

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДООЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ДЛЯ ЗРОШЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН КЛІМАТУ

О.Ф. Рильський¹, Ю.Ю. Петруша², Н.М. Притула¹,
К.О. Домбровський¹, М.Д. Безуглий³

¹Запорізький національний університет (м. Запоріжжя, Україна)

e-mail: rylsky@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9631-1828

e-mail: prytulanataliam@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8949-0824

e-mail: dombrov1717@ukr.net; ORCID: 0000-0001-6965-6989

²Національний університет «Запорізька політехніка»

(м. Запоріжжя, Україна)

e-mail: Yulia.ZNU@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3041-2877

³Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна)

e-mail: bezugly_m@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1659-3029

Зміни клімату і виробнича діяльність людини мають загальнопланетарний характер та істотно впливають на всі складові біосфери. Одним із найуразливіших компонентів біосфери є Вода і людство вже страждає від дефіциту питної води і зниження її якості, нестачі водних ресурсів для ведення господарської діяльності загалом та сільськогосподарського виробництва, зокрема. Тому існують об'єктивні причини для розробки новітніх технологій і системи практичних заходів із пошуку нових водних джерел та зменшення обсягів води на виробництво одиниці продукції. Як додаткове джерело водних ресурсів, автори пропонують використовувати стічні води (після міських очисних споруд), попередньо доочищені в штучно-природних системах, а потім направляти їх на зрошення сільськогосподарських угідь (насамперед, на півдні України). Для такого штучно створеного шляху води до малих річок треба застосовувати яри, балки, штучно прориті канали, модифіковані греблі малих річок із використанням носіїв біоти, систем Solar-bi та особливостей місцевого ландшафту. Одним із найважливіших за значенням для виживання людей напрямів використання води є зрошення. Інтенсивне землеробство в південних регіонах України можливе тільки за штучного зрошення, тому що реалізація високого рівня генетичного потенціалу сучасних гібридів і сортів сільськогосподарських культур можлива лише за оптимального водозабезпечення рослин. Система зрошення, що базувалася на традиційних технологіях поливу полів дощувальними машинами та, на незначних площах, поверхневого краплинного зрошення, значно постраждала за руйнації агресором Каховської греблі. Тому принципово важливим є вибір стратегії відновлення зрошення найбільшої в Україні Каховської зрошувальної системи у повоєнний період. На підставі власних результатів використання новітньої технології — внутрішньогрунтового краплинного зрошення рослин трубопроводами на глибині 30–40 см, що отримані в умовах посушливого клімату Запорізької обл., автори запропонували широкомасштабне впровадження цієї технології в Україні взагалі та у Каховській зрошувальній системі, зокрема. Наведені економічні розрахунки демонструють значні переваги даного методу порівняно з традиційними: майже вдвічі зменшується споживання води на одиницю рослинної продукції і на 20–30% збільшується урожайність сільськогосподарських культур. Проведені розрахунки допомогли авторам висунути гіпотезу щодо істотного зменшення площі водосховища під час відновлення Каховського гідровузла.

Ключові слова: доочищення стічної води, малі річки, біоплато, біоконвеєр, крапельне зрошення, Каховська система зрошення.

ВСТУП

Зміна клімату планети Земля сьогодні є беззаперечним явищем. Ця зміна безпосередньо впливає на всі структурні компоненти біосфери та зв'язки між ними, і на людську популяцію як складову біосфери. Надважливими і небезпечними є зміни в гідросфері як на локальних територіях, так і в біосфері загалом.

Зміни в гідросфері — це не тільки перерозподіл об'ємів води в різних областях біосфери, це прямий вплив змін клімату на найважливіший компонент життя — Воду. Сьогодні об'єми води, що випадають з опадами на окремих територіях — це не тільки природний чинник, пов'язаний зі зміною клімату, але й антропогенний чинник, який набув планетарного характеру.

Дискусії, роздуми, дослідження наукової спільноти про первинність домінантного впливу природних чи антропогенних чинників на зміни клімату мають бути замінені на розробку практичних заходів, які знизять небезпеку для людини через катастрофічний дефіцит питної води і припинять зростання смертності через «вбивства» людей за рахунок збільшення міських островів тепла.

Про проблему дефіциту води в Україні треба вести серйозну розмову вже сьогодні, бо динаміка дефіциту прискорюється щоразу під впливом зміни клімату. Не менш важливим, ніж питання дефіциту воду, є питання якості. З особливою гостротою проблема якості та дефіциту води стоїть для південних та південно-східних областей нашої країни.

Мета дослідження — покращити якість води в малих і великих річках України. Повернути якість води до першого класу чистоти в р. Дніпро. Використати потенціал доочищеної води (N, P, K, органічні речовини) за підземного крапельного зрошування сільськогосподарських культур.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Згідно з класифікацією ООН за запасами води, що формуються на території країни та є доступними для використання,

Україна є однією з малозабезпечених водними ресурсами країн Європи. Наприклад, водозабезпеченість населення в Австралії становить 7,7 тис. м³/людину, в Естонії — 7 тис. м³/людину, Великій Британії — 5,0 тис. м³/людину, а в Україні — лише 1,1 тис. м³/людину. За цим показником Україна знаходиться на 111 місці серед 152 країн світу, а серед 20 європейських країн посідає 17 місце. Значна частина українських територій навіть класифікується як критично малозабезпечена водними ресурсами (Миколаївська, Запорізька, Херсонська, Одеська обл.). Водночас саме південні області є найбільшими споживачами води. Динаміка дефіциту води прискорюється під впливом змін клімату та антропогенного чинника [1; 2].

Крім того, Україна має нерівномірний територіальний розподіл водних ресурсів, обмеженість водних ресурсів власного формування (50 млрд м³/рік), зокрема 21 млрд м³/рік підземних вод питної якості є захищеними від прямого техногенного забруднення (крім ґрунтових вод). За багаторічними дослідженнями в Україні ресурси поверхневого стоку становлять 95,2 млрд м³/рік, з яких місцевий стік — 54,7 млрд м³/рік, а решта — приплив. У маловодний рік ресурси поверхневого стоку сягають приблизно 75% від зазначених показників. Приплив здійснюється з Білорусі (58% від загального обсягу припливу), Росії (26%), Молдови, Угорщини, Польщі [1; 3].

Водні ресурси України займають площу близько 24,2 тис. км², що становить 4% від загальної території держави (603,7 тис. км²). До них належать річки, озера, водосховища, ставки та канали. Річкова мережа країни є відносно розрідженою (у середньому 0,34 км на 1 км²), тут відсутні великі природні водойми, а запаси підземних вод обмежені. Болота, які колись виконували функцію природного регулятора водності річок, нині значною мірою осушені. Тому, основними джерелами водних ресурсів України є місцевий і транзитний стік річок, запаси озер, штучних водойм та підземних горизонтів. Експерти підкреслюють, що Україна

характеризується значним антропогенним тиском на водні джерела й дефіцитом прісної води [4]. Значне покращання стану водних ресурсів має принести перехід України на новий басейновий принцип управління водними ресурсами, на думку І.В. Шуми-гай та М.В. Боярин [5; 6].

Прогнозований обсяг підземних вод України становить 61 689 тис. м³ на добу, проте їх розподіл по території є нерівномірним: найбільші запаси зосереджені на півночі та заході країни. Неєкологічне ведення сільського господарства, а також забруднення водних об'єктів промисловими підприємствами, у поєднанні з глобальним потеплінням та кліматичними змінами, призвели до зникнення тисячі малих річок, значного скорочення водності основних річкових систем та руйнування водних і прибережних екосистем [4; 7].

Вирішення проблеми якості води не можна розглядати окремо від питання дефіциту води. Як показує історія цих проблем, вони були завжди взаємопов'язаними і взаємозалежними. Для України основним джерелом питної та технологічної води є р. Дніпро. Від якості води в цій річці напряму залежить якість здоров'я людей, а також тривалість життя.

З радянських часів склалося так, що вода після очищення в міських біологічних очисних спорудах (починаючи з Києва, і далі Черкаси, Кременчук, Кам'янське, Дніпро, Запоріжжя та багато менших міст) безпосередньо через декілька сотень метрів або декілька кілометрів (Кам'янське – 5,7 км; Київ – 8,1 км; Запоріжжя: ЦОС-1 – 3,7 км, ЦОС-2 – 200 м; Дніпро – 400 м; Черкаси – 500 м) скидається в русло р. Дніпро. За висловом проф. П.І. Гвоздяка «*поєднали криниці з туалетами*» [8]. Зрозуміло, що за різних причин очищені стоки не завжди відповідають вимогам нормативно-правових документів. Тому сьогодні вода в р. Дніпро є III-го класу чистоти, і з великим наближенням може використовуватися в якості питної.

В Україні такими вченими, як П.І. Гвоздяк [8], Л.А. Саблій [9], С.В. Скок [10; 11], А.В. Шепель [12; 13] пропонуються різні

методи очищення та доочищення води, і переважно для подальшого її використання в зрошувальних системах. Так, С.В. Скок рекомендує доочишувати стічну воду після Херсонських очисних споруд на простих, поодиноких інфільтраційних спорудах та біоплато [14]. Втім такий підхід може бути достатнім, щоб використати воду на полях зрошення, але недостатнім для скиду в річки.

У 2017 р. Україна посіла перше місце в рейтингу розораних країн світу з орною площею 33,5 млн га. Станом на 2022 р. розораність території України сягала 53,9%, а сільгоспугідь – 78,2%. Для порівняння: у Польщі ці показники становлять 36,5% і 75,1%, у Німеччині – 34,1 й 71, у США – лише 17,5% та 38,9%. За кліматичними зонами найбільш розораною є степова зона – 81,2%, у Лісостепу цей показник сягає 80,8, а на Поліссі – 65,7%. Найвищий рівень розораності території зафіксовано в Кіровоградській обл. – 69,6%. До п'ятірки регіонів-лідерів також входять Миколаївська, Запорізька, Дніпропетровська та Вінницька обл. [15].

Зважаючи на найбільшу площу розораних земель в Європі й пов'язаний із цим ефект підвищеної температури над поверхнею розораних великих площ землі, Україною розораних великих площ землі, Україною може стати на прямий шлях до утворення «теплових островів» [16] не тільки в урбанізованих регіонах країни, але й на великих територіях, задіяних у сільськогосподарському виробництві. Висока температура повітря і ґрунту призводить до значної втрати врожаю і зневоднення ґрунтів, що, своєю чергою, впливає на зневоднення малих річок, а далі і великих – Дніпра, Дунаю, Десни, Прип'яті, Південного Бугу, Дністра, Сіверського Донця.

Надзвичайно важливим напрямом використання води малих і великих річок та внутрішніх і створених людиною водойм України є зрошення сільськогосподарських угідь. Важко переоцінити значення зрошення для вирощування зернових, олійних, бобових, овочевих і баштанних культур, фруктів і винограду у південних регіонах нашої держави. Основним джерелом води

для зрошення до війни було, безумовно, Каховське водосховище, греблю якого було зруйновано агресором у 2023 р. [17].

Наслідки руйнації греблі Каховського гідровузла для аграрного виробництва півдня України було детально проаналізовано такими вченими, як В.І. Пічура, І.П. Лопушинський, І.В. Саніна [17–19], а також у доповіді одного з авторів даної статті на конференції, що була організована Запорізьким національним університетом у червні 2023 р. [20]. Тому наразі тільки нагадаємо один із головних висновків тієї доповіді — *«збалансований розвиток агропромислового комплексу півдня України можливий тільки за умови відновлення зрошення»*.

Значне підвищення врожайності сільськогосподарських культур у інших регіонах держави можливе за рахунок використання води, що проходить доочистку після міських очисних споруд. Оскільки значна частина зрошувальних систем постраждала від військових дій і ці руйнації продовжуються, то відновлення зрошення після війни практично буде означати створення нової системи. Тому закономірно виникає питання: яку технологію зрошення потрібно буде застосувати у майбутньому? Нагадаємо, що основні методологічні засади зрошення базувалися на технологічних розробках 50–60-х років ХХ ст. і основним методом зрошення в Україні був полив полів дощувальними машинами. Чи не єдиним удосконаленням цієї технології було обмежене використання сучасних дощувальних машин закордонного виробництва, яке відбувалося у першому десятилітті ХХІ ст. Головним недоліком застосування дощувальних машин є великі непродуктивні втрати води, бо тільки на випаровування витрачалося до 70% води, що подавалася на поля.

В останнє довоєнне десятиріччя українські аграрії почали використовувати поверхневе крапельне зрошення, за якого вода подається до рослин через систему трубок, що розміщують у міжрядді посівів або посадок сільськогосподарських культур. Це більш ефективний метод засто-

сування води, але він знайшов обмежене використання у виробництві і переважно тільки у садівництві та виноградарстві. За вирощування польових культур основним методом залишається дощувальне зрошення.

Водночас, існує ще один метод зрошення — підгрунтове або, з нашої точки зору, правильно називати його внутрішньогрунтове краплинне зрошення (ВГКЗ), коли вода подається безпосередньо до кореневої системи рослин через трубки, що постійно знаходяться у ґрунті завглибшки 30–40 см. Хоча сам метод був винайдений ще в 1930-х роках ізраїльським інженером С. Блассом, його комерційне випробування відбулося тільки на початку 1960-х. Не зважаючи на досить тривалу історію винайдення ВГКЗ, його широке комерційне використання стало можливим тільки у ХХІ ст. Це пов'язано з розвитком сучасних технологій виготовлення полімерних трубопроводів та автоматизованих систем подачі води до рослин [21].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження було застосовано загальноприйняті теоретичні методи: аналіз, синтез, систематизацію та узагальнення даних із відкритих наукових джерел та результати власних досліджень.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На основі отриманих даних авторами запропоновано ефективний захід, який допоможе запобігти розвитку всіх вищенаведених негативних явищ. Для його реалізації необхідно поєднати потреби в поливній воді на великих територіях із системами доочищення стічної води після всіх обласних і районних центрів.

Із зруйнуванням Каховської греблі та за впливу військових дій у Херсонській, Запорізькій, Дніпропетровській і Донецькій обл. наразі стало особливо важливим, щоб після деокупації територій цих областей питання дефіциту води не стало несподіванкою.

Ідея авторів полягає в тому, що необхідно повністю використовувати доочищені стічні води (після біологічної очистки) для поливу сільськогосподарських земель у весняно-літній період під час інтенсивної вегетації сільськогосподарських культур.

Сьогодні очищені стічні води у всіх великих містах України скидаються у великі річки, зокрема в Дніпро. Це абсолютно недопустимо, адже Дніпро є основним джерелом питної води нашої держави.

Потрібно, щоб стічна вода після біологічного очищення в міських очисних спорудах пройшла стадію природно-штучного доочищення (рис. 1).

Вода від очисних споруд міста має пройти шлях через системи доочищення, потім потрапити в малі річки і далі, шляхом фільтрації через ґрунти сільськогосподарських земель, до русла великої річки.

Проходячи через штучно створені біоплато в штучних ставках і руслах вода повільно тече багатокілометровими звивистими шляхами до русла Дніпра та інших річок. Для такого штучно створеного шляху води до малих річок треба використовувати яри, балки, штучно прориті канали із застосуванням носіїв біоти, систем Solar-bi, особливостей місцевого ландшафту. Таке штучне «розтягування» шляху води від очисних споруд до русла річки — це найкраще використання принципу «біоконвеєра», запропонованого проф. П.І. Гвоздяком [8; 22].

Після систем доочищення стічних вод буде відбуватися не тільки покращання якості води до необхідних параметрів, але й резервування великих об'ємів води, що

можуть бути застосовані за вегетативного періоду у сільськогосподарських рослин, сприяючи підвищенню врожаю. Використання доочищеної стічної води на великих площах сільськогосподарських земель треба здійснювати через системи крапельного підземного зрошування, а також за допомогою смугової технології культивування полікультур на одній ділянці. Така технологія поливу дає максимальне підведення води до кореневої системи рослин невеликими регульованими порціями та сприяє мінімальному випаровуванню вологи. Крім того, це дасть змогу максимально використовувати потенціал доочищеної води (рослини отримують азотні, фосфатні та розчинні органічні речовини зі стічної води), економити добрива, забезпечити рівномірне зволоження ґрунту, покращити врожай та зменшити ріст бур'янів.

Після міських очисних споруд стічна вода, що скидається в Дніпро (з обласних центрів), має такі фізико-хімічні параметри: завислі речовини — 15–20 мг/дм³; БСК5 — 5,0–6,5; ХСК — 70,0–85,0; азот амонійний — 0,71–0,79; азот нітритний — 0,20–0,27; азот нітратний — 35,0–38,0; розчинений кисень — 6,99–8,15; фосфати — 6,0–7,0; сульфати — 46,5–56,4; нафтопродукти — 0,3–0,5; СПАР — 0,3–0,5 мг/дм³ [23].

Головна вимога до якості води, після проходження всіх систем доочищення, — це відсутність у воді важких металів. Більшість інших елементів, що потраплять у ґрунти, будуть використані рослинами та іншою ґрунтовою біотою в конструктивному і енергетичному метаболізмі, або

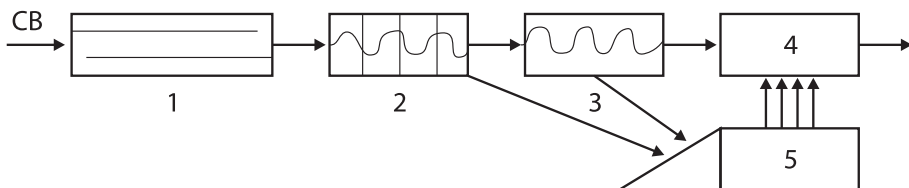


Рис. 1. Ланцюг доочищення стічної води від міських очисних споруд до русла великої річки:

- 1 — міські очисні споруди; 2 — штучні і природні системи доочищення води мозаїчного типу; 3 — малі річки з локальними системами доочистки; 4 — великі річки; 5 — сільськогосподарські землі

перетворені в хелатні комплекси. Після фільтрації через ґрунт вода в малі, а надалі у великі річки, буде потрапляти з поліпшеною якістю, що і є кінцевою метою запропонованого підходу покращання якості води в річках, та застосування її в сільському господарстві. Це дасть змогу наповнити річки України якісною водою, що пройшла етапи природно-штучного самоочищення.

Досвід інших вчених, наприклад, О.В. Лапань, Л.Е. Тимурова, М.О. Клименко [24–26] та наш досвід [27] використання штучно створених біоплато (рис. 2) в очисних спорудах «Мотор Січ» (для доочищення води), а також штучних носіїв у р. Капустяніці (для доочищення води після промислового шламонакопичувача), вказує на те, що шлях води по системах доочищення має бути довгим (3–4 км, а краще більше). Тоді утворюється стійка система трофічних ланцюгів між гідробіонтами.

Така глибока доочистка води процесами самоочищення і є додатковим джерелом якісної води для сільськогосподарського використання.

Метод внутрішньогрунтового краплинного зрошення має істотні переваги порівняно з дощувальним поливом (ДП) і поверхневим краплинним зрошенням (ПКЗ). Як показують чисельні дослідження закордонних авторів [28–30], цей метод знижує реальне споживання води на 30–50% порівняно з методами ДП і ПКЗ за однакового

рівня врожайності та забезпечує найвищу ефективність використання зрошувальної води за рахунок подачі її безпосередньо у кореневу зону та мінімізації витрат за рахунок випаровування і стоку. Ці переваги сприяли стрімкому впровадженню ВГКЗ у виробництво. Так, у 2023 р. такі системи застосовувалися на площі 3,7 млн га, тоді як у 2021 р. такі площі становили всього 2,6 млн га. Переважна частина цих площ зосереджена в аграрно розвинутих країнах: США, країнах ЄС (Іспанія, Франція, Італія), Австралії та Ізраїлі.

На жаль, в Україні внутрішньогрунтове краплинне зрошення поки що має вкрай обмежене використання і загальна площа, де воно застосовується, не перевищує 1000 га. Ми здійснювали дослідження використання ВГКЗ у компанії «СВАМ», яка розміщується у с. Миколай-Поле Запорізької обл. Засновником і керівником цієї компанії є В.О. Матросенков, один із піонерів використання цього методу в Україні. У довоєнні роки ним отримувалися рекордні врожаї кукурудзи (до 16 т/га) та соняшника (до 4,7 т/га) на площі близько 300 га за умови виконання всіх технологічних вимог.

Важливою перевагою сучасних технологій ВГКЗ є можливість внесення мінеральних добрив через трубопроводи подачі води безпосередньо до кореневої системи рослин. Азотні добрива вносяться у формі безводного аміаку за підключення цис-



Рис. 2. Створення штучних біоплато:

- а – щойно змонтовані плотики зі штучним носієм «ВІЯ»;
б – біоплато через 2 міс. після встановлення

терни з газоподібним аміаком до системи зрошення, а фосфорні — таким самим методом, у формі ортофосфорної кислоти. Такий метод не тільки гарантує майже 100%-ву доставку поживних речовин до рослин, але і є значно дешевшим від традиційних методів внесення добрив у вигляді азотних чи фосфорних солей. Так, вартість 1 кг діючої речовини азоту дешевше в 1,5 раза, а 1 кг діючої речовини фосфору — втричі, що зменшує собівартість 1 т врожаю на 15–20%.

Важливим елементом підвищення врожайності є і особливості вегетативного росту рослин за умов використання ВГКЗ. Як показують наші спостереження, за застосування такого методу зрошення істотно змінюється формування кореневої системи. Майже всі корені формуються навколо трубопроводу з водою і розчиненими у ній добривами завглибшки 30–60 см, загальна маса кореневої системи коротша в 3–4 рази і легша в 1,5–2 рази від такої у рослин, що вирощуються за традиційними технологіями. Тому, більша частка поживних речовин використовується для росту надземної частини рослин і подальшого збільшення врожайності.

Досвід застосування ВГКЗ у компанії «СВАМ» чітко вказує, що високий кінцевий результат може бути досягнутий тільки за умови комплексного підходу щодо виконання технологічних вимог вирощування сільськогосподарських культур. Прогресивна технологія внутрішньогрунтового зрошення дійсно забезпечує оптимальні умови водного живлення рослин і здешевлює внесення основних мінеральних добрив, що є базовою складовою отримання високого врожаю. Крім того, підбір сортів і гібридів сільськогосподарських культур, збалансоване живлення всіма необхідними мінеральними елементами, вибір методів захисту рослин від бур'янів, хвороб та шкідників також відіграють надзвичайно важливу роль для отримання високого рівня рентабельності. За умов збалансованого виконання усіх технологічних умов зростання врожайності порівняно зі зрошенням дощувальними машинами сягало 60% для

кукурудзи (від 10 до 16 т/га) і 47% для сояшника (від 3,2 до 4,7 т/га).

Як відзначено нами вище, метод внутрішньогрунтового краплинного зрошення має істотні переваги порівняно з методами дощувального поливу та поверхневого крапельного зрошення. Втім цей метод має істотний недолік: це висока вартість матеріалів, обладнання та робіт із монтажу системи. Середні витрати становлять 3,5–4 тис. дол. США залежно від комплектації обладнання, що у 2–2,5 рази перевищує вартість інших технологій. Для створення системи ВГКЗ на мінімально доцільній площі 100 га потрібна інвестиція в розмірі 16–17 млн грн за курсом НБУ на день написання даної статті. Тому, складається враження, що великий обсяг інвестицій, що потрібні для впровадження ВГКЗ на значних площах, є основним стримувальним чинником для українського аграрного бізнесу. Однак більш ретельний економічний аналіз пояснює, що такі переваги ВГКЗ, як зменшення до 50% обсягу води на одиницю продукції та підвищення врожайності на 20–30, а в окремих випадках і на 50%, дають додатковий річний прибуток з одного гектара у розмірі 600–1000 дол./га. Такий додатковий прибуток надає змогу повернути початкові інвестиції за 4–6 років, що є дуже добрим показником для аграрного бізнесу. За умов, що якісні матеріали і обладнання мають працювати не менше 14 років, а останні розробки уже гарантують і 20 років експлуатації, інвестиції даватимуть прибуток у розмірі 150–350% за період повної амортизації обладнання. Ці розрахунки показують, що для широкого впровадження методу ВГКЗ аграріям потрібні довготермінові кредити на 5–6 років на прийнятних умовах кредитування. Якщо усвідомити, що проблема зрошення у південних регіонах має не тільки велике значення для сільського господарства, але й визначатиме розвиток переробної і харчової промисловості та впливатиме на соціальний статус українського села півдня, то для широкомасштабного введення новітнього методу ВГКЗ потрібна розробка відповідної державної програми розвитку

зрошення на кшталт такої, що було зроблено українськими вченими у 50-х роках ХХ ст. під час будівництва Каховської системи.

Подальше використання ВГКЗ аграріями України потребує кратного зростання кількості досліджень у цій галузі, до чого ми і закликаємо наукову спільноту нашої держави.

І останнє, на що хотілося би звернути увагу колег науковців і керівників галузі, що будуть ухвалювати рішення щодо відновлення функціонування Каховського гідровузла. Обсяг води, що накопичувався у Каховському водосховищі, визначався, насамперед, потребою водних ресурсів на зрошення майже 1,5 млн га у Криму, Херсонській, Запорізькій та Дніпропетровській обл. Обсяг води, що накопичувався у водосховищі, встановив площу водної поверхні, яка дорівнювала майже 220 тис. га.

Якщо обрати основною іригаційною технологією майбутнього внутрішньогрунтове краплинне зрошення та використання доочищеної стічної води, то обсяги води для зрошення тих самих площ, можуть бути вдвічі меншими. А це дає змогу істотно зменшити площу Каховського водосховища за збереження площ зрошення, що поверне державі десятки тисяч гектарів українських чорноземів. Цю пропозицію просимо вважати гіпотезою, бо проблема

потребує більш глибокого наукового аналізу, вимагає виконання значного обсягу проектних робіт і будівництва великої кількості гребель.

ВИСНОВКИ

Для повернення води в головних річках держави до природної якості, а також у середніх і малих річках, автори запропонували заборонити прямий скид води після очисних споруд в русло річок, а провести очищену стічну воду через багатокілометрові системи доочищення, і тільки після цього скидати воду у водойми, та широко використовувати як джерело води для зрошення сільськогосподарських угідь.

Необхідно доочищення води здійснювати використовуючи штучно-природну систему мозаїчного типу, де біоплато чергуються з каналами, в яких змонтовані системи з штучними носіями для іммобілізації мікробіоти, ставками-накопичувачами, і лише потім подавати воду на сільськогосподарські землі. Такі штучно-природні системи дають змогу не тільки набагато глибше очистити воду, але й запобігти зараженню ґрунтів яйцями гельмінтів.

Внутрішньогрунтове зрошення має стати основним методом зрошення на всій території України і бути базовою технологією за відновлення роботи Каховського гідровузла.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кичко, І. І., Маргасова, В. Г., Виговська, В. В., Дерій, Ж. В., Приступа, А. Л., & Холодницька, А. В. (2023). *Безпека водокористування: фактори впливу та еколого-економічний механізм реалізації: моногр.* Чернівці: НУ «Чернігівська політехніка».
2. Мірошніченко, В. В. (2021). Водозабезпеченість населення України: рівень, проблеми та напрями їх розв'язання. *Наукові записки НаУКМА. Економічні науки*, 6(1), 99–104. DOI: <https://doi.org/10.18523/2519-4739.2021.6.1.99-104>.
3. Авраменко, Н. Л., Сагайдак, І. С., & Чорна, Т. М. (2018). *Економіка водокористування: стан, проблеми, перспективи: моногр.* Київ: ТОВ «7БЦ».
4. Врадій, О. І. (2023). Вплив рівня мінералізації питної води на вміст в ній важких металів. *Сільське господарство та лісівництво*, 31, 192–208. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-4-14>.
5. Шумигай, І. В., & Душко, П. М. (2025). Особливості управління водними ресурсами за басейновим принципом. *Вода для майбутнього: управління, збереження, інновації: збірник тез XIII Міжнародної науково-практичної конференції* (с. 157–160). Київ: Інститут водних проблем і меліорації НААН. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg2025>.
6. Боярин, М. В. (2025). *Оптимізація екологічного стану річково-басейнових екосистем верхів'я Прип'яті* [Автореф. дис. д-ра сільськогосподарських наук, Волинський національний університет ім. Лесі Українки]. URL: <https://nuwm.edu.ua/activity/science/council/perm/d4710405/zakhyst-dysertatsiiazdobuttiastupeniadoktorasilskohospodarskykhnauk/>.
7. Томільцева, А. І., Яцик А. В., Михайленко, Л. Є., Барановська, В. Є., Курилюк, М. С., Мокін, В. Б., ... Юречко, Ю. О. (2017). *Екологічні основи управління водними ресурсами*. Київ: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування.

8. Гвоздяк, П. І. (2019). *Біохімія води. Біотехнологія води (автомонографія)*. Київ: Видавничий дім «Києво-Могилянська академія».
9. Sabliy, L., Kuzminskiy, Y., Zhukova, V., Kozar, M., & Sobczuk, H. (2019). New approaches in biological wastewater treatment aimed at removal of organic matter and nutrients. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 26(2), 331–343. DOI: <https://doi.org/10.1515/eces-2019-0023>.
10. Скок, С. В. (2020). Вплив зливових та каналізаційних стічних вод на якість річки Дніпро в зоні дії Херсонської урбосистеми. *Вісник Уманського національного університету садівництва*, 2, 122–129. DOI: <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-2-122-129>.
11. Скок, С. В. (2021). Науково-технологічний аспект удосконалення процесів очистки стічних вод в межах урбосистеми міста Херсон. *Водні біоресурси та аквакультура*, 1(9), 216–227. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.16>.
12. Шепель, А. В. (2025). Використання стічних вод для поливу сільськогосподарських культур. *Вода для майбутнього: управління, збереження, інновації: збірник тез XIII Міжнарод. наук.-практ. конф.* (с. 305–309). Київ: Інститут водних проблем і меліорації НААН. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg2025>.
13. Шепель, А. В. (2025). Інноваційні рішення краплинного зрошення в умовах зміни клімату та водного дефіциту. *Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: зб. наук. пр.* (с. 12–15). Кропивницький — Херсон: ХДАЕУ.
14. Скок, С. В. (2021). Оцінка придатності стічних вод для зрошення сільськогосподарських культур. *Аграрні інновації*, 5, 75–79. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.12>.
15. Демченко, О. В. (2024). Екологічна характеристика сільських територій України: сучасні реалії. *Економіка та суспільство*, 66, 1–7. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-20>.
16. Гуделл, Д. (2024). *Палюче тепло вже нас найперше*. Рівне: Видавель Тетяна Кідрук.
17. Пічура, В. І., Потравка, Л. О., & Білошкурченко, О. С. (2025). Дослідження наслідків руйнації каховської дамби та осушення водосховища для населення України. *Водні біоресурси та аквакультура*, 1(17), 218–247. DOI: <https://doi.org/10.32782/wba.2025.1.20>.
18. Лопушинський, І. П., & Проніна, О. В. (2024). Підлив Каховської ГЕС: наслідки для екологічної безпеки України. *Вісник ХНТУ*, 1, 372–377. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.52>.
19. Саніна, І. В., & Люта, Н. Г. (2023). Екологічні наслідки підливу греблі Каховської ГЕС і шляхи вдосконалення водопостачання населення. *Мінеральні ресурси України*, 2, 50–55. DOI: <https://doi.org/10.31996/mru.2023.2.50-55>.
20. Рильський, О. Ф., Безуглий, М. Д., Домбровський, К. О., & Лапченкова, М. Ю. (2024). Негативні наслідки осушення Каховського водосховища на водні та наземні екосистеми внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС. *«Russia–Ukraine War: Consequences for the World»* (с. 111–113). Dnipro: FOP Marenichenko V.V. URL: <http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2024/02/МАКЕТ-ZBIRNIKA-Conference-Proceedings-February-1-2-2024.pdf>.
21. Шатковський, А. П., & Журавльов, О. В. (2021). *Наукові основи технологій краплинного зрошення сільськогосподарських культур: моногр.* Херсон: Гельветика.
22. Гвоздяк, П. І. (2014). До соті річниці активованого мулу. Біоконвеєр: «українська модифікація» технології активованого мулу. *Водопостачання та водовідведення*, 1, 29–32.
23. Муніципальний енергетичний план Запоріжжя 2014–2030 (2014). URL: https://zr.gov.ua/upload/editor/1-1-_municipalnij_energetichnij_plan_zaporizhzhya.pdf.
24. Лапань, О. В., & Міхеєв, О. М. (2019). Біоплато для очищення водних об'єктів від важких металів. *Доповіді Нац. акад. наук України*, 9, 77–81. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2019.09.077>.
25. Тимурова, Л. Е., Файчук, В. В., Катков, М. В., & Пашкевич, Л. П. (2025). Нова система використання біоплато для очистки річок гірської зони формування стоку. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 2, 32–38. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-179-2-32-38>.
26. Клименко, М. О., Рильський, О. Ф., Варжель, О. В., Домбровський, К. О., & Петруша, Ю. Ю. (2024). *Екотехнології очистки стічних вод: навч. посіб.* Рівне: НУВГП.
27. Dombrovskiy, K. O., Rylskiy, A. F., Gvozdiak, P. I., Sherstoboieva, O. V., & Petrusha, Y. Y. (2020). Distribution of inorganic nitrogen compounds in purification of storm wastewater of the engine-building manufactory. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 112–118. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/112>.
28. Guo, J., Zhang, X., & Li, X. (2023). Meta-analysis of crop yield and water use efficiency under subsurface vs. surface drip irrigation. *Sustainability*, 15(22), 15716–15732. DOI: <https://doi.org/10.3390/su152215716>.
29. Thamer, Y. T., Thamer, R. R., & Al-Rumaidhy, E. S. (2018). Effect of drip irrigation depths on growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 93(2), 163–168. DOI: <https://doi.org/10.56093/ijas.v93i2.132048>.
30. Kaliley, V., & Shatkovskiy, A. (2022). Water regime and efficiency of growing sunflower hybrids depending on the elements of drip-irrigation technology. *Land Reclamation and Water Management*, (2), 75–80. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202202-343>.

Дата першого надходження рукопису до редакції: 22.12.2025
 Дата прийняття статті до друку після рецензування: 05.02.2026
 Дата публікації: 27.02.2026