогосподарського використання територій.

Актуальність дослідження. Відновлення зрошення належить до стратегічних напрямів розвитку сільського господарства України в умовах посилення посушливості клімату та нестійкості природного зволоження. Стратегія зрошення та дренажу до 2030 року і план заходів з її реалізації передбачають модернізацію наявних і будівництво нових меліоративних систем, підвищення ефективності водокористування та розвиток організацій водокористувачів [5, 6]. Ці завдання узгоджуються з положеннями Водної стратегії України до 2050 року [7] та конкретизуються Довгостроковим планом розвитку іригаційного комплексу України до 2050 року [8].

Одеська область є одним із регіонів практичної реалізації реформи меліорації. Тут створюються організації водокористувачів, обговорюється реконструкція Ізмаїльської, Татарбунарської та Нагірнянської зрошувальних систем, реалізуються пілотні проєкти водо- й енергоефективного зрошення. Основними джерелами води для регіональних зрошувальних систем є Дунай, Дністер, придунайські озера та пов'язані з ними водосховища і канали [9, 10]. Річки Хаджидер і Алкалія не належать до основних джерел великомасштабного зрошення, однак стан їхніх екосистем залежить від місцевих водозаборів, регулювання стоку ставками і дамбами, трансформації землекористування та кумулятивного впливу сільськогосподарської діяльності в межах водозборів.

Водночас державна екологічна політика передбачає розширення природоохоронних територій, відновлення деградованих екосистем та інтеграцію вимог збереження біорізноманіття у секторальне планування. Законом України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» встановлено ціль збільшення площі природно-заповідного фонду до 15 % території держави [11]. Стратегією збереження біологічного різноманіття України до 2035 року визначено завдання щодо збереження природних оселищ, відновлення деградованих екосистем і врахування природоохоронних вимог у процесі прийняття секторальних рішень [12]. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року передбачає правову охорону щонайменше 30 % суходолу та 30 % морських акваторій ЄС [13], що визначає загальний напрям наближення національної природоохоронної політики до європейських підходів.

Територія UA0000140 Tuzlovski Lymany National Nature Park площею 27 778 га входить до офіційно затверджених територій Смарагдової мережі [14]. Водночас долини річок Хаджидер і Алкалія охоплені нею лише частково. Для збереження природних комплексів цих річкових долин у науковому «тіньовому списку» обґрунтовано територію

UA0000577 Khadzhider–Alkalia площею 8 258,19 га [15], яка наразі не має офіційного статусу території Смарагдової мережі. Це посилює необхідність урахування екологічної цінності не лише території парку, а й суміжних ділянок водозборів, від стану яких залежить функціонування його водозалежних екосистем.

Розвиток зрошуваного землеробства може впливати на річки Хаджидер і Алкалія як прямо, через локальний неконтрольований водозабір і регулювання стоку, так і опосередковано – через поверхневий змив ґрунтових частинок, залишків поживних речовин та засобів захисту рослин; інфільтрацію поливної води і надходження солей та нітратів до підземних вод; підняття рівня підґрунтових вод, підтоплення і вторинне засолення ґрунтів; скид мінералізованих дренажних вод; трансформацію заплав і прибережних смуг об'єктами меліоративної інфраструктури [16, 17]. Інтенсивність цих процесів залежить від джерела та якості поливної води, способу поливу, величини поливних норм, технологій обробітку ґрунту і дотримання водо- та ґрунтоохоронних обмежень. Краплинне зрошення дає змогу зменшити витрати води і поверхневий стік, проте потребує контролю глибокої фільтрації та сольового режиму ґрунтів. Досвід Дунай-Дністровської зрошувальної системи підтверджує, що використання води несприятливого хімічного складу може спричиняти тривале накопичення солей у профілі південних чорноземів [18, 19].

Отже, актуальність дослідження зумовлена необхідністю узгодження двох стратегічних пріоритетів – розвитку зрошуваного землеробства та збереження малих річок і пов'язаних із ними природоохоронних територій. Для басейнів Хаджидеру й Алкалії це потребує комплексного порівняння альтернативних сценаріїв із різним поєднанням заходів. Таке оцінювання має створити наукове підґрунтя для вибору стратегії, яка забезпечуватиме аграрне використання території за мінімізації ризиків для річкових і лиманних екосистем.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження відповідає завданням Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року, Водної стратегії України на період до 2050 року та Довгострокового плану розвитку іригаційного комплексу України до 2050 року, якими передбачено відновлення і модернізацію меліоративної інфраструктури, підвищення ефективності водокористування та врахування екологічних обмежень під час планування водогосподарської діяльності [5 – 8]. Водночас робота сприяє реалізації Основних засад державної екологічної політики України на період до 2030 року, Стратегії збереження біологічного різноманіття України на період до 2035 року, положень Бернської конвенції щодо охорони природних оселищ і видів та євроінтеграційних завдань із формування репрезентативної й ефективно керованої мережі природоохоронних територій [11 – 14].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження стану річкових екосистем розглядають зміну клімату та господарське використання водозборів як взаємопов'язані чинники гідрологічної й екологічної трансформації водотоків [20, 21]. Для малих маловодних річок скорочення стоку або подовження безстічних періодів посилює вплив регулювання русел, водозаборів і забруднення, а антропогенно зумовлений водний стрес істотно змінює функціонування річкових екосистем [23]. Сільськогосподарське освоєння територій впливає на річки через сукупність гідрологічних, гідрохімічних і гідроморфологічних процесів. Інтенсивність впливу визначається часткою сільськогосподарських угідь, технологіями обробітку ґрунту, станом прибережних захисних смуг, конфігурацією полів і наявністю руслорегулювальних споруд тощо. Розширення зрошуваного землеробства підвищує стабільність аграрного виробництва, проте за дефіциту водних ресурсів може скорочувати екологічний стік і посилювати конкуренцію за поверхневі та підземні води [22].

Для Північно-Західного Причорномор'я досліджено вплив зміни клімату у контексті водного балансу приморських лиманів. Встановлено тенденцію до збільшення дефіциту їхнього прісного водного балансу внаслідок зміни співвідношення опадів, випаровування та стоку з водозборів. Тузловську групу лиманів віднесено до водойм, уразливих до подальшого обміління і зростання солоності, що потребує спеціальних водогосподарських та природоохоронних рішень [3, 4].

Гідрохімічні дослідження малих річок Одеської області характеризують значне антропогенне навантаження та просторову неоднорідність якості вод. Забруднення річок Причорномор'я, зокрема р. Хаджидер й Алкалія, пов'язують з інтенсивним сільськогосподарським використанням прилеглих територій, надходженням стічних вод і транскордонним впливом [23, 24]. Оцінювання іригаційного потенціалу малих і середніх річок Причорномор'я показало обмеженість їхнього стоку та несприятливу мінералізацію вод, тому розвиток регіонального зрошення має спиратися переважно на ресурси Дунаю і Дністра [25]. Разом з тим, для екосистем р. Хаджидер і Алкалія, і як наслідок, водних екосистем НПП «Тузловські лимани», принципове значення мають опосередковані наслідки інтенсифікації землеробства – зміни поверхневого і дренажного стоку, ерозійного винесення, сольового та біогенного навантаження.

У наукових працях гідрокліматичні зміни, якість води, сільськогосподарське навантаження, перспективи розвитку зрошення та завдання збереження природного біорізноманіття здебільшого розглядаються як окремі напрями досліджень. Така фра-

гментарність ускладнює розроблення комплексних управлінських рішень, які мають одночасно враховувати взаємопов'язані, а подекуди й суперечливі водогосподарські, агроекологічні та природоохоронні цілі.

Застосування MCDA у природоохоронному плануванні свідчить про ефективність цього підходу для визначення управлінських пріоритетів, зонування територій, порівняння альтернативних сценаріїв і вибору відновлювальних заходів [26, 27]. Його перевагами є можливість поєднання кількісних показників із формалізованими експертними оцінками, чітке визначення критеріїв, комплексне врахування різних аспектів досліджуваної проблеми, виявлення компромісів між альтернативами та перевірка стійкості отриманих результатів. Аналіз доступних публікацій засвідчив, що для басейнів річок Хаджидер і Алкалія та території НПП «Тузловські лимани» досі не проводилися комплексні дослідження, у яких вплив зміни клімату, сільськогосподарського навантаження та можливого розвитку зрошення було б інтегровано в єдину модель і враховано під час багатокритеріального порівняння стратегічних сценаріїв управління територією, що зумовлює актуальність даного дослідження.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для річок Хаджидер і Алкалія та пов'язаних із ними водозалежних екосистем НПП «Тузловські лимани» раніше не проводилося комплексного порівняння альтернативних поєднань водогосподарських, агроекологічних і природоохоронних заходів. Невизначеним залишається, який із можливих сценаріїв має бути пріоритетним для досліджуваної території.

Новизна. Уперше для басейнів річок Хаджидер і Алкалія запропоновано та оцінено альтернативні підходи управління територією з урахуванням кліматично зумовлених обмежень, агроекологічних і природоохоронних вимог.

Методологічне або загальнонаукове значення. Апробовано підхід багатокритеріального сценарного оцінювання для формалізованого порівняння альтернативних варіантів управління територією за одночасного врахування кліматично зумовлених обмежень, агроекологічних і природоохоронних вимог. Застосована процедура може бути використана для розроблення управлінських рішень в інших басейнах малих річок, пов'язаних із природоохоронними територіями.

Виклад основного матеріалу. Метою дослідження було сформувати та порівняти альтернативні сценарії, що передбачають різне поєднання водогосподарських, агроекологічних і природоохоронних заходів для зменшення навантаження на річки Хаджидер і Алкалія та пов'язані з ними водозалежні екосистеми. Методичну основу дослідження становив адаптований підхід до багатокритеріального оцінювання, запропонований Р. Стівенсом [28], який поєднує опис системи, структурний аналіз взаємозв'язків між її компонентами та порівняння альтернативних сценаріїв за функціями корисності. На першому етапі дослідження виконано опис системи (*System sketch*), зокрема визначено просторові межі системи, її основні компоненти і взаємозв'язки між ними. Досліджувану систему розглядали як цілісний природно-господарський комплекс, що охоплює водозбори річок Хаджидер і Алкалія, їхні русла та пригирлові ділянки, пов'язані з ними лимани, сільськогосподарські угіддя і водозалежні екосистеми НПП «Тузловські лимани» (рис. 1). Транскордонну частину водозборів у межах Республіки Молдова враховували як зовнішню складову формування річкового стоку й антропогенного навантаження.

Для формування і верифікації системи показників було залучено експертів за напрямами: гідрології і управління водними ресурсами; зрошення, меліорації та охорони ґрунтів; управління природоохоронними територіями; зміни клімату та адаптації, екологічного планування та багатокритеріального аналізу. За результатами експертного обговорення для подальшого структурного аналізу відібрано 15 компонентів, об'єднаних у п'ять груп: кліматичні чинники; гідрологічні та водогосподарські чинники; сільськогосподарські джерела навантаження; показники стану водних об'єктів; екологічні компоненти системи. До кліматичних чинників віднесено зміну клімату, що проявляється підвищенням температури повітря, зменшенням кількості опадів і збільшенням тривалості посушливих періодів, а також пов'язане з нею зростання випаровування. Гідрологічні та водогосподарські чинники охоплювали скорочення і сезонну нестійкість річкового стоку, поверхневий водозабір та регулювання стоку ставками, водосховищами і дамбами. Сільськогосподарське навантаження характеризували часткою орних земель, інтенсивністю застосування засобів удобрення і хімізації та станом прибережних захисних смуг. Показниками стану водних об'єктів визначено мінералізацію води, евтрофікацію, замулення і хімічне забруднення. Кінцевими екологічними компонентами системи обрано водне біорізноманіття малих річок і біорізноманіття охоронюваних лиманів.

Структурний аналіз (System Analysis) передбачав попарну оцінку взаємовпливів між усіма 15 компонентами за шкалою від 0 до 4 балів (0 – вплив відсутній, 1 – слабкий, 2 – помірний, 3 – сильний, 4 – дуже сильний). Для кожної пари визначали медіану індивідуальних експертних оцінок; сумарний вплив компонента розраховували як суму значень відповідного рядка матриці, а сумарну залежність – як суму значень відповідного стовпця. Співвідношення цих показників використовували для позиціонування кожного компонента в координатах «сумарний вплив – сумарна залежність» (рис. 2).



Рис. 1. Просторове розташування досліджуваної території

Результати структурного аналізу показали, що найбільший сумарний вплив на інші компоненти системи має частка орних земель у межах водозборів. Високими значеннями впливу також характеризувалися річковий стік і регулювання стоку ставками, водосховищами та дамбами (по 33 бали), прояви зміни клімату і пов'язане з ними випаровування (по 29 балів), а також поверхневий водозабір (27 балів). Отже, основними драйверами функціонування досліджуваної системи є інтенсивність сільськогосподарського використання водозборів, кліматично зумовлений дефіцит води та водогосподарська трансформація річкового стоку. Найбільш залежними від сукупного впливу системи виявилися водне біорізноманіття малих річок та біорізноманіття охоронюваних лиманів. Високу залежність також встановлено для евтрофікації, хімічного забруднення вод, мінералізації води і поверхневого водозабору. Річковий стік і регулювання водотоків ставками, водосховищами та дамбами займають проміжне положення між первинними чинниками навантаження і кінцевими екологічними наслідками. З одного боку, вони залежать від кліматичних умов, структури землекористування та водокористування, а з іншого – визначають інтенсивність мінералізації, евтрофікації, замулення і хімічного забруднення вод. Таким чином, збереження біорізноманіття малих річок і лиманів потребує управлінського впливу передусім на системні драйвери, а не лише реагування на вже сформовані прояви деградації водних екосистем.

На основі результатів структурного аналізу експертами сформовано перелік управлінських заходів: скорочення поверхневого водозабору; оптимізація кількості та площі ставків і водосховищ; відновлення прибережних захисних смуг; перегляд доз і способів внесення добрив; розширення органічного землеробства; розширення територій краплинного зрошення в умовах відновлення зрошення на прилеглих

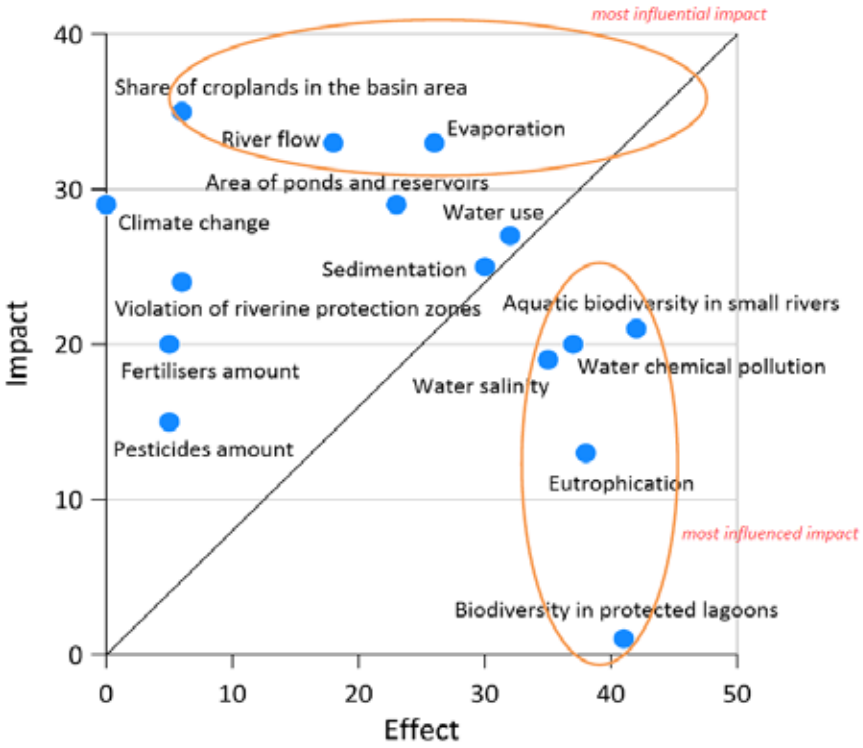


Рис. 2. Розподіл компонентів досліджуваної системи за співвідношенням сумарного впливу та залежності (Impact – сумарний вплив компонента на інші елементи системи; Effect – сумарна залежність компонента від впливу системи)

територіях; розширення мережі та переліку показників моніторингу поверхневих вод.

Відносну пріоритетність заходів визначали шляхом експертного попарного порівняння. Перевагу одного заходу над іншим оцінювали за шкалою від 1 до 9, де 1 означало однакову важливість заходів, 3 – помірну, 5 – істотну, 7 – дуже сильну, а 9 – абсолютну перевагу одного заходу над іншим; для зворотних порівнянь використовували обернені значення. Для кожного заходу розраховували пріоритетний бал p_i як суму значень відповідного рядка матриці без діагонального елемента. Отримані бали використовували для зваженого порівняння сценаріїв із подальшим нормуванням результату за їх загальною сумою.

Для приведення показників із різними одиницями вимірювання до порівнянного вигляду кожне значення трансформували у безрозмірну шкалу від 0 до 1, де вищі значення відповідають більшому очікуваному позитивному ефекту заходу. На відміну від класичного розуміння «корисності» як переваги альтернативи самої по собі, тут функція корисності відображає ступінь наближення сценарного значення показника до цільового рівня: для показників, зменшення яких бажане (водозабір, площа ставків, обсяг добрив), корисність зростає зі зниженням значення; для показників, зростання яких бажане (частка захисних смуг, органічного землеробства, краплинного зрошення, пунктів і показників моніторингу), – навпаки. Форму часткових функцій визначали на основі експертних оцінок очікуваного екологічного та водогосподарського ефекту заходу.

З огляду на обмеженість узгоджених кількісних даних для досліджуваної території базові та цільові значення показників задавали як експертно визначені сценарні параметри. Базове значення характеризувало умовно прийнятий вихідний стан, а цільове – бажаний рівень реалізації відповідного заходу. Наведені значення використовували виключно для порівняння альтернативних сценаріїв і не розглядали як результати натурного моніторингу або точний прогноз зміни стану території. Кожен із трьох сценаріїв відображає окремий підхід до пріоритизації управлінських заходів. Водогосподарський сценарій передбачає реалізацію заходів із регулювання водного режиму – скорочення поверхневого водозабору, оптимізацію площі ставків і водосховищ, відновлення прибережних захисних смуг та розширення пунктів і переліку показників моніторингу на рівні, близькому до цільового, за обмеженого впровадження агроекологічних заходів. Агроекологічний сценарій передбачає пріоритетне скорочення застосування мінеральних добрив, розширення площ органічного землеробства і краплинного зрошення за незначних змін водогосподарського регулювання.

Таблиця 1

Сценарні параметри та часткова корисність управлінських заходів за альтернативними сценаріями

Управлінський захід	Пріоритетний бал p_i	Показник	Умовно прийняте базове значення	Цільове значення	Водогосподарський сценарій, значення / u_i	Агроекологічний сценарій, значення / u_i	Інтегрованийсценарій, значення / u_i
Скорочення поверхневого водозабору	16,0	Частка поверхневого водозабору в загальному водокористуванні, %	50	10	10 / 1,0	38 / 0,3	22 / 0,7
Оптимізація площі ставків і водосховищ	13,3	Загальна площа ставків і водосховищ, га	1000	200	200 / 1,0	840 / 0,2	520 / 0,6
Відновлення прибережних захисних смуг	5,2	Частка відновлених прибережних захисних смуг, %	10	100	100 / 1,0	37 / 0,3	64 / 0,6
Зменшення норм внесення мінеральних добрив	8,0	Норма внесення мінеральних добрив, кг/га	94	70	89,2 / 0,2	79,6 / 0,6	84,4 / 0,4
Розширення площ органічного землеробства	14,0	Частка органічних угідь у загальній площі ріллі, %	1	30	3,9 / 0,1	30 / 1,0	24,2 / 0,8
Розширення площ краплинного зрошення	11,3	Частка зрошуваних угідь із краплинним поливом, %	10	30	14 / 0,2	30 / 1,0	24 / 0,7
Удосконалення моніторингу поверхневих вод	1,54	Кількість пунктів моніторингу в басейнах, од.	2	12	12 / 1,0	5 / 0,3	8 / 0,6

Інтегрований сценарій поєднує помірне впровадження заходів обох груп без досягнення цільових значень за окремими напрямами, але з одночасним поліпшенням усіх оцінюваних показників (табл. 1).

Часткову корисність u_{is} розглядали як ступінь наближення значення показника за відповідним сценарієм до його цільового рівня. Значення $u_{is} = 0$ відповідало умовно прийнятому базовому рівню, а $u_{is} = 1$ – досягненню цільового значення показника, а проміжні значення характеризували часткове виконання заходу. Сценарні значення показників розраховували шляхом лінійної інтерполяції між поточним і цільовим рівнями (табл. 1).

Інтегральну корисність кожного сценарію визначали як суму добутків вагових коефіцієнтів і часткової корисності заходів:

$$U_s = \frac{\sum_{i=1}^{m} p_i u_{is}}{\sum_{i=1}^{m} p_i},$$

де U_s – нормована інтегральна корисність сценарію s;

p_i – пріоритетний бал i-го заходу;

u_{is} – часткова корисність i-го заходу за сценарієм s;

m – кількість оцінюваних заходів.

Інтегрований сценарій отримав найвище значення сумарної корисності – 45,53 бала (0,657 після нормування); для водогосподарського сценарію цей показник становив 41,30 бала (0,596), а для агроекологічного – 39,58 бала (0,571). Перевага інтегрованого сценарію зумовлена одночасним упровадженням водогосподарських та агроекологічних заходів, що мають найбільші вагові коефіцієнти. Водогосподарський сценарій забезпечував максимальне наближення до цільових показників скорочення водозабору, оптимізації площі штучних водойм і відновлення прибережних захисних смуг, але передбачав обмежене впровадження агроекологічних заходів. Агроекологічний сценарій, навпаки, передбачав найбільше скорочення застосування мінеральних добрив і розширення органічного землеробства та краплинного зрошення, але недостатньо враховував заходи щодо поліпшення водного режиму річок.

Для перевірки стійкості ранжування ваговий коефіцієнт кожного заходу послідовно збільшували та зменшували на 20%, залишаючи інші ваги незмінними, з наступною повторною нормалізацією. За всіх перевірених варіантів інтегрований сценарій зберігав першу позицію: його нормована корисність змінювалася в межах 0,651 – 0,663, водогосподарського – 0,576 –0,617, агроекологічного – 0,553 – 0,588; мінімальна різниця з найближчою альтернативою становила 0,034. Це свідчить, що перевага інтегрованого сценарію визначається сукупним

ефектом водогосподарських та агровиробничих змін, що підтверджує доцільність їх поєднання.

Отримані оцінки мають переважно експертний характер. Вагові коефіцієнти, сценарні значення показників і форма часткових функцій корисності базуються на судженнях залучених фахівців у межах структурованої процедури, а не на суцільному ряді натурних спостережень. Тому результати варто розглядати як обґрунтоване ранжування альтернатив, а не як точний прогноз. Чутливість підходу до самих сценарних значень і форми функцій корисності залишається напрямом подальшого уточнення моделі.

Головні висновки. Структурний аналіз засвідчив, що основними драйверами трансформації досліджуваної системи є висока розораність водозборів, зміни річкового стоку, його регулювання ставками й водосховищами, поверхневий водозабір та кліматично зумовлене посилення дефіциту води. Найбільш залежними компонентами виявилися водне біорізноманіття малих річок і біорізноманіття охоронюваних лиманів, стан яких формується через сукупні зміни мінералізації, евтрофікації, замулення та хімічного забруднення вод. Багатокритеріальне оцінювання показало, що за прийнятих сценарних параметрів найбільшу нормовану корисність мав інтегрований сценарій – 0,657 порівняно з 0,596 для водогосподарського та 0,571 для агроекологічного сценарію. Його перевага визначалася поєднанням водогосподарських і агроекологічних заходів та зберігалася за зміни їхніх пріоритетних балів у межах ±20 %. Отже, у межах сформованої моделі інтегроване поєднання заходів є більш пріоритетним порівняно з їх реалізацією за окремими напрямами.

Отримані результати мають переважно експертний характер і відображають ранжування альтернатив у межах прийнятих припущень щодо вагових коефіцієнтів заходів і сценарних значень показників; уточнення вихідних даних натурними спостереженнями є напрямом подальшого розвитку моделі.

Перспективи використання результатів дослідження. Запропонований підхід може бути використаний під час розроблення планів управління територіями, обґрунтування заходів із відновлення малих річок, планування розвитку зрошення та визначення природоохоронних обмежень для прилеглих до НПП «Тузловські лимани» територій. Результати також можуть бути враховані у стратегічній екологічній оцінці документів територіального і водогосподарського планування, планах управління НПП та під час оцінювання впливу сільськогосподарських і меліоративних проєктів на території Смарагдової мережі.

Подальше вдосконалення моделі доцільно здійснювати шляхом її доповнення даними гідрологічного й гідрохімічного моніторингу, просторовими характеристиками землекористування, показниками стану ґрунтів і підземних вод та економічними оцінками вартості запропонованих заходів, а також перевіркою узгодженості експертних оцінок і чутливості результату до форми часткових функцій корисності. Це дасть змогу уточнювати сценарні параметри, періодично переглядати їх пріоритетність і адаптувати модель для інших басейнів малих річок, гідрологічно пов’язаних із природоохоронними територіями.

Acknowledgements. O. Drozd is grateful for the support provided within the project UCRAN20045, *Soils and Nature Conservation in Ukrainian Agriculture*, funded by the Spanish National Research Council (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC) under the IUCRAN2022 call, which made it possible to conduct research in this area.

Література

1. Shagany-Alibei-Burnas Lakes System. Ramsar Sites Information Service : website. Site No. 763. URL: https://rsis.ramsar.org/ris/763 (Last accessed: 08.08.2026).
2. Про створення національного природного парку «Тузловські лимани» : Указ Президента України від 1 січ. 2010 р. № 1/2010. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1/2010 (дата звернення: 08.08.2026).
3. Попова О. М. Морфометрія та топонімія гідрологічних об’єктів національного природного парку «Тузловські лимани». *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 2017. Т. 21, вип. 2 (29). С. 64–84. DOI: 10.18524/2303-9914.2016.2(29).103798.
4. Tuchkovenko Y., Khokhlov V., Loboda N. Climate change impact on water balance of quasi-closed lagoons in the North-Western Black Sea coast. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. 2022. No. 29. P. 32–47. DOI: 10.31481/uhmj.29.2022.03.
5. Про схвалення Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 серп. 2019 р. № 688-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/688-2019-р (дата звернення: 21.08.2026).
6. Про затвердження плану заходів з реалізації Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 жовт. 2020 р. № 1567-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1567-2020-р (дата звернення: 21.08.2026).
7. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 9 груд. 2022 р. № 1134-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1134-2022-р (дата звернення: 21.08.2026).
8. Про затвердження Довгострокового плану розвитку іригаційного комплексу України до 2050 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 берез. 2025 р. № 280-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/280-2025-р (дата звернення: 21.08.2026).

9. Форум аграріїв Одещини: євроінтеграція, меліорація та виклики воєнного часу / Одеська обласна державна адміністрація: веб-сайт. URL: https://oda.od.gov.ua/ua/news/forum-agrariyiv-odeshhini-yevrointegracziya-melioracziya-ta-vikliki-voyennogo-chasu (дата звернення: 18.08.2026).
10. Мєдвєдєв О. Ю. Гідрохімічний стан джерел зрошення Одещини в 2020 році. *Сучасний стан та перспективи розвитку меліорації земель* : матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., присвяч. дню пам'яті д-ра геогр. наук, проф. О. Ф. Литовченка, Дніпро, 30 листоп. 2020 р. Дніпро : ДДАЕУ, 2020. С. 33–34. URL: https://dspace.dsau.dp.ua/bitstreams/12b3c9c7-7588-4850-9355-5df855977cc2/download (дата звернення: 11.08.2026).
11. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28 лют. 2019 р. № 2697-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2697-19 (дата звернення: 21.08.2026).
12. Про схвалення Стратегії збереження біологічного різноманіття України на період до 2035 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2026–2028 роках : розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 лип. 2026 р. № 708-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/708-2026-р (дата звернення: 21.08.2026).
13. European Commission. *EU Biodiversity Strategy for 2030: Bringing Nature Back into Our Lives* : Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2020) 380 final. Brussels, 2020. 23 p. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0380 (Last accessed: 18.08.2026).
14. Council of Europe. Updated List of Officially Adopted Emerald Network Sites. Strasbourg, 2025. 59 p. Document T-PVS/PA(2025)05. URL: https://rm.coe.int/pa05e-2025-extract-list-decisions-texts-adopted-44sc-2769-4712-2192-1/4880289d50 (Last accessed: 28.08.2026).
15. Хаджидер – Алкалія (UA0000577). *Території, що пропонуються до включення у мережу Емеральд (Смарагдову мережу) України («тіньовий список», частина 3)* / за заг. ред. К. Борисенко, А. Куземко, В. Коломійчук, Ю. Спінової, Ю. Куцоконь. Чернівці : Друк Арт, 2020. С. 321. URL: https://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/19973 (дата звернення: 18.08.2026).
16. Critical factors influencing soil runoff and erosion in sprinkler irrigation: Water application rate and droplet kinetic energy / R. Chen, H. Li, J. Wang, Z. Song. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 283. Article 108299. DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108299.
17. Foster S. Salinization of groundwater by irrigation return flows. *Irrigation and Drainage*. 2022. Vol. 71, No. 3. P. 728–734. DOI: 10.1002/ird.2681.
18. Носоненко О. А., Захарова М. А. Динаміка галогенезу чорнозему звичайного, зрошуваного мінералізованими водами. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2023. Вип. 95. С. 13–23. DOI: 10.31073/acss95-02.
19. Зрошувані землі Дунай-Дністровської зрошувальної системи: еволюція, екологія, моніторинг, охорона, родючість : колективна монографія / за ред. С. А. Балюка. Харків : Антіква, 2001. 260 с.
20. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity / A. J. Reid et al. *Biological Reviews*. 2019. Vol. 94, No. 3. P. 849–873. DOI: 10.1111/brv.12480.
21. One-quarter of freshwater fauna threatened with extinction / C. A. Sayer et al. *Nature*. 2025. Vol. 638. P. 138–145. DOI: 10.1038/s41586-024-08375-z.
22. Half of twenty-first century global irrigation expansion has been in water-stressed regions / P. Mehta et al. *Nature Water*. 2024. Vol. 2, No. 3. P. 254–261. DOI: 10.1038/s44221-024-00206-9.
23. Кічук Н. С., Овчарук В. А., Кущенко Л. В. Оцінка якості води річок Причорномор'я в межах Одеської області за гідрохімічними показниками. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 2025. Т. 30, вип. 1 (46). С. 35–53. DOI: 10.18524/2303-9914.2025.1(46).332352.
24. Даус М. Є. Антропогенне навантаження та оцінювання якості води у басейні річки Хаджидер. *Екологічні науки*. 2026. № 2 (65). С. 134–141. DOI: 10.32846/2306-9716/2026.eco.2-65.20.
25. Іригаційний потенціал малих і середніх річок басейну Причорномор'я у межах Одеської області / В. Д. Караулов, С. М. Юрасов, О. В. Мудрак, Г. В. Мудрак. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 1. С. 68–74. DOI: 10.33730/2310-4678.1.2024.302626.
26. Adem Esmail B., Geneletti D. Multi-criteria decision analysis for nature conservation: A review of 20 years of applications. *Methods in Ecology and Evolution*. 2018. Vol. 9, No. 1. P. 42–53. DOI: 10.1111/2041-210X.12899.
27. Belton V., Stewart T. J. *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Boston : Kluwer Academic Publishers, 2002. XIX, 372 p. DOI: 10.1007/978-1-4615-1495-4.
28. Platform for Development of Multi-National Projects in Education and Research : website. URL: https://kermitcooperation.wixsite.com/platform (Last accessed: 17.08.2026).

Дата першого надходження статті до видання: 02.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.11.2026