

УДК 631.6:626.8(477.7)"2022/..." <https://doi.org/10.31713/vs1202619>

Пічура В. І. [1; ORCID ID: 0000-0002-0358-1889],

д.с.-г.н., професор,

Потравка Л. О. [1; ORCID ID: 0000-0002-0011-2286],

д.е.н., професор

¹Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон

ВОЄННО ЗУМОВЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЗРОШУВАНИХ АГРОЕКОСИСТЕМ ПІВДНЯ УКРАЇНИ: АКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ В УМОВАХ ГІДРОЛОГІЧНОГО КОЛАПСУ

У статті актуалізовано проблему воєнно зумовленої трансформації зрошуваних агроecosистем Півдня України в умовах гідрологічного колапсу, спричиненого руйнуванням Каховської гідроелектростанції та осушенням Каховського водосховища. Обґрунтовано, що втрата іригаційної регуляції стала системним тригером переходу аграрних систем від антропогенно керованого водно-теплого режиму до кліматично детермінованого стану функціонування. Теоретичною основою дослідження є концепції соціо-екологічних систем, резильєнтності та режимних зсувів, що дозволяють інтерпретувати сучасні зміни як нелінійний процес втрати біокліматичної стійкості. Розкрито каскадний механізм постіригаційної трансформації у системі «ґрунтова волога – температура – рослинність», за якого дефіцит вологи ініціює підвищення температурного навантаження, пригнічення рослинного покриву, зниження біопродуктивності та формування самопідсилюваних деградаційних процесів. Запропоновано розглядати постіригаційну трансформацію як окремий тип режимного зсуву, спричиненого втратою антропогенного контролю над водним режимом. Визначено перспективні напрями подальших досліджень, зокрема виявлення порогових станів біокліматичної стійкості, просторово-часове моделювання аридизації, інтеграцію супутникових індикаторів у системи моніторингу та оцінку екологічних і соціально-економічних наслідків втрати іригації. Результати дослідження формують наукове підґрунтя для розроблення стратегій сталого повоєнного відновлення Півдня України та адаптації аграрного виробництва до нових кліматичних і ресурсних обмежень.

Ключові слова: воєнний вплив; гідрологічний колапс; Каховське водосховище; зрошувані агроecosистеми; постіригаційна трансформація; аридизація; біокліматична стійкість; режимний зсув; дистанційне зондування; Південь України.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Сучасний розвиток аграрних систем відбувається в умовах зростаючого впливу глобальних екологічних і соціально-економічних викликів, серед яких провідне місце посідають кліматичні зміни, дефіцит водних ресурсів і деградація земель. За оцінками міжнародних досліджень, понад чотири мільярди людей у світі вже стикаються з гострою нестачею води, що суттєво обмежує можливості продовольчого виробництва та загрожує стабільності аграрних систем [4]. У посушливих і напівпосушливих регіонах ці процеси посилюються під впливом «гарячих посух» (hot droughts), що поєднують дефіцит опадів і підвищення температури та значно прискорюють деградацію екосистем і агроландшафтів [5].

У науковому дискурсі трансформація природних і аграрних систем дедалі частіше розглядається в межах концепцій соціо-екологічних систем (socio-ecological systems), резильєнтності (resilience) та режимних зсувів (regime shifts), які дозволяють інтерпретувати ці системи як нелінійні структури, здатні до різких переходів між альтернативними станами функціонування [1; 2; 3]. Відповідно до цих підходів, зовнішні впливи можуть виступати тригерами критичних переходів (tipping points), після яких система втрачає здатність до самовідновлення і переходить у новий, часто деградований стан [3]. Особливого значення набуває концепція каскадних режимних зсувів, що передбачає послідовну трансформацію взаємопов'язаних компонентів системи та їх взаємне підсилення [7].

В агроекологічному контексті ключову роль у забезпеченні стійкості систем відіграє водний фактор, який визначає продуктивність, структуру землекористування та функціонування агроекосистем. Іригація розглядається як один із ключових механізмів адаптації до кліматичних змін, здатний компенсувати дефіцит природного зволоження, знижувати температурний стрес і підвищувати біокліматичний потенціал територій [18; 19; 20]. Водночас втрата іригаційної регуляції спричиняє протилежний ефект, призводячи до різкого порушення водного балансу, деградації ґрунтів і зниження продуктивності агроландшафтів.

Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах воєнно зумовлених порушень природокористування. Повномасштабна війна в Україні спричинила безпрецедентні зміни у функціонуванні

аграрних і водогосподарських систем, що супроводжуються руйнуванням інфраструктури, забрудненням довкілля та порушенням гідрологічного режиму територій [8; 9]. Ключовою подією, яка визначила сучасний стан екосистем Півдня України, стало руйнування Каховської гідроелектростанції у 2023 році, що призвело до осушення Каховського водосховища – головного джерела іригаційного водопостачання регіону [14; 15; 16; 24–29].

Наслідки такого екоциду мають комплексний характер і проявляються у формі гідрологічного колапсу та втрати біокліматичної стійкості територій зони зрошення. Руйнування водосховища та втрата його акумулюючої функції спричинили різке зниження рівня ґрунтових вод, порушення водного балансу та деградацію екосистем. Унаслідок цього відбувається підвищення температури поверхні, прискорення процесів евапотранспірації, формування дефіциту вологи, погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунтів і деградація рослинного покриву [14; 16]. У межах зони впливу колишнього водосховища фіксується трансформація агроландшафтів, що проявляється у зниженні біопродуктивності, активізації ерозійних і дефляційних процесів та формуванні стійких ознак аридизації.

Важливою особливістю сучасної трансформації є її накладання на кліматичні зміни, що формує синергетичний ефект впливу. У таких умовах посилюється водний дефіцит, зростає температурне навантаження та прискорюються деградаційні процеси, що переводить аграрні і природні системи у новий, кліматично детермінований режим функціонування [9].

Попри значний розвиток теорії соціо-екологічних систем і режимних зсувів, трансформація аграрних систем унаслідок різких порушень гідрологічного режиму, зокрема воєнно зумовлених гідрологічних колапсів, залишається недостатньо дослідженою. Більшість наукових робіт зосереджена на поступових змінах або окремих компонентах системи, тоді як комплексні механізми каскадної взаємодії процесів у системі «ґрунтова волога – температура – рослинність» потребують системного аналізу та узагальнення.

У цьому контексті особливого значення набуває використання сучасних методів дистанційного зондування Землі, які забезпечують можливість об'єктивної оцінки стану агроекосистем та просторово-часової динаміки їх змін. Супутникові дані щодо вологості ґрунту, температури поверхні та стану рослинності дозволяють формалізувати процеси деградації та розглядати їх як індикатори трансформації аграрних систем [10; 11; 12; 13; 24].

Воєнно зумовлений гідрологічний колапс у зоні впливу Каховського водосховища створив унікальні умови для дослідження трансформації аграрних систем як нелінійного процесу режимного зсуву. Аналіз цих процесів дає змогу об'єктивно оцінити масштаб і руйнівний вплив втрати іригаційної регуляції на біокліматичну стійкість агроєкосистем зони зрошення Півдня України. Водночас це відкриває можливості для поглиблення теоретичних уявлень про функціонування соціо-екологічних систем у кризових умовах та формування наукового підґрунтя для розроблення стратегій сталого повоєнного відновлення й адаптації аграрного сектору до нових кліматичних і ресурсних обмежень.

Мета дослідження полягає у формуванні концептуальних засад вивчення воєнно зумовленої трансформації зрошуваних агроєкосистем Півдня України як нелінійного процесу режимного зсуву, а також у визначенні пріоритетних напрямів подальших наукових досліджень екологічних і соціально-економічних наслідків гідрологічного колапсу, спричиненого руйнуванням Каховської ГЕС та осушення Каховського водосховища.

Дослідження спрямоване на наукове осмислення процесів деградації аграрних систем у зоні активних бойових дій та їх інтерпретацію як результату комплексного впливу воєнних, гідрологічних і кліматичних чинників, а також на обґрунтування підходів до документування екологічних і ресурсних втрат із використанням сучасних методів дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу. Отримані результати формують основу для розроблення стратегій сталого повоєнного відновлення територій та водного забезпечення, адаптації аграрного виробництва до нових кліматичних і ресурсних умов.

Матеріали і методи досліджень. *Методологічна основа дослідження.* Дослідження має концептуально-аналітичний характер і спрямоване на наукове узагальнення проблеми воєнно зумовленої трансформації зрошуваних агроєкосистем Півдня України. Методологічною основою роботи є поєднання підходів соціо-екологічних систем, резильєнтності та режимних зсувів, які дозволяють розглядати аграрні системи як складні нелінійні утворення, здатні до втрати стійкості та переходу в альтернативні режими функціонування під впливом зовнішніх шоків [1; 2; 3; 17]. У межах цього підходу воєнно зумовлений гідрологічний колапс,

спричинений руйнуванням Каховської ГЕС та осушенням Каховського водосховища, інтерпретується як критичний тригер трансформації аграрних систем. Такий тригер порушує водно-ресурсну основу функціонування зрошуваних агроландшафтів і запускає каскад змін у системі «грунтова волога – температура – рослинність», що відповідає логіці каскадних режимних зсувів [7].

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження є зрошувані агроєкосистеми Півдня України в зоні впливу колишнього Каховського водосховища, які внаслідок війни зазнали різкої втрати іригаційної регуляції, порушення водного балансу та деградаційної трансформації. Особливу увагу приділено територіям зони зрошення, де аграрне виробництво історично залежало від водогосподарської інфраструктури Каховського водосховища. Предметом дослідження є теоретичні засади, причинно-наслідкові механізми та перспективні напрями подальшого вивчення воєнно зумовленої трансформації аграрних систем, зокрема втрати їх біокліматичної стійкості, розвитку аридизації та формування нових умов природокористування.

Інформаційна база дослідження. Інформаційну основу роботи становлять сучасні наукові публікації, присвячені режимним зсувам, резильєнтності соціо-екологічних систем, водній безпеці, кліматично зумовленим посухам, впливу іригації на локальний клімат і наслідкам руйнування Каховської ГЕС [1–23]. Для обґрунтування глобального контексту використано дослідження щодо дефіциту водних ресурсів, посилення «гарячих посух» і взаємозв'язку водної, енергетичної та продовольчої безпеки [4; 5; 6]. Для аналізу ролі іригації як чинника стабілізації агроєкосистем враховано праці, у яких показано вплив зрошення на пом'якшення температурних екстремумів, локальний клімат і водний баланс територій [18; 19; 20]. Окрему групу джерел становлять дослідження, присвячені наслідкам російсько-української війни для водної безпеки, довкілля та Каховського водосховища [8; 9; 14; 15; 16; 21–29]. Також використано власні попередні публікації авторів, у яких розглянуто кліматичну трансформацію зони зрошення України, сценарії функціонування території Каховського водосховища, зміни біокліматичного потенціалу, водного балансу та стійкості агроландшафтів [24–33].

Методичний підхід. Методичний підхід ґрунтується на системному узагальненні наукових джерел і концептуальному моделюванні трансформації аграрних систем у кризових умовах. У роботі використано системний аналіз, порівняльно-аналітичний метод, причинно-наслідкове узагальнення, концептуальне моделювання та міждисциплінарну інтерпретацію результатів. Системний аналіз

застосовано для розгляду зрошуваних агроecosystem як складних соціо-еколого-економічних систем, функціонування яких залежить від взаємодії природних, техногенних, кліматичних і воєнних чинників. Порівняльно-аналітичний підхід використано для зіставлення довоєнного і посткризового станів аграрних систем, а також для визначення ролі втрати іригаційної регуляції у формуванні нових умов природокористування.

Підхід до аналізу механізму трансформації. Ключовим елементом дослідження є інтерпретація трансформації агроecosystem через каскадну взаємодію компонентів системи «ґрунтова волога – температура – рослинність». Такий підхід дозволяє розглядати втрату іригаційної регуляції не локальне порушення водозабезпечення та на системний процес, що змінює водний режим, тепловий баланс, стан рослинного покриву та продуктивність агроландшафтів. У цьому контексті дані дистанційного зондування Землі розглядаються як важливий інструмент об'єктивної оцінки просторово-часових змін. Супутникові показники ґрунтової вологи, температури поверхні та стану рослинності дають змогу ідентифікувати прояви деградації, аридизації та втрати біопродуктивності [10; 11; 12; 13; 24–29]. У межах концептуальної статті ці індикатори використовуються як методологічна основа для подальшої формалізації досліджень.

Документування наслідків війни. Окремим методологічним компонентом є підхід до документування екологічних, ресурсних і соціально-економічних наслідків війни. У межах дослідження документування розглядається як науковий інструмент фіксації та інтерпретації трансформацій аграрних систем, спричинених руйнуванням водогосподарської інфраструктури, втратою водозабезпечення, деградацією ґрунтів, пожежами, мінуванням територій і скороченням можливостей агровиробництва. Такий підхід узгоджується з сучасними дослідженнями наслідків війни для водної безпеки України та довкілля Півдня України [8; 9; 14–16]. Він дозволяє поєднати екологічну оцінку з ширшим соціально-економічним контекстом, зокрема проблемами продовольчої безпеки, виживання фермерських господарств і планування повоєнного відновлення громад.

Логіка узагальнення та визначення перспектив досліджень. Узагальнення матеріалів здійснено за логікою переходу від глобального контексту дефіциту водних ресурсів і кліматичних

ризиків до регіонального випадку воєнно зумовленого гідрологічного колапсу в зоні впливу Каховського водосховища. Такий підхід дозволяє сформувавши нове теоретичне бачення «постіригаційної трансформації» територій, пов'язане з інтерпретацією різких гідрологічних порушень як тригерів режимних зсувів у керованих аграрних системах.

У цьому контексті трансформація агроєкосистем розглядається як нелінійний процес втрати іригаційно зумовленої стійкості та переходу до кліматично детермінованого функціонування, що супроводжується перебудовою водного балансу, посиленням тепло-посушливого стресу та деградацією біопродуктивного потенціалу територій. На цій основі сформовано концептуальне бачення подальших досліджень, орієнтованих на виявлення порогових станів біокліматичної стійкості агроєкосистем; просторово-часове моделювання процесів аридизації; інтеграцію супутникових індикаторів у системи екологічного моніторингу; оцінку екологічних і соціально-економічних наслідків втрати іригаційної регуляції; обґрунтування сценаріїв сталого повоєнного відновлення аграрного сектору Півдня України.

Результати досліджень. *Теоретичні основи трансформації аграрних систем.* Сучасні аграрні системи розглядаються як складні соціо-екологічні системи, функціонування яких визначається взаємодією природних, техногенних і соціально-економічних чинників. Відповідно до концепції резильєнтності, такі системи здатні підтримувати свою структуру та функції за умов зовнішніх впливів, однак у разі перевищення критичних порогів переходять у альтернативні стани функціонування [2; 17]. Теорія режимних зсувів інтерпретує ці переходи як нелінійні процеси, що супроводжуються різкою перебудовою ключових характеристик системи, зокрема її водного, теплового та біопродуктивного режимів [1]. У цьому контексті зовнішні впливи, включаючи кліматичні екстремуми або антропогенні порушення, можуть виступати тригерами досягнення критичних точок, після яких система втрачає здатність до самовідновлення та переходить у новий стан [3].

Подальший розвиток цієї теоретичної парадигми пов'язаний із концепцією каскадних режимних зсувів, яка передбачає послідовну трансформацію взаємопов'язаних компонентів системи та їх взаємне підсилення [7]. У межах агроєкосистем це означає, що порушення водного режиму ініціює зміни теплового стану поверхні та функціонування рослинного покриву, формуючи каскад деградаційних процесів. Така взаємозалежність компонентів системи

визначає її вразливість до різких зовнішніх впливів і водночас пояснює швидкість та незворотність трансформацій у разі втрати ключових регулюючих факторів.

Роль іригації у формуванні біокліматичної стійкості. У посушливих і напівпосушливих регіонах іригація виступає ключовим фактором стабілізації аграрних систем, компенсуючи дефіцит природного зволоження та забезпечуючи підтримання їх продуктивності [4; 6]. Водночас її функціональна роль не обмежується водопостачанням, а охоплює формування керованого водно-теплового режиму територій. Зрошення впливає на енергетичний баланс поверхні, сприяючи зниженню температури, підвищенню вологості повітря та зменшенню інтенсивності тепло-посушливого стресу, що підтверджено дослідженнями регіональних кліматичних ефектів іригації [18; 20]. Крім того, іригаційні системи можуть модифікувати атмосферні процеси на регіональному рівні, зокрема сприяти збільшенню кількості опадів і формуванню локальних циркуляційних та бризових ефектів [19]. Таким чином, іригація формує штучно стабілізований гідрологічний і мікрокліматичний режим, який забезпечує підтримання біокліматичної стійкості агроєкосистем навіть за умов значного природного водного дефіциту та кліматичних екстремумів. У цих умовах аграрні системи функціонують як керовані соціо-екологічні системи, де антропогенна регуляція водного режиму виступає визначальним фактором їх резильєнтності. Відповідно, стабільність таких систем є функцією безперервності іригаційного впливу, а його порушення створює передумови для втрати контрольованого режиму функціонування та переходу до кліматично детермінованого стану.

Воєнно зумовлений гідрологічний колапс як фактор дестабілізації. Руйнування Каховської гідроелектростанції у 2023 році та осушення Каховського водосховища спричинили різке порушення гідрологічного режиму Півдня України на площі понад 3 млн га та стали безпрецедентним антропогенним шоком для зрошуваних агроєкосистем та прилеглих територій [14–16, 24–29]. Втрата водосховища як основного джерела водопостачання призвела до припинення функціонування іригаційних систем, що фактично означало ліквідацію ключового механізму антропогенної стабілізації аграрних ландшафтів і втрату керованого гідрологічного режиму.

Наслідком цього стало різке зниження рівня ґрунтових вод, порушення водного балансу та деградація екосистем, що підтверджується результатами сучасних досліджень трансформації територій, залежних від колишнього водосховища [22; 23]. У поєднанні з кліматичними змінами ці процеси призвели до посилення дефіциту водних ресурсів, зростання температурного навантаження та погіршення стану рослинного покриву, що узгоджується з оцінками впливу війни на водну безпеку України [8; 9]. У межах концепції соціо-екологічних систем такий гідрологічний колапс доцільно розглядати як тригер режимного зсуву, що ініціює перехід аграрних систем від керованого іригаційного до кліматично детермінованого стану функціонування. Цей перехід супроводжується втратою регуляторних механізмів, перебудовою водно-теплогового режиму та формуванням нової, водозалежно нестабільної системи.

Каскадний механізм постіригаційної трансформації. Трансформація агроекосистем у зоні впливу Каховського водосховища має виражений каскадний характер і відбувається через послідовну зміну взаємопов'язаних компонентів системи «ґрунтова волога – температура – рослинність». Осушення водосховища та втрата іригаційного водопостачання призводять до швидкого виснаження запасів ґрунтової вологи, що виступає первинним тригером деградації системи.

Зменшення вологості ґрунту зумовлює підвищення температури поверхні та інтенсифікацію процесів евапотранспірації, що є характерною ознакою формування умов «гарячих посух» [5]. Це, у свою чергу, призводить до пригнічення рослинного покриву, зниження фотосинтетичної активності та скорочення біомаси. Втрата рослинного покриву посилює теплообмін і зменшує здатність території утримувати вологу, формуючи позитивні зворотні зв'язки, які підсилюють деградаційні процеси.

У системі формується замкнений каскад взаємопов'язаних змін, де кожен наступний етап підсилює попередній: дефіцит ґрунтової вологи → підвищення температури → деградація рослинності → подальше зниження вологоутримуючої здатності території. Така взаємодія компонентів зумовлює нелінійний характер трансформації та прискорює втрату біокліматичної стійкості агроекосистем.

У результаті відбувається перехід системи до нового стану функціонування, який характеризується зниженим рівнем біопродуктивності, розвитком ерозійних і дефляційних процесів та формуванням ознак аридизації. Такий процес відповідає концепції каскадних режимних зсувів, згідно з якою порушення одного з

ключових компонентів системи ініціює послідовну трансформацію інших її елементів [7].

Постіригаційна трансформація як новий науковий підхід. Сформовані умови на Півдні України дозволяють обґрунтувати концепцію постіригаційної трансформації територій як нового наукового підходу до аналізу деградації агроєкосистем. Цей підхід базується на розумінні того, що тривале функціонування аграрних систем в умовах штучної водної регуляції формує специфічний тип антропогенно підтримуваної резильєнтності, втрата якої призводить до різкої перебудови екологічних процесів і функціональних зв'язків у системі.

Перехід від іригаційно стабілізованого до кліматично детермінованого режиму супроводжується зниженням біокліматичного потенціалу, порушенням водного балансу та деградацією агроландшафтів, що підтверджується результатами сучасних досліджень у зоні зрошення України [24; 25; 26; 29; 30]. У цих умовах відбувається трансформація системи з керованого стану, де ключові параметри регулювалися антропогенним водопостачанням, до стану, в якому визначальну роль відіграють природно-кліматичні обмеження.

У цьому контексті постіригаційна трансформація розглядається як окремий тип режимного зсуву, спричиненого втратою антропогенного контролю над водним режимом, що супроводжується переходом системи до нової, водозалежно нестабільної системи. Такий підхід дозволяє інтегрувати гідрологічні, кліматичні та біопродуктивні аспекти деградації в єдину концептуальну модель і створює теоретичне підґрунтя для дослідження поствоєнної трансформації аграрних систем.

Перспективи подальших досліджень. Теоретичні узагальнення, отримані в межах дослідження, дозволяють сформулювати цілісне бачення ключових напрямів подальших наукових пошуків, спрямованих на поглиблення розуміння постіригаційної трансформації територій, у тому числі агроєкосистем. У цьому контексті пріоритетними є дослідження порогових станів втрати біокліматичної стійкості, що визначають критичні межі переходу системи до деградованого режиму функціонування, а також просторово-часове моделювання процесів аридизації як нелінійної динаміки деградації агроландшафтів.

Важливим напрямом є інтеграція супутникових індикаторів у системи екологічного моніторингу, що забезпечує можливість кількісної оцінки взаємопов'язаних змін у компонентах системи «ґрунтова волога – температура – рослинність» та їх використання як ранніх індикаторів режимних зсувів. Актуальним є комплексне оцінювання довгострокових екологічних і соціально-економічних наслідків втрати іригаційної регуляції, зокрема впливу на продуктивність аграрного сектору, стан ґрунтових ресурсів і життєздатність сільських територій.

Особливого значення набуває розроблення сценаріїв відновлення водогосподарської інфраструктури та адаптації аграрного виробництва до нових кліматичних і ресурсних обмежень. У цьому контексті науково обґрунтовані підходи до реконструкції іригаційних систем і управління водними ресурсами розглядаються як ключовий інструмент відновлення біокліматичної стійкості агроєкосистем і забезпечення сталого розвитку Півдня України у післявоєнний період [21].

Обговорення. Отримані результати дозволяють інтерпретувати воєнно зумовлену трансформацію зрошуваних агроєкосистем Півдня України як приклад нелінійного режимного зсуву, спричиненого втратою антропогенно керованого гідрологічного режиму. На відміну від більшості досліджень, які розглядають поступові зміни в агроєкосистемах, у цьому випадку спостерігається різкий системний злам, що відповідає концепції критичних переходів (tipping points) у соціо-екологічних системах [1; 3].

Запропонований каскадний механізм трансформації підтверджує положення теорії взаємопов'язаних режимних зсувів, згідно з якою зміни в одному компоненті системи здатні ініціювати послідовну деградацію інших її елементів [7]. У контексті досліджуваної території осушення Каховського водосховища і втрата іригаційного водопостачання виступає первинним тригером, що запускає ланцюг змін у системі «ґрунтова волога – температура – рослинність», формуючи самопідсилюваний механізм деградації.

Особливістю встановлених процесів є те, що вони відбуваються в системі, яка більше 60 років функціонувала в умовах штучної стабілізації. Це дозволяє розглядати постіригаційну трансформацію як окремий тип режимного зсуву, пов'язаний із втратою антропогенно підтримуваної резильєнтності. У цьому аспекті результати дослідження розширюють існуючі уявлення про функціонування соціо-екологічних систем, доповнюючи їх випадками різкого порушення керованих гідрологічних режимів.

Водночас отримані висновки узгоджуються з глобальними дослідженнями ролі водного фактора у забезпеченні стійкості агроecosистем і підкреслюють критичну залежність продуктивності від доступності водних ресурсів [4; 6]. У поєднанні з кліматичними змінами, зокрема зростанням частоти «гарячих посух», втрата іригації призводить до синергетичного посилення деградаційних процесів [5].

Разом із тим слід враховувати певні обмеження дослідження, пов'язані з його концептуальним характером і обмеженим доступом до польових даних у зоні активних бойових дій. Це зумовлює необхідність подальшої верифікації запропонованих положень на основі детальних емпіричних досліджень, зокрема із використанням дистанційного зондування, польових спостережень і соціально-економічного аналізу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні наукового підґрунтя для розроблення стратегій повоєнного відновлення аграрного сектору Півдня України. Зокрема, відновлення або трансформація іригаційних систем розглядається як ключовий фактор повернення агроecosистем до стабільного стану або формування нових адаптивних моделей землекористування [21].

Висновки

1. Воєнно зумовлене руйнування Каховської гідроелектростанції та осушення Каховського водосховища спричинили масштабний гідрологічний колапс у зоні зрошення Півдня України, що призвів до втрати керованого водного режиму та дестабілізації агроecosистем на площі понад 3 млн га.
2. Встановлено, що трансформація аграрних систем у досліджуваному регіоні має нелінійний характер і відповідає концепції режимних зсувів, де втрата іригаційної регуляції виступає тригером переходу від іригаційно стабілізованого до кліматично детермінованого стану функціонування.
3. Обґрунтовано каскадний механізм постіригаційної трансформації, який реалізується через взаємопов'язану систему змін «ґрунтова волога – температура – рослинність», де дефіцит вологи ініціює підвищення температури, деградацію рослинного покриву та формування самопідсилюваних зворотних зв'язків деградації.
4. Доведено, що втрата антропогенно підтримуваної резильєнтності агроecosистем призводить до формування

нового, водозалежно нестабільного стану, який характеризується зниженням біокліматичного потенціалу, порушенням водного балансу, розвитком ерозійних і дефляційних процесів та аридизацією територій.

5. Запропоновано концепцію постіригаційної трансформації як нового наукового підходу до аналізу деградації аграрних систем, що розширює теорію режимних зсувів шляхом включення випадків втрати антропогенно керованих гідрологічних систем.
6. Визначено пріоритетні напрями подальших досліджень, що включають виявлення порогових станів біокліматичної стійкості, просторово-часове моделювання аридизації, інтеграцію дистанційних індикаторів у системи моніторингу та оцінку соціально-економічних наслідків деградації агроландшафтів.
7. Практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні наукового підґрунтя для розроблення стратегій сталого повоєнного відновлення Півдня України, зокрема відновлення водогосподарської інфраструктури та адаптації аграрного виробництва до нових кліматичних і ресурсних обмежень.

Acknowledgments

The project was supported by Documenting Ukraine, a program of the Institute for Human Sciences, IWM Vienna.

1. Scheffer M., Carpenter S., Foley J. A., Folke C., Walker B. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*. 2001. Vol. 413, No. 6856. P. 591–596. DOI: <https://doi.org/10.1038/35098000>.
2. Folke C., Carpenter S. R., Walker B., Scheffer M., Chapin T., Rockström J. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*. 2010. Vol. 15, No. 4. Art. 20. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>.
3. Dakos V., Matthews B., Hendry A. P., Levine J., Loeuille N., Norberg J., Nosil P., Scheffer M., De Meester L. Ecosystem tipping points in an evolving world. *Nature Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 3. P. 355–362. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0797-2>.
4. Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*. 2016. Vol. 2, No. 2. Art. e1500323. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>.
5. Udall B., Overpeck J. The twenty-first century Colorado River hot drought and implications for the future. *Water Resources Research*. 2017. Vol. 53, No. 3. P. 2404–2418. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016WR019638>.
6. D'Odorico P., Davis K. F., Rosa L., Carr J. A., Chiarelli D., Dell'Angelo J., Gephart J., MacDonald G. K., Seekell D. A., Suweis S., Rulli M. C. The global food-energy-water nexus. *Reviews of Geophysics*. 2018. Vol. 56, No. 3. P. 456–531. DOI: <https://doi.org/10.1029/2017RG000591>.
7. Rocha J. C., Peterson G., Bodin Ö., Levin S. Cascading regime shifts within and across scales. *Science*. 2018. Vol. 362, No. 6421. P. 1379–1383. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat7850>.
8. Hapich H., Novitskyi R., Onopriienko D., Dent D., Roubík H. Water security consequences of the Russia–Ukraine war and the post-war outlook. *Water Security*. 2024. Vol. 21. Art. 100167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100167>.
9. Snizhko S., Didovets I., Bronstert A.

Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. *Water Security*. 2024. Vol. 23. Art. 100182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182>.

10. Albergel C., Rüdiger C., Pellarin T., Calvet J.-C., Fritz N., Froissard F., Suquia D., Petitpa A., Pignatelli B., Martin E. From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter: An assessment of the method based on in situ observations and model simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2008. Vol. 12. P. 1323–1337. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-12-1323-2008>.

11. Dorigo W., Wagner W., Albergel C., Albrecht F., Balsamo G., Brocca L., Chung D., Ertl M., Forkel M., Gruber A., Haas E., Hamer P. D., Hirschi M., Ikonen J., de Jeu R., Kidd R., Lahoz W., Liu Y. Y., Miralles D., Lecomte P. ESA CCI soil moisture for improved earth system understanding: State-of-the-art and future directions. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 203. P. 185–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.001>.

12. Li Z.-L., Tang B.-H., Wu H., Ren H., Yan G., Wan Z., Trigo I. F., Sobrino J. A. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 131. P. 14–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>.

13. Baret F., Weiss M., Lacaze R., Camacho F., Makhmara H., Pacholczyk P., Smets B. GEOV1; LAI and FAPAR essential climate variables and FCOVER global time series capitalizing over existing products. Part 1; Principles of development and production. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 137. P. 299–309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.027>.

14. Vyshnevskiy V., Shevchuk S., Komorin V., Oleynik Y., Gleick P. H. The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International*. 2023. Vol. 48, No. 5. P. 631–647. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2023.2247679>.

15. Spears B. M., Harpham Q., Brown E., Barnett C. L., Barwell L., Roca Collell M., Davison M., Dixon H., Elliott J. A., Garbutt A., Hazlewood C., Hofmann B., Lanyon J., Lofts S., MacKechnie C., Medinets S., Noble J., Ramsbottom D., Redhead J. W., Riera A., Spurgeon D. J., Svendsen C., Taylor P., Thackeray S. J., Wood M. D. A rapid environmental risk assessment of the Kakhovka Dam breach during the Ukraine conflict. *Nature Ecology & Evolution*. 2024. Vol. 8. P. 834–836. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02373-0>.

16. Shumilova O. et al. Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*. 2025. Vol. 387, No. 6739. P. 1181–1186. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.adn8655>.

17. Holling C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1973. Vol. 4. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>.

18. Kueppers L. M., Snyder M. A., Sloan L. C. Irrigation cooling effect: Regional climate forcing by land-use change. *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. Art. L03703. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL028679>.

19. Alter R. E., Im E.-S., Eltahir E. A. B. Rainfall consistently enhanced around the Gezira Scheme in East Africa due to irrigation. *Nature Geoscience*. 2015. Vol. 8. P. 763–767. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo2514>.

20. Thiery W. et al. Warming of hot extremes alleviated by expanding irrigation. *Nature Communications*. 2020. Vol. 11. Art. 290. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14075-4>.

21. Romashchenko M., Faybishenko B., Onopriienko D., Hapich H., Novitskiy R., Dent D. Prospects for restoration of Ukraine's irrigation system. *Water International*. 2025. P. 104–120. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2025.2472718>.

22. Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. Natural processes in the area of the former Kakhovske Reservoir after the destruction of the Kakhovka HPP. *Journal of Landscape Ecology*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 147–164. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2024-0014>.

23. Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. The impact of the Kakhovka dam destruction on the water temperature in the lower reaches of the Dnipro River and the former Kakhovske reservoir. *Journal of Landscape Ecology*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2024-0008>. **24.** Pichura V., Potravka L. Impact of war on natural and climatic transformation of territories in the irrigation zone of Ukraine. *Discover Applied Sciences*. 2025. Vol. 7. Art. 783. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07404-4>. **25.** Pichura V., Potravka L., Stoiko N., Dudych H. Scenarios for the functioning of the Kakhovka Reservoir territory. *Journal of Landscape Ecology*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 118–154. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2025-0023>. **26.** Pichura V., Potravka L., Boiko P. Climatic and hydrological conditions for the formation of vegetation cover in the drained Kakhovka Reservoir's territory. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26, No. 4. P. 357–373. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/202227>. **27.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Bahinskyi O. Natural and climatic transformation of the Kakhovka Reservoir after the destruction of the dam. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25, No. 7. P. 82–104. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/187961>. **28.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Hyrlya L. The impact of the russian armed aggression on the condition of the water area of the Dnipro-Buh estuary system. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024. Vol. 25, No. 11. P. 58–82. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/192154>. **29.** Pichura V. et al. Long-term changes in the stability of agricultural landscapes in the areas of irrigated agriculture of the Ukraine steppe zone. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, No. 3. P. 188–198. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/158553>. **30.** Pichura V. et al. Changes in climate and bioclimatic potential in the steppe zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, No. 12. P. 189–202. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/154844>. **31.** Pichura V., Potravka L., Barulina I. Agricultural dependence of the formation of water balance stability of the Sluch River Basin under conditions of climate change. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24, No. 9. P. 300–325. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/174163>. **32.** Dudiak N., Pichura V., Potravka L., Stratichuk N. Environmental and economic effects of water and deflation destruction of steppe soil in Ukraine. *Journal of Water and Land Development*. 2021. Vol. 50. P. 10–26. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.138156>. **33.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Stroganov A., Dyudyaeva O. Spatial differentiation of regulatory monetary valuation of agricultural land in conditions of widespread irrigation of steppe soils. *Journal of Water and Land Development*. 2021. Vol. 48. P. 182–196. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.136161>

REFERENCES:

1. Scheffer M., Carpenter S., Foley J. A., Folke C., Walker B. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*. 2001. Vol. 413, No. 6856. P. 591–596. DOI: <https://doi.org/10.1038/35098000>. **2.** Folke C., Carpenter S. R., Walker B., Scheffer M., Chapin T., Rockström J. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*. 2010. Vol. 15, No. 4. Art. 20. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>. **3.** Dakos V., Matthews B., Hendry A. P., Levine J., Loeuille N., Norberg J., Nosil P., Scheffer M., De Meester L. Ecosystem tipping points in an evolving world. *Nature Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 3. P. 355–362. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0797-2>. **4.** Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*. 2016. Vol. 2, No. 2.

Art. e1500323. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>. **5.** Udall B., Overpeck J. The twenty-first century Colorado River hot drought and implications for the future. *Water Resources Research*. 2017. Vol. 53, No. 3. P. 2404–2418. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016WR019638>. **6.** D’Odorico P., Davis K. F., Rosa L., Carr J. A., Chiarelli D., Dell’Angelo J., Gephart J., MacDonald G. K., Seekell D. A., Suweis S., Rulli M. C. The global food-energy-water nexus. *Reviews of Geophysics*. 2018. Vol. 56, No. 3. P. 456–531. DOI: <https://doi.org/10.1029/2017RG000591>. **7.** Rocha J. C., Peterson G., Bodin Ö., Levin S. Cascading regime shifts within and across scales. *Science*. 2018. Vol. 362, No. 6421. P. 1379–1383. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat7850>. **8.** Hapich H., Novitskyi R., Onopriienko D., Dent D., Roubík H. Water security consequences of the Russia–Ukraine war and the post-war outlook. *Water Security*. 2024. Vol. 21. Art. 100167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100167>. **9.** Snizhko S., Didovets I., Bronstert A. Ukraine’s water security under pressure: Climate change and wartime. *Water Security*. 2024. Vol. 23. Art. 100182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182>. **10.** Albergel C., Rüdiger C., Pellarin T., Calvet J.-C., Fritz N., Froissard F., Suquia D., Petitpa A., Pignatelli B., Martin E. From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter: An assessment of the method based on in situ observations and model simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2008. Vol. 12. P. 1323–1337. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-12-1323-2008>. **11.** Dorigo W., Wagner W., Albergel C., Albrecht F., Balsamo G., Brocca L., Chung D., Ertl M., Forkel M., Gruber A., Haas E., Hamer P. D., Hirschi M., Ikonen J., de Jeu R., Kidd R., Lahoz W., Liu Y. Y., Miralles D., Lecomte P. ESA CCI soil moisture for improved earth system understanding: State-of-the-art and future directions. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 203. P. 185–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.001>. **12.** Li Z.-L., Tang B.-H., Wu H., Ren H., Yan G., Wan Z., Trigo I. F., Sobrino J. A. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 131. P. 14–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>. **13.** Baret F., Weiss M., Lacaze R., Camacho F., Makhmara H., Pacholczyk P., Smets B. GEOV1; LAI and FAPAR essential climate variables and FCOVER global time series capitalizing over existing products. Part 1; Principles of development and production. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 137. P. 299–309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.027>. **14.** Vyshnevskiy V., Shevchuk S., Komorin V., Oleynik Y., Gleick P. H. The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International*. 2023. Vol. 48, No. 5. P. 631–647. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2023.2247679>. **15.** Spears B. M., Harpham Q., Brown E., Barnett C. L., Barwell L., Roca Collell M., Davison M., Dixon H., Elliott J. A., Garbutt A., Hazlewood C., Hofmann B., Lanyon J., Lofts S., MacKechnie C., Medinets S., Noble J., Ramsbottom D., Redhead J. W., Riera A., Spurgeon D. J., Svendsen C., Taylor P., Thackeray S. J., Wood M. D. A rapid environmental risk assessment of the Kakhovka Dam breach during the Ukraine conflict. *Nature Ecology & Evolution*. 2024. Vol. 8. P. 834–836. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02373-0>. **16.** Shumilova O. et al. Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*. 2025. Vol. 387, No. 6739. P. 1181–1186. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.adn8655>. **17.** Holling C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1973. Vol. 4. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>. **18.** Kueppers L. M., Snyder M. A., Sloan L. C. Irrigation cooling effect: Regional climate forcing by land-use change. *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. Art. L03703. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL028679>. **19.** Alter R. E., Im E.-S., Eltahir E. A. B. Rainfall

consistently enhanced around the Gezira Scheme in East Africa due to irrigation. *Nature Geoscience*. 2015. Vol. 8. P. 763–767. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo2514>. **20.** Thiery W. et al. Warming of hot extremes alleviated by expanding irrigation. *Nature Communications*. 2020. Vol. 11. Art. 290. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14075-4>. **21.** Romashchenko M., Faybishenko B., Onoprienko D., Hapich H., Novitskyi R., Dent D. Prospects for restoration of Ukraine's irrigation system. *Water International*. 2025. P. 104–120. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2025.2472718>. **22.** Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. Natural processes in the area of the former Kakhovske Reservoir after the destruction of the Kakhovka HPP. *Journal of Landscape Ecology*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 147–164. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2024-0014>. **23.** Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. The impact of the Kakhovka dam destruction on the water temperature in the lower reaches of the Dnipro River and the former Kakhovske reservoir. *Journal of Landscape Ecology*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2024-0008>. **24.** Pichura V., Potravka L. Impact of war on natural and climatic transformation of territories in the irrigation zone of Ukraine. *Discover Applied Sciences*. 2025. Vol. 7. Art. 783. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07404-4>. **25.** Pichura V., Potravka L., Stoiko N., Dudych H. Scenarios for the functioning of the Kakhovka Reservoir territory. *Journal of Landscape Ecology*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 118–154. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2025-0023>. **26.** Pichura V., Potravka L., Boiko P. Climatic and hydrological conditions for the formation of vegetation cover in the drained Kakhovka Reservoir's territory. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26, No. 4. P. 357–373. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/202227>. **27.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Bahinskyi O. Natural and climatic transformation of the Kakhovka Reservoir after the destruction of the dam. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25, No. 7. P. 82–104. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/187961>. **28.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Hyrlya L. The impact of the russian armed aggression on the condition of the water area of the Dnipro-Buh estuary system. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024. Vol. 25, No. 11. P. 58–82. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/192154>. **29.** Pichura V. et al. Long-term changes in the stability of agricultural landscapes in the areas of irrigated agriculture of the Ukraine steppe zone. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, No. 3. P. 188–198. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/158553>. **30.** Pichura V. et al. Changes in climate and bioclimatic potential in the steppe zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, No. 12. P. 189–202. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/154844>. **31.** Pichura V., Potravka L., Barulina I. Agricultural dependence of the formation of water balance stability of the Sluch River Basin under conditions of climate change. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24, No. 9. P. 300–325. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/174163>. **32.** Dudiak N., Pichura V., Potravka L., Stratichuk N. Environmental and economic effects of water and deflation destruction of steppe soil in Ukraine. *Journal of Water and Land Development*. 2021. Vol. 50. P. 10–26. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.138156>. **33.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Stroganov A., Dyudyaeva O. Spatial differentiation of regulatory monetary valuation of agricultural land in conditions of widespread irrigation of steppe soils. *Journal of Water and Land Development*. 2021. Vol. 48. P. 182–196. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.136161>

Pichura V. I. [1; ORCID ID: 0000-0002-0358-1889],
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Potravka L. O. [1; ORCID ID: 0000-0002-0011-2286],
Doctor of Economics, Professor

¹Kherson State Agrarian and Economic University, Kherson

WAR-INDUCED TRANSFORMATION OF IRRIGATED AGROECOSYSTEMS IN SOUTHERN UKRAINE: PROBLEM ACTUALIZATION AND RESEARCH PERSPECTIVES UNDER CONDITIONS OF HYDROLOGICAL COLLAPSE

The article addresses the problem of war-induced transformation of irrigated agroecosystems in Southern Ukraine under conditions of hydrological collapse caused by the destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant and the drainage of the Kakhovka Reservoir. It is substantiated that the loss of irrigation regulation has become a systemic trigger for the transition of agricultural systems from an anthropogenically controlled water–thermal regime to a climate-driven state of functioning. The theoretical framework of the study is based on the concepts of socio-ecological systems, resilience, and regime shifts, which allow interpreting current transformations as a nonlinear process of loss of bioclimatic stability.

The cascading mechanism of post-irrigation transformation within the system “soil moisture – temperature – vegetation” is revealed, where moisture deficit initiates an increase in thermal stress, suppression of vegetation cover, decline in bioproductivity, and the formation of self-reinforcing degradation processes. It is proposed to consider post-irrigation transformation as a specific type of regime shift caused by the loss of anthropogenic control over the hydrological regime.

Prospective directions for further research are identified, including the detection of threshold states of bioclimatic stability, spatio-temporal modeling of aridification processes, integration of satellite-based indicators into environmental monitoring systems, and assessment of environmental and socio-economic consequences of irrigation loss. The results of the study provide a scientific basis for developing strategies for sustainable post-war recovery of Southern Ukraine and for adapting agricultural production to new climatic and resource constraints.

Keywords: war impact; hydrological collapse; Kakhovka Reservoir; irrigated agroecosystems; post-irrigation transformation; aridification; bioclimatic stability; regime shift; remote sensing; Southern Ukraine.

Отримано / Received: 05.03.2026
Прийнято до друку / Accepted: 20.03.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026

