НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ
ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ
РАДА МОЛОДИХ УЧЕНИХ ПРИ МІНІСТЕРСТВІ ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ІМ. ЦОТНЕ МІРЦХУЛАВА ГРУЗИНСЬКОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
БІЛОСТОЦЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОЛЬ МЕЛІОРАЦІЇ ТА ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Матеріали
VII міжнародної науково-практичної конференції
молодих вчених
01 жовтня 2026 року

Київ

DOI: https://doi.org/10.31073/mivg202603

Рекомендовано до друку вченою радою Інституту водних проблем і меліорації НААН 22 жовтня 2026 року (протокол №21)

У збірнику опубліковано матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції молодих учених “Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку сільського господарства”, у яких висвітлено досягнення науки і виробництва у сфері меліорації та водного господарства, обмін думками щодо сталого розвитку сільського господарства та можливостей впровадження розробок молодих учених у сучасних умовах сільськогосподарського виробництва та війни.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Балюк С.А., д.с.-г.н., професор, академік НААН, в.о. директора ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» (Україна).

Бартковська І., д.т.н., асоційований професор кафедри водопостачання, водовідведення та централізованого теплопостачання факультету будівництва та наук про довкілля Білостоцького технологічного університету (Польща).

Валері М., к.т.н., асоційований професор кафедри водопостачання, водовідведення та централізованого теплопостачання факультету будівництва та наук про довкілля Білостоцького технологічного університету (Польща).

Гавардашвілі Г.В., д.т.н., професор, академік Грузинської національної академії наук, директор Інституту водного господарства ім. Цотне Мірцхулава Грузинського технічного університету (Грузія).

Дорош Й.М., д.е.н., професор, академік НААН, директор Інституту землекористування НААН України (Україна).

Мосійчук Я.Б., PhD, заступник завідувача відділу водних ресурсів, голова Ради молодих вчених Інституту водних проблем і меліорації НААН України (Україна).

Онопрієнко Д.М., к.с.-г.н., професор, перший проректор - проректор з навчальної роботи, професор Дніпровського державного аграрно-економічного університету (Україна).

Ромащенко М.І., д.т.н., професор, академік НААН, головний науковий співробітник відділу зрошення Інституту водних проблем і меліорації НААН України (Україна).

Турченюк В.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування (Україна).

Шатковський А.П., д.с.-г.н., професор, член-кореспондент НААН, заступник директора з наукової роботи Інституту водних проблем і меліорації НААН України (Україна).

Яцюк М.В., д.т.н., старший дослідник, директор Інституту водних проблем і меліорації НААН України, голова ГО «ГВП-Україна» (Україна).

Матеріали надруковано в авторській редакції. Точка зору редакційної ради та організаційного комітету конференції не завжди збігається з позицією авторів.

© Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2026

ВСТУПНЕ СЛОВО

Шановні молоді вчені, науковці та учасники VII міжнародної науково-практичної конференції!

Вітаю вас на сторінках збірника матеріалів конференції «Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку сільського господарства». Сучасний аграрний сектор – як в Україні, так і у світі – стоїть на порозі суттєвих трансформацій. У 2026 році ми стикаємося з безпрецедентними кліматичними змінами, які проявляються в екстремальних погодних явищах, та необхідністю адаптуватися до вимог європейської інтеграції. У цих умовах саме інноваційні підходи до меліорації земель, перехід до точного землеробства та раціональне управління водними ресурсами стають запорукою збереження операційної стабільності та продовольчої безпеки. Навіть в умовах повномасштабної війни, постійних безпекових загроз та втрати частини угідь, ефективне використання кожної краплі води та збереження ґрунтів допомагають українським аграріям тримати продовольчий фронт, годуючи країну і світ.

Цей захід, присвячений Дню захисників і захисниць України, є не лише майданчиком для наукових дискусій, а й свідченням нашого спільного вкладу в перемогу та майбутню відбудову держави. Сьогодні, в умовах безпрецедентних викликів та складної безпекової ситуації, питання розвитку водного господарства є критично важливими. Вони є ключовими для стійкості нашої держави та майбутньої повоєнної відбудови. Сучасний світ вимагає інноваційних рішень, а саме цифровізації процесів, створення сучасних лабораторних комплексів, впровадження нових методологій дослідження навколишнього середовища.

Наша молодь – це гарант розвитку не лише Інституту водних проблем і меліорації НААН, але й усієї наукової галузі. Ви – той самий місток для побудови міждержавних наукових зв'язків, який дозволить вітчизняній науці посісти гідне місце у світовому просторі. Ця конференція – це можливість апробувати свої ідеї, продемонструвати науковий характер та розкрити власний потенціал. Закликаю вас не зупинятися на досягнутому, адаптуватися до найвищих європейських і світових стандартів, брати приклад із видатних учених та формувати нові наукові школи.

Від імені дирекції та адміністрації Інституту водних проблем і меліорації НААН бажаю вам плідної роботи, творчих дискусій та віри у світле майбутнє нашої країни. Мрійте великими мріями і пам'ятайте, що ви – науковці світового рівня! Нехай наша академія та держава вами пишаються!

З повагою,
Директор ІВПіМ НААН
Михайло ЯЦЮК

УДК 631.67

РЕКОНСТРУКЦІЯ ЗРОШУВАЛЬНОГО МАСИВУ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

Андрій МАКАРОВ, Тарас ДУБОВ
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна
makarov.a.v@dsau.dp.ua

Abstract. *This study substantiates organizational and technological solutions for reconstructing irrigation network in Dnipropetrovsk Oblast to optimize water supply and reduce water losses. The project is driven by infrastructure deterioration and the arid climate of the Steppe zone. It entails installing 8,400 m of closed PE-100 polyethylene pipelines (Ø355–500 mm), constructing hydraulic structures, renovating 12.6 km of service roads, and implementing anti-erosion measures. Construction will take 274 days with a staff of 109 professionals and an estimated budget of 30.4 million UAH. Implementation will enhance water supply reliability, increase labor productivity by 5%, and improve land use efficiency.*

В умовах Степової зони України стабільне ведення сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від надійності функціонування зрошувальних систем. Дніпропетровська область характеризується недостатнім і нестійким природним зволоженням, нерівномірним розподілом атмосферних опадів, високими літніми температурами та тривалими бездощовими періодами. За багаторічними даними, середньорічна кількість опадів у районі дослідження становить близько 441,6 мм, а в посушливі роки може зменшуватися до 321,0 мм.

Зрошувальний масив ТОВ «Прогрес» Дніпровського району Дніпропетровської області експлуатується протягом тривалого часу. Фізичне та моральне зношення трубопроводів, гідротехнічних споруд і допоміжної інфраструктури знижує надійність водоподачі, збільшує втрати води та підвищує експлуатаційні витрати. Тому реконструкція зрошувального масиву є необхідною умовою раціонального використання водних ресурсів і підвищення продуктивності меліорованих земель.

Метою роботи є обґрунтування організаційно-технологічних рішень щодо реконструкції зрошувального масиву ТОВ «Прогрес» для покращення водозабезпечення сільськогосподарських угідь, зменшення втрат води та підвищення ефективності експлуатації зрошувальної інфраструктури.

Об’єктом дослідження є зрошувальний масив ТОВ «Прогрес», розташований поблизу села Звонецьке Дніпровського району Дніпропетровської області. Джерелом зрошення є річка Дніпро.

Під час виконання роботи використано методи аналізу природних умов, інженерно-технічного обстеження, геометричного розрахунку обсягів земляних робіт, календарного планування та техніко-економічного обґрунтування будівництва.

Територія об’єкта розташована в межах Степової зони України. Основними ґрунтами є чорноземи звичайні малогумусні з вмістом гумусу близько 3,6–4,1%. Ґрунти мають сприятливі водно-фізичні властивості, однак за відсутності регульованого зрошення в умовах посухи спостерігається значне зниження

запасів продуктивної вологи. На схилових ділянках існує ризик розвитку водної ерозії, тому під час реконструкції необхідно передбачити планування поверхні, відновлення рослинного шару та дотримання протиерозійних вимог.

Річка Дніпро є достатньо надійним джерелом водозабезпечення для зрошення. У роботі зазначено, що мінералізація води змінюється в межах 190–387 мг/л, а досліджений хімічний склад характеризується переважанням гідрокарбонатів, кальцію, хлоридів і сульфатів. За прийнятими агрономічними критеріями вода належить до I класу якості для зрошення, що свідчить про її придатність для використання без істотних обмежень. Водночас під час експлуатації системи необхідно здійснювати постійний контроль мінералізації поливної води, рівня ґрунтових вод і сольового стану ґрунтів.

Проєктом передбачено ліквідацію фізично зношених ділянок трубопроводів і влаштування нової закритої зрошувальної мережі з поліетиленових труб ПЕ-100. Застосування поліетиленових труб обумовлене їхньою корозійною стійкістю, довговічністю, еластичністю, відносно низькою шорсткістю внутрішньої поверхні та зменшеним гідравлічним опором.

Основні параметри реконструкції наведено в таблиці.

Показник	**Значення**
Об’єкт реконструкції	Зрошувальний масив ТОВ «Прогрес»
Джерело зрошення	Річка Дніпро
Довжина трубопроводу ПЕ-100 Ø355 мм	1607 м
Довжина трубопроводу ПЕ-100 Ø400 мм	4110 м
Довжина трубопроводу ПЕ-100 Ø500 мм	2683 м
Довжина реконструкції експлуатаційних доріг	12,6 км
Кількість оглядових колодязів	15 шт.
Кількість засувок	15 шт.
Кількість гідрантів	15 шт.
Кількість вантузів	10 шт.
Загальна тривалість робіт	274 дні
Загальна кошторисна вартість	30 437,106 тис. грн

Технологічний процес реконструкції включає:

1. підготовку будівельної території та винесення траси трубопроводів у натуру;
2. зрізання і тимчасове складування родючого шару ґрунту;
3. демонтаж існуючих сталевих і залізобетонних труб;
4. розробку траншей механізованим і ручним способом;
5. підготовку основи траншеї та влаштування приямків у місцях стикування труб;
6. монтаж поліетиленових трубопроводів;
7. установлення оглядових колодязів, засувок, гідрантів і вантузів;
8. виконання часткової та зворотної засипки траншей;
9. відновлення рослинного шару ґрунту;
10. планування полів, реконструкцію експлуатаційних доріг і створення захисних лісосмуг.

Під час ліквідації існуючих трубопроводів передбачено зрізання 29 100 м³ рослинного шару ґрунту та розробку 23 169 м³ ґрунту в траншеях. Для влаштування нової мережі обсяг зрізання рослинного шару становить 33 600 м³, а обсяг розробки ґрунту в траншеях — 7433 м³. Із цього обсягу 6690 м³ розробляється механізованим способом і 743 м³ — вручну.

Важливим елементом проєкту є організація безпечного виконання земляних робіт. За глибини траншей понад 1,5 м передбачено влаштування укосів із нормативним коефіцієнтом закладання m=0,5. Після укладання труб необхідно виконати їх присипку мінеральним ґрунтом, що забезпечує фіксацію трубопроводу в проєктному положенні та захищає його від пошкодження під час остаточного засипання.

Для виконання робіт передбачено використання бульдозера Komatsu D39EX/PX, екскаватора ЕО-4121А, автомобільного крана КС-45729А та іншої будівельної техніки.

Нормативні трудові витрати становлять 3446,93 люд.-днів, а за календарним планом — 3274,58 люд.-днів. Отже, завдяки прийнятим організаційно-технологічним рішенням очікується підвищення продуктивності праці на 5%, а виконання норм виробітку — на рівні 105%.

Роботи доцільно виконувати потоковим методом із розподілом будівельного процесу на спеціалізовані захватки. Послідовність виконання повинна забезпечувати безперервність технологічного циклу: підготовка траси, земляні роботи, укладання труб, монтаж споруд, випробування мережі, зворотна засипка та рекультивація.

Висновки.

1. Реконструкція зрошувального масиву ТОВ «Прогрес» є технічно та господарськи обґрунтованою через недостатнє природне зволоження території, тривалу експлуатацію існуючих споруд і необхідність зменшення втрат води.

2. Природно-кліматичні та ґрунтові умови району підтверджують важливість зрошення як основного чинника стабільного сільськогосподарського виробництва. Застосування регульованої водоподачі дає змогу підтримувати оптимальний водний режим ґрунту в критичні фази розвитку рослин.

3. Використання поліетиленових труб ПЕ-100 забезпечує підвищення надійності та довговічності закритої зрошувальної мережі, зниження гідравлічних втрат і скорочення витрат на подальше технічне обслуговування.

4. Запроєктовано укладання трубопроводів загальною довжиною 8400 м, монтаж 15 оглядових колодязів, 15 засувок, 15 гідрантів і 10 вантузів, а також реконструкцію 12,6 км експлуатаційних доріг.

5. Загальна тривалість ремонтно-будівельних робіт становить 274 дні, планові трудові витрати — 3274,58 люд.-днів, а загальна кошторисна вартість реконструкції — 30 437,106 тис. грн.

6. Реалізація запропонованих організаційно-технологічних рішень сприятиме підвищенню надійності водоподачі, раціональному використанню водних ресурсів, зменшенню експлуатаційних витрат і підвищенню продуктивності зрошуваних земель.

УДК 332.36:556.18

МЕХАНІЗМИ РЕГУЛЮВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ

Вікторія САЛЮТА
Інститут землекористування НААН, Київ, Україна
vikasalyuta@gmail.com

Abstract. *The article examines mechanisms for regulating agricultural land use in the context of sustainable water resources management. The study focuses on the integration of land and water policies, basin-based water management, spatial planning, economic incentives, soil and water conservation technologies, monitoring, and digital tools. Particular attention is paid to the interrelationship between agricultural land use and the condition of water ecosystems. The proposed approach is aimed at ensuring the rational use of land and water resources, preserving soil productivity, reducing environmental risks, and supporting sustainable development of rural areas in Ukraine.*

Сільськогосподарське землекористування є одним із ключових чинників, що визначають стан земельних і водних ресурсів України. Інтенсивне використання земель, порушення структури сівозмін, деградація ґрунтів, надмірне застосування мінеральних добрив та засобів захисту рослин можуть негативно впливати не лише на продуктивність земель, а й на якість поверхневих та підземних вод [7]. У зв'язку з цим питання регулювання сільськогосподарського землекористування необхідно розглядати не ізольовано, а в комплексі з механізмами сталого управління водними ресурсами.

Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах посилення антропогенного навантаження на природні ресурси та зміни клімату. Зростання частоти посух, нерівномірність опадів, деградаційні процеси у ґрунтах та підвищення ризиків водного дефіциту створюють додаткові виклики для аграрного виробництва. За таких умов ефективне управління земельними ресурсами має передбачати не лише отримання економічної вигоди від їх використання, але й збереження їхньої продуктивності та водорегулюючої функції [7].

Важливим елементом регулювання сільськогосподарського землекористування є нормативно-правовий механізм. Земельним законодавством України визначаються основні принципи використання та охорони земель, а також вимоги щодо їх раціонального використання [1]. Водночас ефективність відповідного регулювання значною мірою залежить від узгодженості земельної та водної політики, оскільки господарська діяльність на земельних ділянках безпосередньо впливає на формування стоку, інфільтрацію води, ерозійні процеси та надходження забруднювальних речовин у водні об'єкти.

Одним із перспективних напрямів удосконалення регулювання є впровадження басейнового принципу управління водними ресурсами. Його сутність полягає у розгляді водних ресурсів у межах відповідного річкового басейну незалежно від адміністративних меж [8]. Такий підхід дає можливість

враховувати взаємозв'язок між використанням земель у сільськогосподарських угіддях та станом водних екосистем. Аграрна діяльність у межах водозбірних територій може впливати на обсяги поверхневого стоку, інтенсивність ерозії та надходження біогенних елементів у водні об'єкти.

Важливим механізмом є просторове планування сільськогосподарського землекористування. Планування територій має враховувати не лише економічну цінність земель, а й їх екологічні характеристики, зокрема ерозійну небезпеку, водозбірне значення, близькість до водних об'єктів та природоохоронні обмеження. Особливу увагу доцільно приділяти формуванню прибережних захисних смуг, водоохоронних зон та інших територій із спеціальним режимом використання [2].

Окремим напрямом регулювання є застосування економічних механізмів. До них можна віднести платежі за спеціальне використання водних ресурсів, екологічні податки, державну підтримку природоохоронних заходів, компенсаційні механізми та стимулювання впровадження екологічно орієнтованих технологій землеробства [4]. Економічне регулювання має формувати такі умови, за яких для землекористувача стає економічно доцільним збереження ґрунтових та водних ресурсів у довгостроковій перспективі.

Важливе значення також має поширення ґрунтозахисних і водозберігаючих технологій у сільському господарстві. Застосування мінімального або нульового обробітку ґрунту, покривних культур, контурного землеробства, оптимізація структури посівних площ та використання органічних добрив сприяють зменшенню ерозійних процесів і втрат ґрунтової вологи [7]. Водночас ефективність таких заходів залежить від природно-кліматичних умов конкретної території та економічних можливостей сільськогосподарських виробників.

Не менш важливим є механізм державного та громадського контролю за використанням земельних і водних ресурсів. Моніторинг стану земель та вод, контроль за дотриманням природоохоронних вимог, ведення відповідних кадастрів і використання сучасних геоінформаційних технологій дозволяють своєчасно виявляти негативні тенденції [3]. Перспективним є інтегрування даних земельного та водного моніторингу, що дозволить комплексно оцінювати вплив сільськогосподарської діяльності на стан водних екосистем.

Окремої уваги потребує питання цифровізації управління природними ресурсами. Використання геоінформаційних систем, дистанційного зондування Землі, супутникового моніторингу та цифрових карт дозволяє отримувати оперативну інформацію про стан земель, рослинного покриву, водних об'єктів та процеси деградації ґрунтів. Поєднання таких даних із інформацією Державного земельного кадастру та системами моніторингу водних ресурсів може підвищити обґрунтованість управлінських рішень.

У сучасних умовах важливим завданням є також узгодження інтересів держави, територіальних громад, землевласників, землекористувачів та водокористувачів. Передача частини управлінських повноважень на місцевий рівень створює передумови для більш ефективного врахування особливостей конкретних територій. Водночас органи місцевого самоврядування повинні мати

належні інформаційні, кадрові та фінансові можливості для здійснення ефективного управління природними ресурсами [6].

Таким чином, регулювання сільськогосподарського землекористування в контексті сталого управління водними ресурсами має базуватися на комплексному поєднанні правових, адміністративних, економічних, організаційних та інформаційних механізмів. Їх застосування повинно забезпечувати одночасне досягнення економічних, соціальних та екологічних цілей. Перспективним напрямом є подальша інтеграція земельної та водної політики на основі басейнового принципу, удосконалення просторового планування, стимулювання ґрунтозахисного землеробства та розвитку систем моніторингу [5]. Це сприятиме збереженню продуктивності сільськогосподарських земель, покращенню стану водних ресурсів та формуванню передумов для сталого розвитку аграрного сектору України.

Висновок. Регулювання сільськогосподарського землекористування в контексті сталого управління водними ресурсами потребує комплексного підходу, що передбачає узгодження земельної та водної політики, застосування басейнового принципу управління, удосконалення просторового планування, використання економічних стимулів та розвиток сучасних систем моніторингу. Важливим напрямом залишається впровадження ґрунтозахисних і водозберігаючих технологій, а також цифрових інструментів управління природними ресурсами. Поєднання зазначених механізмів створює передумови для раціонального використання земельних і водних ресурсів та забезпечення сталого розвитку сільських територій України.

Список використаних джерел

1. Земельний кодекс України : Закон України від 25 жовт. 2001 р. № 2768-III. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14 (дата звернення: 18.09.2026).

2. Водний кодекс України : Закон України від 6 черв. 1995 р. № 213/95-ВР. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80 (дата звернення: 18.09.2026).

3. Про охорону земель : Закон України від 19 черв. 2003 р. № 962-IV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15 (дата звернення: 18.09.2026).

4. 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/laws/show/2697-19 (дата звернення: 18.09.2026).

5. 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/laws/show/1134-2022-%D1%80 (дата звернення: 18.09.2026).

6. Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021–2027 роки : постанова Кабінету Міністрів України від 5 серп. 2020 р. № 695. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-%D0%BF (дата звернення: 18.09.2026).

7. FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Systems at Breaking Point. Rome : FAO, 2021. URL:

https://www.fao.org/land-water/solaw2021/en/ (дата звернення: 18.09.2026). European Commission. The Water Framework Directive. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en (дата звернення: 18.09.2026).

УДК 631.67

МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ СЦЕНАРНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПОТРЕБИ У ЗРОШЕННІ ТА РИЗИКІВ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Сергій ЗІМЕНКО
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
serj7721@gmail.com

Abstract. *A refined methodology is proposed for assessing irrigation requirements and crop water-supply risks under changing climatic conditions. It integrates daily climate data, crop characteristics, soil water balance, irrigation system capacity, water and heat stress, and economic consequences. Scenario analysis combines climate projections with alternative technical parameters, water and energy tariffs, and crop prices. Irrigation demand is distinguished from actual delivery to assess supply constraints, conditional yield losses and operating costs. The methodology supports evaluation of irrigation system resilience and comparison of adaptation options under uncertain future conditions, with capital investment assessed separately for specific modernization projects.*

Зміна кліматичних умов змінює умови функціонування систем зрошення під які вони були запроєктовані, оскільки водозабезпечення посівів залежить одночасно від погодної мінливості, запасів ґрунтової вологи, потреб культури та можливостей подачі води. Однакова сезонна сума опадів може формувати різні умови вирощування залежно від їх розподілу в часі. Збільшення технічної продуктивності системи також не гарантує пропорційного зменшення втрат урожаю, якщо зберігаються тепловий стрес або обмеження ефективності поливу. Це зумовлює потребу в удосконаленні методики оцінки кліматичних ризиків, яка поєднує кліматичні чинники, водний баланс, технічні характеристики зрошувальної системи та економічні наслідки.

Мета роботи - викласти концептуальні засади методики сценарного оцінювання потреби у зрошенні та ризиків водозабезпечення посівів для обґрунтування адаптаційних рішень за невизначеності майбутніх умов.

Основний принцип методики полягає у послідовному відтворенні ланцюга «кліматичні умови - потреба культури у воді - запаси вологи в ґрунті - поливний попит - доступна подача води - стрес рослин – ціна на енергоносії та культуру - економічні наслідки». Розрахунок виконується з добовим кроком, а результати узагальнюються за сезонами вирощування. Така модель дозволяє врахувати послідовність посушливих і вологих періодів, накопичення дефіциту вологи та збігу обмежень поливу з критичними фазами розвитку культури.

Вхідна інформація для моделювання охоплює добові температуру повітря, опади, вологість, швидкість вітру та сонячну радіацію. Для базових умов можуть використовуватися метеорологічні спостереження та дані NASA POWER [1], для

майбутніх сценарних моделювань - кліматичні проєкції, зокрема NEX-GDDP-CMIP6 [2]. До агрономічних параметрів належать тип культури, календар розвитку, коефіцієнти водоспоживання, глибина кореневої зони та чутливість до дефіциту води. Ґрунтовий блок задає доступну вологоємність, початковий запас вологи та поріг його виснаження, після якого виникає водний стрес. Значення цих параметрів враховують локацію моделювання.

Потреба культури у воді визначається через еталонну евапотранспірацію за методом Пенмана–Монтейта ФАО та через коефіцієнт культури, що змінюється за фазами розвитку [3]. Добовий водний баланс враховує надходження ефективних опадів та поливної води з витратами на евапотранспірацію та втратами за межі кореневмісного шару. Обсяг ґрунтової вологи переноситься між послідовними днями, що забезпечує врахування попереднього зволоження при визначенні чергового поливу.

У методиці розмежовуються водоспоживання культури, поливний попит та реалізована подача води. Нетто-попит визначається за перевищенням дефіциту ґрунтової вологи над допустимим порогом, а брутто-попит - з урахуванням ефективності системи поливу. Доступна подача обмежується максимальною витратою системи, тривалістю її роботи та площею зрошення. Таким чином оцінюється не лише сезонний обсяг поливу, а й здатність системи своєчасно задовольняти потребу посівів.

Блок продуктивності пов’язує водний стрес зі зниженням фактичної евапотранспірації та умовними втратами врожаю відповідно до чутливості культури [4]. Окремо враховуються індикатори високих температур у критичні фази конкретної заданої культури. Температурні пороги та функції відгуку потребують калібруються для конкретної культури.

Сценарний аналіз будується на поєднанні кліматичних, технічних та економічних умов. Кліматичний блок охоплює базовий історичний період і майбутні часові горизонти за сценаріями спільних соціально-економічних траєкторій (Shared Socioeconomic Pathways, SSP [5]). Зокрема, розглядаються SSP2-4.5 - сценарій із проміжним рівнем викидів парникових газів, та SSP5-8.5 - сценарій із дуже високим рівнем викидів. Числа 4.5 і 8.5 позначають орієнтовний рівень радіаційного впливу у 2100 році - відповідно 4,5 та 8,5 Вт/м² відносно доіндустріального рівня. Їх моделювання дає змогу оцінити роботу системи зрошення за різної інтенсивності кліматичних змін та визначити потребу в адаптаційних заходах.

Технічний блок дозволяє моделювати втрати врожаю за різної пропускної здатності системи, тривалості роботи, ефективності поливу та площі обслуговування. Економічний блок включає тарифи на воду й електроенергію, ціну продукції та орієнтир урожайності культури, що моделюється. Сценарний аналіз використовується для трактування необхідності забезпечення адаптаційних заходів та діапазону витривалості для системи зрошення.

Для кожного поєднання умов використовується однакова розрахункова послідовність. Спочатку доцільно порівнювати кліматичні сценарії за незмінних параметрів зрошення та економічних припущень. На наступних етапах розглядаються варіанти адаптації в межах кожного кліматичного сценарію. Це

дозволяє відокремити вплив погодних умов від ефекту зміни потужності, режиму поливу або тарифів.

Економічний блок поєднує вартість поданої води, вартість витрати електроенергії на її перекачування та оцінку умовних втрат урожаю в грошових коштах. Енергоспоживання пов'язується з обсягом води, напором і коефіцієнтом корисної дії насосного обладнання. Такий підхід дає змогу порівнювати додаткові експлуатаційні витрати із потенційним зменшенням втрат врожаю. Для оцінки інвестиційної доцільності конкретного проєкту модернізації системи зрошення необхідно окремо оцінити та враховувати капітальні витрати, термін експлуатації та додаткові економічні параметри прийнятної економічної привабливості проєкту.

Вихідні показники включають сезонні обсяги подачі води й енергоспоживання, кількість днів перевищення доступної витрати, тривалість водного стресу, втрати врожаю та відповідні витрати. Результати порівнюються за середніми значеннями, медіанами, високими перцентилями й частотою перевищення заданих порогів у модельній вибірці. Окремої уваги потребують несприятливі сезони та їх частота, які визначають вимоги до надійності водозабезпечення.

Висновки. Запропоноване удосконалення методики поєднує кліматичні, ґрунтові, агрономічні, технічні та економічні чинники в єдиній послідовності сценарного оцінювання. Її визначальний принцип - розгляд потреби у зрошенні разом зі спроможністю системи задовольняти цю потребу в часі та наслідками незадоволення попиту у воді. Практичне призначення полягає у виявленні обмежень водозабезпечення та порівнянні варіантів адаптації за різних майбутніх умов та визначених капітальних інвестицій.

Список використаних джерел

1. NASA POWER. Daily API. URL: https://power.larc.nasa.gov/docs/services/api/temporal/daily/ (дата звернення: 21.09.2026).

2. Thrasher B., Wang W., Michaelis A., Melton F., Lee T., Nemani R. NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. Scientific Data. 2022. Vol. 9. Article 262. DOI: 10.1038/s41597-022-01393-4.

3. Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome : FAO, 1998. 300 p. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

4. Steduto P., Hsiao T. C., Fereres E., Raes D. Crop yield response to water. Rome : FAO, 2012. 505 p. FAO Irrigation and Drainage Paper 66.

5. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed. by V. Masson-Delmotte et al. Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 2021. 2391 p. DOI: 10.1017/9781009157896.

УДК 556.18:352.07

НЕОБХІДНІСТЬ ЕКСПРЕС-ОЦІНКИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД: АПРОБАЦІЯ НА ПРИКЛАДІ КЛЕСІВСЬКОЇ ГРОМАДИ

Світлана КОЗІШКУРТ, Антон ШЕВЧУК
Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна
s.m.kozishkurt@nuwm.edu.ua

Abstract. *The study substantiates the need for rapid assessment of water resources in territorial communities and tests the proposed approach in the Klesiv community, Rivne region, Ukraine. The assessment covers three components: surface and groundwater resources, water use, and water infrastructure accessibility. The results reveal that industrial users account for over 97% of total water abstraction, while centralized water supply serves only 13.7% of the population. Significant gaps in hydrological and hydrogeological data were identified. The proposed approach enables the systematization of available information, identification of data gaps, and prioritization of further investigations to support local water resource management.*

Після децентралізації територіальні громади отримали не лише ширші повноваження щодо планування свого розвитку, а й відповідальність за прийняття рішень, пов’язаних із використанням та охороною природних ресурсів, зокрема водних. Обґрунтування таких рішень потребує відправної інформаційної бази – цілісного уявлення про те, які водні ресурси є на території громади, у якому вони стані, хто і в яких обсягах ними користується та наскільки наявна інфраструктура забезпечує доступ населення до води. На практиці відповідна інформація часто розпорошена між комунальними підприємствами, промисловими водокористувачами, басейновими та галузевими органами. При цьому найбільш доступною для громади зазвичай є інформація про централізоване водопостачання, хоча воно може становити лише частину загального водокористування.

Метою роботи є обґрунтування необхідності експрес-оцінювання водних ресурсів територіальних громад та апробація відповідного підходу на прикладі Клесівської селищної територіальної громади Рівненської області.

Запропонований підхід передбачає послідовний аналіз трьох взаємопов’язаних складових: водних ресурсів, водокористування та інфраструктури, пов’язаної з використанням води.

До першої складової віднесено характеристику поверхневих і підземних вод та їх стану; до другої – обсяги та структуру водозабору, а також основних водокористувачів; до третьої – показники доступності централізованих послуг як одного з індикаторів інфраструктурної доступності води для населення.

Принциповою особливістю експрес-оцінювання є використання інформації, яка вже наявна в громаді, у комунальних підприємствах та у водокористувачів. Такий підхід не передбачає проведення спеціальних польових чи лабораторних досліджень на першому етапі. Його результатом є не остаточна кількісна оцінка водних ресурсів, а своєрідна карта «знаємо / не знаємо», яка дає змогу встановити, які характеристики водоресурсного потенціалу вже можуть бути

використані для управлінських рішень, а які потребують подальшого дослідження.

Таблиця 1. Складові експрес-оцінки та результати апробації в Клесівській громаді

Складова	Об'єкт оцінки	Результат апробації	Забезпеченість даними
Поверхневі води	Річки Клесівка (≈16 км), Люблінка (≈9 км), Ствига (≈7 км), озеро Карасин (≈16 га), меліоративні канали (≈12 км)	Відзначаються локальні проблеми якості, підвищені концентрації Fe та завислих речовин, евтрофікація, замулення	Наявні переважно якісні описи; кількісних показників недостатньо
Підземні води	Сенонський водоносний горизонт, 7 артезіанських свердловин	Основне джерело водопостачання; підвищений вміст Fe, Mn, NH_4; актуальним є питання водопідготовки	Не наведено даних про оцінені експлуатаційні запаси та допустимий обсяг відбору
Водокористування	Обсяги водозабору за основними користувачами у 2024 р.	Загальний обсяг за наведеними даними – 3,121 млн м³/рік; понад 97% припадає на промислових водокористувачів	Дані наявні, але потребують верифікації та систематизації
Інфраструктурна доступність води	Охоплення населення централізованими послугами	Централізованим водопостачанням охоплено 13,7% населення, водовідведенням – 7,3%	Дані наявні, потребують уточнення методики розрахунку

Поверхневі води громади представлені річками Клесівка, Люблінка та Ствига, озером Карасин і меліоративною мережею. Поверхневі водозабори в громаді відсутні, а централізоване водопостачання здійснюється виключно за рахунок підземних вод Сенонського водоносного горизонту. Станом на 2024 р. функціонували сім водозаборів із сімома артезіанськими свердловинами.

Апробація показала, що навіть на рівні доступної інформації можна виявити не лише основні водні об'єкти, а й низку характеристик водних ресурсів, важливих для подальшого управління. Для поверхневих вод наведено переважно якісні характеристики, тоді як систематизованої кількісної інформації про їх стан недостатньо. Для підземних вод відомо джерело водопостачання та основні проблеми якості, проте в доступних матеріалах не наведено даних про оцінені експлуатаційні запаси водоносного горизонту та допустимий обсяг його відбору. Отже, вже на першому етапі стає очевидним, які напрями потребують поглибленого дослідження.

Найбільш показовим результатом апробації стала структура водокористування. У 2024 р. загальний обсяг водозабору наведених у матеріалах водокористувачів становив близько 3,121 млн м³/рік. Із нього КП «Клесівводоканал», яке забезпечує централізоване водопостачання населення, забирало близько 0,076 млн м³/рік, або приблизно 2,4%. Основні обсяги припадали на промислових водокористувачів. Зокрема, ТОВ «Технобуд» забирало 2,603 млн м³/рік, що становить близько 83,4% загального обсягу, а АТ «Укрзалізниця» (філія «Клесівський кар'єр») – 0,378 млн м³/рік, або близько 12,1%.

Таблиця 2. Структура водокористування Клесівської громади у 2024 р.

Водокористувач	**Забрано, млн м³/рік**	**Частка, %**
ТОВ «Технобуд»	2,603	83,4
АТ «Укрзалізниця» (філія «Клесівський кар'єр»)	0,378	12,1
КП «Клесівводоканал»	0,076	2,4
ДП КДЗ «Віта», ПП «Соріс»	0,058	1,9
Інші підприємства	0,006	0,2
Разом	3,121	100,0

Отриманий результат наочно демонструє необхідність комплексного експрес-оцінювання. Якщо аналіз водного забезпечення громади обмежити лише комунальним водопостачанням, поза увагою залишається основна частина фактичного водокористування. У Клесівській громаді промислові підприємства забирають води у 40 разів більше, ніж комунальне підприємство. Отже, для розуміння реального антропогенного навантаження на водні ресурси необхідно одночасно враховувати потреби населення, промисловості та інших водокористувачів.

Іншим важливим результатом є встановлення обмеженості вихідної інформації. У матеріалах оцінювання відсутні дані, достатні для повної кількісної оцінки водоресурсного потенціалу: не визначено запаси підземних вод, допустимий обсяг їх експлуатаційного відбору, параметри поверхневого стоку та повний водний баланс громади. Для поверхневих вод переважають якісні характеристики, а системний моніторинг їх стану потребує подальшого розвитку. Водночас є необхідність інвентаризації свердловин, запровадження автоматизованого обліку водозабору та регулярного лабораторного контролю якості підземних вод.

Важливою складовою експрес-оцінки є також визначення доступності води для населення. У Клесівській громаді централізоване водопостачання надається у 3 із 7 населених пунктів, а частка населення, забезпеченого централізованим водопостачанням, становить 13,7%. Для централізованого водовідведення цей показник становить 7,3%. Ці показники характеризують не обсяг водних ресурсів як таких, а можливість населення користуватися ними через відповідну інфраструктуру, тому в межах запропонованої методики вони розглядаються окремим блоком.

Таким чином, апробація на прикладі Клесівської громади підтверджує необхідність проведення експрес-оцінювання водних ресурсів як першого етапу водного планування територіальної громади. Така оцінка дає змогу за відносно короткий час систематизувати наявну інформацію про поверхневі та підземні води, структуру водокористування і доступність води, виявити інформаційні прогалини та визначити напрями, для яких необхідні детальніші дослідження.

Експрес-оцінювання не замінює повної кількісної оцінки водних ресурсів і не дає підстав без додаткових досліджень робити висновки про достатність запасів або допустимість поточного рівня водозабору. Його завданням є сформувати первинне уявлення про водоресурсний потенціал громади і структуру його використання та визначити пріоритети подальшого дослідження.

Для Клесівської громади такими напрямами є оцінювання запасів і допустимого відбору підземних вод, формування водного балансу, систематичний моніторинг поверхневих вод та уточнення структури водокористування.

Вважаємо доцільним застосовувати подібний підхід до всіх територіальних громад. Наявність єдиної первинної оцінки дасть змогу порівнювати водоресурсні умови громад, виявляти критичні інформаційні прогалини та обґрунтовано визначати, де необхідні детальні гідрологічні, гідрогеологічні, екологічні чи інженерні дослідження. У цьому розумінні експрес-оцінка може розглядатися як перша ланка системи водного планування громади.

УДК 627.51:556.166:004.94

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗБИТКІВ ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ З УПРАВЛІННЯ ПАВОДКОВИМИ РИЗИКАМИ

Олексій ХАРЛАМОВ, Галина ВОРОПАЙ,
Ігор КОТИКОВИЧ, Олександр КИСІЛЬ
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
lharlam911@gmail.com

Abstract. *This study emphasizes quantitative estimation of direct economic losses as a primary driver for flood risk management. Utilizing JRC Global Flood Depth-Damage Functions, the methodology translates physical flood parameters into financial impacts. The basis for this damage assessment is the spatial exposure analysis conducted using QGIS and the InaSAFE plugin, which accurately identifies high-risk infrastructure. These derived metrics provide critical justification for comprehensive mitigation planning. Implementing structural, non-structural, and nature-based measures significantly reduces asset vulnerability, proving the economic viability of active protection.*

Сучасна парадигма управління водними ресурсами в Україні проходить процес глибокої трансформації, переходячи від локального інженерного підходу «захисту від паводків» до комплексного, включаючи і «управління ризиками». Цей процес регламентується дворівневою системою нормативних документів, що поєднує міжнародні зобов'язання, зокрема Директиву 2007/60/ЄС, та національні технічні стандарти. Згідно з вимогами ЄС, Україна відмовляється від точкових рішень на користь басейнового принципу, реалізація якого передбачає три ключові етапи: попередню оцінку ризиків, розроблення карт загроз і ризиків затоплення та створення планів управління.

На законодавчому рівні ці зміни були закріплені у Водному кодексі України (ст. 107-1), що юридично запровадило поняття «Планів управління ризиками затоплення» та синхронізувало національне законодавство з європейським. Практична імплементація забезпечується низкою підзаконних актів, таких як Методика попередньої оцінки ризиків та Методика розроблення карт затоплення. Такий підхід дозволяє сформувати довгострокові плани дій, що включають не лише модернізацію гідротехнічних споруд, а й впровадження систем раннього оповіщення та екосистемних рішень.

Загалом інтегроване управління паводковими ризиками в Україні базується на:

1. Принципах превентивності і планування (розробка Планів управління ризиками затоплення та Планів управління річковими басейнами; створення карт загроз і ризиків затоплення).
2. Інфраструктурних і технічних заходах (будівництво та експлуатація дамб, водосховищ, каналів; регулювання русел річок; реконструкція гідротехнічних споруд).
3. Моніторингу і попередженні (гідрометеорологічний моніторинг; оперативне інформування населення; системи раннього оповіщення).
4. Взаємодії (координація між центральними і місцевими органами влади; залучення громадськості; транскордонна співпраця).

На сьогодні в Україні успішно сформовано законодавче підґрунтя для імплементації європейських стандартів управління паводковими ризиками (Директива 2007/60/ЄС, Водний кодекс). Водночас практична реалізація цих стратегічних норм стикається з проблемою відсутності універсального, алгоритмізованого підходу. Існуючий методичний підхід знижує ефективність визначення точної кількісної оцінки потенційних збитків без застосування сучасних геоінформаційних технологій.

Кількісну оцінку соціально-економічних наслідків пропонується здійснювати шляхом інтеграції результатів гідравлічного моделювання з даними про інфраструктуру за допомогою плагіну QGis/InaSAFE. Алгоритм оцінки базується на накладанні шару загрози (карта глибин) на шари експозиції (будівлі, дороги, населення). Це дозволяє автоматично визначити кількість об'єктів, що потрапляють у зони з різними рівнями небезпеки, та класифікувати їх за ступенем ураження.

Для економічної оцінки прямих збитків використовується методика Об'єднаного дослідницького центру Єврокомісії (JRC) та глобальні функції «глибина-пошкодження» (Global Flood Depth-Damage Functions). Суть методу полягає у розрахунку втрат вартості активів (житлової забудови, промисловості, сільського господарства) залежно від глибини їх затоплення із застосуванням відповідних коефіцієнтів пошкодження. В основу методики покладено підхід, розроблений Об'єднаним дослідницьким центром Європейської Комісії (Joint Research Centre - JRC). Дослідники уніфікували дані з різних континентів та розробили стандартизовані функції (криві) пошкоджень, які дозволяють оцінити ступінь руйнування об'єкта залежно від рівня води для будь-якого регіону світу, включаючи Європу. Проведений аналіз об’єктів, які потрапляють у зону небезпеки, надає можливість оцінити попередні прямі збитки, завдані проявом процесів затоплення під час проходження паводку, і які визначаються за формулою:

$$D_{\text{заг}} = \sum V_i \cdot K_{ni} \tag{1}$$

де $D_{заг}$ – прямі збитки, грн; V_i – балансова вартість, *і*-го об’єкту, грн; K_{ni} – коефіцієнт пошкодження для і-го об’єкту.

Ключовим елементом методу є Таблиця коефіцієнтів пошкодження (адаптована з даних JRC), яка диференціює збитки залежно від типу об'єкта (табл.).

Методичні рекомендації виділяють такі категорії вразливості як житлова забудова, яка є чутливою до рівня води. Наприклад, при глибині 1 м втрачається 40% вартості, а при глибині понад 3 м – об'єкт вважається повністю знищеним (90-100%).

Таблиця. Коефіцієнт пошкодження на основі глибини затоплення.

Глибина затоплення, м	**Житлова забудова (% від вартості)**	**Комерція / торгові приміщення (%)**	**Промисловість (%)**	**Інфраструктура / дороги (%)**	**Сільське господарство (%)**
0,0	0	0	0	0	0
0,1	5	8	5	5	20
0,25	12	18	12	10	35
0,5	22	35	25	15	60
1,0	40	60	45	25	100
1,5	55	75	60	35	100
2,0	70	85	75	40	100
3,0+	90–100	90–100	90–100	40–60	100

Сільське господарство є найбільш вразливою категорією. Вже при глибині 0,5 м прогнозується втрата 60% врожаю/активів, а при 1 м – до 100%. Промисловість та комерція також мають свої специфічні криві пошкоджень. Наприклад, комерційні об'єкти при глибині 1 м втрачають 60% вартості, тоді як промислові – до 45%. Інфраструктура і дороги є найбільш стійкою категорією. Навіть при глибокому затопленні (3 м+) збитки оцінюються у 40-60% (ймовірно через збереження земляного покриву та основи).

Кількісна оцінка економічних збитків на основі функцій «глибина-пошкодження» є важливим етапом інтегрованого управління паводковими ризиками. Вона дозволяє перейти від теоретичного просторового аналізу загроз до чіткого фінансового обґрунтування необхідності впровадження захисних заходів. Використання даної методології дає можливість планувати бюджет, об'єктивно порівнювати вартість впровадження екосистемних чи інженерних рішень із сумою відвернених збитків, а також формувати пріоритетні списки об'єктів для оперативного реагування.

УДК 628.35

МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕТИКИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД АМОНІЙНИХ СПОЛУК У БІОРЕАКТОРІ З ІММОБІЛІЗОВАНИМИ МІКРООРГАНІЗМАМИ

Андрій ГРИНЕВИЧ, Лариса САБЛІЙ
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
abarabaha@gmail.com

Abstract. *A mathematical model is proposed to describe ammonium nitrogen removal from wastewater by an attached biofilm in a completely mixed batch bioreactor. The model is based on a substrate mass balance with a Monod-type saturation term and relates ammonium nitrogen concentration to carrier surface area, reactor liquid volume, and treatment time. At high substrate concentrations, the model predicts an areal removal rate approaching its maximum value; as ammonium nitrogen concentration decreases toward the half-saturation constant, the removal rate decreases. The model can be used for preliminary estimation of treatment duration, analysis of operating conditions, and planning of experimental studies.*

Одним із сучасних ефективних методів біологічного очищення стічних вод від амонійних сполук є аеробне окиснення за допомогою мікроорганізмів, іммобілізованих у біореакторі на поверхні твердого інертного носія з високорозвиненою площею.

У попередніх публікаціях авторів розглянуто переваги використання іммобілізації мікроорганізмів у біотехнологіях очищення стічних вод від сполук нітрогену [1] та високу ефективність очищення від органічних забруднюючих речовин із використанням іммобілізованих мікроорганізмів на носіях різних типів [2]. Ці роботи формують основу для дослідження зв’язку між характеристиками носія, станом біоплівки та перебігом біохімічних процесів. У представленій роботі розглянуто вплив початкової концентрації амонійного азоту в неочищеній стічній воді на тривалість очищення в біореакторі з іммобілізованими мікроорганізмами, а також можливості застосування та напрями розвитку запропонованої моделі.

Метою роботи є встановлення впливу вихідної концентрації амонійного азоту в стічній воді на кінетику його вилучення біоплівкою в періодичному біореакторі та визначення можливостей застосування й напрямів розвитку математичної моделі.

Робота продовжує дослідження моделювання окиснення амонійного азоту в реакторах із закріпленою біомасою [3]. За основу прийнято матеріальний баланс із урахуванням внеску закріпленого біоценозу [4]. Розглянуто періодичний реактор без подачі та відведення рідини протягом циклу, з повним перемішуванням, сталими робочим об’ємом і геометричною площею поверхні носія. Залежність питомої швидкості (відносно одиниці площі поверхні) окиснення амонійного азоту мікроорганізмами біоплівки від його концентрації в рідині описана функцією насичення типу Моно. Рівняння зміни концентрації амонійного азоту має вигляд:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{A}{V_p} \cdot r_{A,max} \cdot \frac{S}{K_S + S}, \quad (1)$$

де S – концентрація амонійного азоту в рідині, г N/м^3; t – тривалість процесу, доба; A – площа поверхні носія, м^2; V_p – робочий об'єм рідини в біореакторі, м^3; $r_{A,max}$ – максимальна питома швидкість окиснення амонійного азоту мікроорганізмами біоплівки за нелімітуючої концентрації субстрату, г N/(м^2·добу); K_S – коефіцієнт напівнасичення за амонійним азотом, г N/м^3. Відношення A/V_p характеризує площу носія на одиницю об'єму рідини, а безрозмірний множник $S/(K_S + S)$ – ступінь зниження швидкості окиснення внаслідок обмеження субстратом. Знак «мінус» відображає зменшення концентрації S з часом. Параметр $r_{A,max}$ характеризує активність мікроорганізмів біоплівки на одиницю площі носія і має визначатися експериментально для прийнятого типу носія та умов процесу.

Для визначення тривалості очищення, необхідної для досягнення заданої залишкової концентрації амонійного азоту в стічній воді на виході з біореактора, можна скористатися інтегрованою залежністю:

$$t = \frac{V_p}{A \cdot r_{A,max}} \left[S_0 - S + K_S \ln\left(\frac{S_0}{S}\right)\right], \quad (2)$$

де S_0 – вихідна концентрація амонійного азоту в стічній воді, г N/м^3; S – задана залишкова концентрація на виході з біореактора, $0 < S < S_0$. Решта позначень відповідає рівнянню (1). Добуток $A \cdot r_{A,max}$ характеризує максимальну масову швидкість окиснення амонійного азоту мікроорганізмами всієї біоплівки на носії, г N/добу; множник $V_p/(A \cdot r_{A,max})$ разом із концентраційним виразом у квадратних дужках визначає тривалість процесу. Різниця $S_0 - S$ описує необхідне зниження концентрації, а логарифмічний доданок $K_S \ln(S_0/S)$ враховує уповільнення окиснення за низьких концентрацій субстрату.

Аналіз моделі показує, що за $S \gg K_S$ початкова швидкість окиснення наближається до максимального значення $(A/V_p) \cdot r_{A,max}$ для заданої площі носія та об'єму рідини. Тому збільшення вихідної концентрації S_0 за незмінних A, V_p, $r_{A,max}$ і K_S збільшує масу амонійного азоту, яку необхідно видалити, і, відповідно, тривалість періоду очищення, потрібну для досягнення заданої залишкової концентрації S. За однакової тривалості очищення частка окисненого амонійного азоту зменшується зі збільшенням початкової концентрації в неочищеній стічній воді. Коли S наближається до K_S, швидкість окиснення зменшується, тому лінійне продовження початкової ділянки кривої може занижувати тривалість досягнення низьких залишкових концентрацій амонійних сполук у очищеній стічній воді.

Модель можна використовувати для попереднього визначення тривалості періодичного очищення стічної води, аналізу впливу вихідної концентрації амонійного азоту та співвідношення A/V_p на перебіг процесу, а також для планування експериментальних досліджень. Рівняння (2) дозволяє оцінити тривалість очищення, необхідну для досягнення заданої концентрації амонійного азоту в очищеній воді; рівняння (1) – аналізувати зміну миттєвої

швидкості окиснення амонійного азоту протягом одного періоду очищення. Після визначення кінетичних параметрів і перевірки на незалежних експериментальних даних модель може слугувати розрахунковою основою для вибору тривалості очищення та режимів роботи періодичних біореакторів, зокрема на локальних очисних спорудах.

Запропонована модель може бути використана для аеробних біореакторів із періодичним режимом очищення за умови достатнього перемішування та аерації, що забезпечує відносно сталий і нелімітуючий кисневий режим протягом розрахункового періоду. Подачу і відведення води, внесок завислої біомаси, зміну товщини біоплівки та внутрішньобіоплівкові дифузійні обмеження в рівняннях не враховано. У поточній постановці задачі характеристики поверхні носія представлені площею A, а біологічна активність – параметром $r_{A,max}$; тому для порівняння різних носіїв цей параметр необхідно визначати окремо, оскільки доступна для біоплівки площа, товщина біоплівки та умови масоперенесення можуть відрізнятися. Модель описує зниження концентрації амонійного азоту в рідкій фазі, а не повний баланс усіх форм азоту. Для проточних систем матеріальний баланс необхідно доповнити членом надходження та винесення субстрату $Q/V_p \cdot (S_{in} - S)$, де Q – витрата стічної води, S_{in} – концентрація амонійного азоту на вході.

Подальший розвиток моделі доцільно спрямувати на врахування концентрації розчиненого кисню та його масоперенесення до біоплівки, а також впливу температури, pH та органічного навантаження на активність нітрифікуючої біоплівки. Вплив кисневого режиму й органічного навантаження на нітрифікацію показано в роботі [5]. Для опису конкретних носіїв необхідно визначити ефективну площу поверхні носія, реально доступну для утворення біоплівки та масоперенесення, кінетичні параметри і дифузійні характеристики біоплівки. Окремим завданням є включення росту й відшарування біомаси. Ускладнення моделі має спиратися на вимірювані характеристики, щоб кожний додатковий параметр можна було обґрунтувати експериментально.

Отже, модель пов’язує вихідну концентрацію амонійного азоту в стічній воді, площу поверхні носія, робочий об’єм біореактора та тривалість періодичного очищення і створює основу для аналізу режимів роботи біореактора. Подальше поглиблене вивчення процесу має поєднувати моделювання з експериментальним визначенням кінетичних характеристик і структури біоплівки, оцінюванням масоперенесення та перевіркою прогнозів за різних умов очищення стічних вод. Це дозволить уточнити межі застосування моделі та обґрунтувати її розширення для практичних завдань водоочищення.

Список використаних джерел

1. Hrynevych A., Sablii L. The role of microorganism immobilization in the biotechnology of nitrogen compound removal. Biotechnologia Acta. 2025. Vol. 18, no. 1. P. 30–37. DOI: 10.15407/biotech18.01.030.

2. Гриневич А. О., Саблій Л. А., Жукова В. С., Ляшок І. О. Ефективність біологічного очищення стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів на носіях різних типів. Проблеми водопостачання,

водовідведення та гідравліки. 2025. Вип. 52. С. 16–23. DOI: 10.32347/2524-0021.2025.52.16-23.

3. Гриневич А. О., Саблій Л. А. Моделювання окиснення амонійного азоту в стічній воді в реакторах із закріпленою біомасою. Біотехнологія XXI століття : матеріали XX Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 8 трав. 2026 р. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. С. 295–297.

4. Олійник О. Я., Айрапетян Т. С. Моделювання очистки стічних вод від органічних забруднень в біореакторах-аеротенках зі зваженим (вільноплаваючим) і закріпленим біоценозом. Доповіді Національної академії наук України. 2015. № 5. С. 55–60. DOI: 10.15407/dopovidi2015.05.055.

5. Hem L. J., Rusten B., Ødegaard H. Nitrification in a moving bed biofilm reactor. Water Research. 1994. Vol. 28, no. 6. P. 1425–1433. DOI: 10.1016/0043-1354(94)90310-7.

УДК 628.336

КРИТЕРІЇ ПРИДАТНОСТІ ІСНУЮЧИХ АЕРОБНИХ МІНЕРАЛІЗАТОРІВ ДО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗОНУВАННЯ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СПОРУД ОБРОБЛЕННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

Андрій МОСІЙЧУК, Михайло ЯЦЮК
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
andrew.mosiichuk@gmail.com

Abstract. *The study substantiates criteria for assessing the suitability of existing aerobic mineralizers for functional zoning during modernization of wastewater sludge treatment facilities. The approach considers actual sludge loading, available working volume, required aerobic stabilization time, aeration capacity, and the possibility of separating technological flows. For the investigated facility, the working volume of one section is 675 m³ and the calculated stabilization volume is 337.5 m³, giving a volume reserve coefficient of 2.0. Functional zoning is feasible provided that the required stabilization time and aeration intensity of at least 6 m³/(m²·h) are maintained.*

Вступ. Оброблення осадів стічних вод є одним із найбільш ресурсомістких етапів експлуатації каналізаційних очисних споруд. Висока вологість, водоутримувальна здатність і змінність характеристик осадової маси ускладнюють її ущільнення, стабілізацію та подальше зневоднення [1–3]. Водночас фактичні навантаження діючих очисних споруд часто відрізняються від проєктних, внаслідок чого окремі ємнісні споруди можуть мати резерв робочого об’єму.

Одним із напрямів модернізації є функціональне зонування існуючих аеробних мінералізаторів із послідовним поєднанням реагентного кондиціонування, гравітаційного ущільнення та аеробної стабілізації [4–6]. При цьому перерозподіл робочого об’єму не повинен погіршувати стабілізацію осаду, що є основною функцією споруди. Тому можливість модернізації визначається не лише наявністю ємнісного резерву, а і збереженням необхідної

тривалості стабілізації, ефективністю системи аерації та можливістю технологічного розділення потоків.

Метою роботи є обґрунтування критеріїв оцінювання придатності існуючих аеробних мінералізаторів до функціонального зонування при модернізації технологічної лінії оброблення осадів стічних вод.

Результати досліджень. Оцінювання виконано на прикладі міських каналізаційних очисних споруд регламентною продуктивністю 10 тис. м³/добу, фактичне навантаження яких в окремі періоди становить близько 5 тис. м³/добу. Споруда аеробного мінералізатора складається з двох секцій. Розмір однієї секції у плані становить 15×15 м, загальна глибина 3,5 м, геометричний об'єм 787,5 м³, а робочий об'єм 675 м³. Розрахункова добова витрата осаду становить близько 39 м³/добу [6, 7].

Функціональне зонування передбачає розміщення в межах існуючого робочого об'єму реакційної зони, зони змішування, гравітаційного ущільнення та аеробної стабілізації. Розміри цих зон повинні визначатися відповідно до фактичної витрати осаду, тривалості реагентної обробки, умов перемішування, ущільнення та необхідного часу аеробної стабілізації [3, 5–7].

Початковим етапом оцінювання є встановлення фактичного технологічного навантаження на споруду. Для цього необхідно враховувати витрату стічних вод та осаду, його вологість і концентрацію сухої речовини, співвідношення сирого осаду та надлишкового активного мулу, кількість працюючих технологічних ліній і стан наявного обладнання. Використання лише проєктної продуктивності може призводити до некоректної оцінки резерву споруди.

Кількісно резерв робочого об'єму доцільно оцінювати за співвідношенням:

$$R_V = \frac{V_{m.f}}{V_{st.calc}}, \quad (1)$$

де R_V — коефіцієнт резерву об'єму; $V_{m.f}$ — фактичний робочий об'єм мінералізатора, м³; $V_{st.calc}$ — розрахунково необхідний об'єм аеробної стабілізації, м³.

За $R_V > 1$ споруда має об'ємний резерв, який потенційно може бути використаний для додаткових технологічних зон [7]. Для розглянутого мінералізатора при робочому об'ємі однієї секції 675 м³ та необхідному об'ємі аеробної стабілізації 337,5 м³ коефіцієнт резерву становить $R_V = 2{,}0$. Отже, існують передумови для внутрішнього функціонального зонування за об'ємом споруди.

Проте наявність резерву об'єму є лише первинною умовою. Після виділення додаткових зон необхідно перевірити, чи зберігається достатній об'єм для стабілізації. Основною умовою працездатності модернізованої споруди є:

$$t_{st.f} \geq t_{st.calc}, \quad (2)$$

де $t_{st.f}$ — фактична тривалість стабілізації після функціонального зонування; $t_{st.calc}$ — розрахунково необхідна тривалість стабілізації.

Необхідна тривалість аеробної стабілізації залежить від складу осаду, ступеня його попереднього ущільнення та температури процесу. За температури близько 20 °C для суміші сирого осаду з неущільненим активним мулом вона становить орієнтовно 6–7 діб, а для суміші з ущільненим активним мулом може

збільшуватися до 8–12 діб [2, 3, 7]. При зниженні температури тривалість процесу відповідно збільшується.

Не менш важливою є достатність системи аерації. Після функціонального зонування параметри аерації повинні уточнюватися відповідно до фактичної площі зони стабілізації. Для суміші осаду та активного мулу інтенсивність аерації повинна становити не менше 6 м³/(м²·год), що забезпечує підтримання осадової маси в необхідному стані та надходження кисню для окиснення органічної речовини [2, 3, 7]. Якщо існуюча система не забезпечує необхідної подачі повітря, її модернізація повинна бути складовою реконструкції.

Окремою умовою є можливість технологічного розділення потоків. Після гравітаційного ущільнення мулова вода повинна організовано відводитися, а ущільнений осад переміщуватися до зони аеробної стабілізації. Це потребує можливості встановлення перегородок, трубопроводів та відповідного технологічного обладнання без порушення надійності існуючої споруди.

Основні критерії оцінювання придатності аеробного мінералізатора до функціонального зонування узагальнено в табл. 1.

Таблиця 1. Основні критерії оцінювання придатності аеробного мінералізатора до функціонального зонування

Показник	**Умова оцінювання**	**Технологічне значення**
Фактичне навантаження	дані щодо витрати та характеристик осаду	визначення реальної потреби в об’ємі
Резерв робочого об’єму	$R_V > 1$	можливість формування додаткових зон
Тривалість стабілізації	$t_{st.f} \geq t_{st.calc}$	збереження основної функції споруди
Інтенсивність аерації	$q_{air} \geq 6$ м³/(м²·год)	забезпечення аеробних умов
Розділення потоків	організоване відведення мулової води та переміщення осаду	забезпечення послідовності процесів
Конструктивна реалізованість	можливість встановлення перегородок і обладнання	практична здійсненність реконструкції

Таким чином, оцінювання придатності мінералізатора до функціонального зонування повинно включати визначення фактичного навантаження, перевірку резерву робочого об’єму, уточнення необхідної тривалості аеробної стабілізації та параметрів аерації, а також оцінювання можливості технологічного розділення потоків. Для досліджуваної споруди значення $R_V = 2{,}0$ підтверджує наявність об’ємних передумов для модернізації, однак конкретні параметри технологічних зон повинні встановлюватися розрахунково для фактичних умов експлуатації.

Висновки. Придатність існуючих аеробних мінералізаторів до функціонального зонування доцільно оцінювати комплексно за фактичним технологічним навантаженням, резервом робочого об’єму, тривалістю аеробної стабілізації, параметрами аерації та можливістю розділення потоків. Для

розглянутої споруди значення $R_V = 2{,}0$ підтверджує наявність ємнісних передумов для модернізації.

Обов'язковими умовами функціонального зонування є збереження розрахунково необхідної тривалості стабілізації, забезпечення інтенсивності аерації не менше 6 м³/(м²·год) та конструктивна можливість організованого відведення мулової води і переміщення осаду між технологічними зонами.

Список використаних джерел:

1. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ : Мінрегіон України, 2013.

2. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.

3. Саблій Л. А., Бунчак О. М., Жукова В. С. Практикум з біотехнологій очищення води : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. 108 с.

4. Wei H., Gao B., Ren J., Li A., Yang H. Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: A review. Water Research. 2018. Vol. 143. P. 608–631. DOI: 10.1016/j.watres.2018.07.029.

5. Мосійчук А. Б., Яцюк М. В. Кінетика гравітаційного ущільнення осаду стічних вод в інтегрованій коагуляційно-аеробній технології. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки». 2025. Вип. 4 (112). С. 262–272. DOI: 10.31713/vt4202524.

6. Mosiichuk A. Integration of Coagulation-Aerobic Technology into the Reconstruction of Wastewater Treatment Plants: Engineering Calculations and Technological Recommendations. Modern Construction and Architecture. 2026. No. 16. P. 93–101. DOI: 10.31650/2786-6696-2026-16-93-101.

7. Мосійчук А. Б. Підвищення ефективності технологій оброблення осадів стічних вод : дис. … д-ра філософії : 192 Будівництво та цивільна інженерія. Київ : Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2026. 191 с.

УДК 628.356.3

МЕТОД ІНТЕНСИФІКАЦІЇ РОБОТИ АЕРОТЕНКІВ

Віктор КОВАЛЬЧУК, Сергій КОГУТ,
Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна
v.a.kovalchuk@nuwm.edu.ua

Abstract. *A method for intensification of aeration tanks operation by subjecting the activated sludge mixture to a vacuum prior to secondary sedimentation is examined. By removing dissolved and entrapped gases, this method reduces the sludge volume index; consequently, it allows for an increase in the concentration of return sludge and, thereby, the sludge dosage within the aeration tanks. Results from laboratory studies of the vacuum degassing method are presented, and designs of vacuum degassers for implementing this process at wastewater treatment plants are discussed.*

Одним із напрямків інтенсифікації роботи аеротенків є збільшення маси активного мулу, що приймає участь в процесі біологічного очищення стічних вод. Це може бути досягнуто шляхом влаштування аеротенків з регенераторами, застосування в аеротенках спеціальних носіїв біомаси (біотенки, MBBR–реактори), флотаційне, тонкошарове або мембранне розділення концентрованих мулових сумішей. На жаль, гравітаційне розділення мулової суміші у вторинних відстійниках внаслідок підвищення концентрації активного мулу в аеротенках збільшує винос його із вторинних відстійників.

Здатність активного мулу до осадження та ущільнення характеризує муловий індекс. Муловий індекс прийнято визначати, як об'єм активного мулу в кубічних сантиметрах після відстоювання протягом 30 хв у циліндрах об'ємом 1 л, віднесений до 1 г сухої речовини активного мулу. Муловий індекс залежить від багатьох чинників, зокрема, навантаження на активний мул, достатньої кількості біогенних елементів (передусім фосфору), концентрації розчиненого кисню в муловій суміші, наявності в стічних водах токсичних елементів, що можуть призвести до загибелі частини активного мулу, вмісту в стічних водах легкоокислюваних органічних речовин (цукор, глюкоза, спирт). Для добре працюючих аеротенків на міських очисних спорудах муловий індекс становить 80-120 $см^3/г$, для глибоко мінералізованого мулу він може становити 60-90 $см^3/г$. При «спуханні» активного мулу його муловий індекс перевищує 150-200 $см^3/г$. Такий мул погано осідає і відділяється від води у вторинних відстійниках, виноситься з очищеною водою, внаслідок чого зменшується загальний ефект очистки в аеротенку.

В останні роки в закордонній літературі з'явилися матеріали із застосування для зменшення мулового індексу методу вакуумної дегазації мулової суміші. Опубліковані за кордоном результати застосування вакуумної дегазації свідчать про багато переваг цього методу, однак в них відсутні необхідні відомості та рекомендації щодо розрахунку, конструювання та експлуатації вакуумних дегазаторів. Тому нами була виконана експериментальна лабораторна перевірка ефективності методу вакуумної дегазації.

Вакуумна дегазація мулової суміші — це цілеспрямоване видалення розчинених і захоплених газів (передусім N_2, CO_2 та мікро бульбашок повітря), що погіршують осадження мулу, зумовлюють його спливання і спричиняють підвищений винос із вторинних відстійників. Для нових проєктів очисних споруд вакуумна дегазація дозволяє зменшити габарити вторинних відстійників і підвищити окислювальну потужність аеротенків, а при реконструкції - збільшити їх продуктивність без масштабного добудовування споруд, підвищити стабільність роботи під час пікових навантажень і сезонних коливань температури повітря і стічних вод.

Експериментальній установка була змонтована в лабораторії кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи НУВГП. Вона являє собою камеру, виготовлену з органічного скла (рисунок). У верхній частині камери змонтований штуцер для подачі мулової суміші і підключення до вакуум-насосу, у дні влаштований вентиль для випуску вакуумованої мулової суміші в циліндр. Проби мулової суміші відбирали на виході з аеротенків діючих очисних споруд Рівненського обласного виробничого комунального підприємства водопровідно-каналізаційного господарства (РОВКП ВКГ) м. Рівне.



Рисунок. Установка для дослідження процесу вакуумування мулової суміші

На першому етапі досліджень вибирали величину вакууму. Для цього проби піддавали вакуумуванню тривалістю 60 с при різних значеннях вакууму – 0,02, 0,04, 0,06 і 0,07 МПа. Із отриманих результатів слідує, що збільшення величини вакууму призводить до зменшення об’єму мулу при тій самій тривалості дослідження. Однак, враховуючи можливості реального здійснення процесу вакуумування на очисних спорудах, було прийняте рішення за робоче значення вакууму прийняти 0,04 МПа. Початкова концентрація мулу за сухою речовиною становила 2,56 г/дм^3.

На другому етапі досліджували, як на процес вакуумування впливає його тривалість. Було встановлено, що при вакуумі 0,04 МПа найменший об’єм мулу спостерігається при тривалості вакуумування 3 хвилини.

Спеціальні розрахунки показали, що, при вакуумуванні доза активного мулу в аеротенку може збільшитися в 1,4 рази.

Систематизовано існуючі схеми застосування вакуумних дегазаторів, які використовуються для ефективного видалення розчинених газів із мулової суміші в процесі очищення стічних вод. Розглянуто три основні типи обладнання для дегазації: проточні дегазатори баштового типу, проточні вакуумні резервуари та вакуумні резервуари з періодичним режимом роботи. Перші характеризуються безперервним потоком та використанням гравітаційних сил і перепаду тиску для виділення газів. Проточні вакуумні резервуари забезпечують дегазацію в об’ємі за рахунок інтенсивного перемішування та застосування вакууму. Вакуумні резервуари періодичного режиму роботи, що використовуються для обробки певних порцій мулу, часто застосовуються в схемах з обмеженою продуктивністю або для спеціалізованих цілей. Окрім аналізу конструкцій самих дегазаторів, у центрі дослідження знаходиться

обладнання, призначене для створення вакууму в цих апаратах. Розглянуто різні підходи: від класичних вакуумних насосів різного конструктивного виконання (водокільцевих, роторних, мембранних), що забезпечують високий ступінь вакууму та точний контроль параметрів, до сучасних водоповітряних ежекторів (інжекторів). Останні, не маючи рухомих частин, вирізняються спрощеною експлуатацією, підвищеною надійністю та стійкістю до забрудненого середовища, проте потребують вкрай коректного підбору гідродинамічних параметрів і витрат робочого середовища для досягнення оптимальної ефективності. Загалом, інтеграція відповідно підібраних конструкцій дегазаторів та вакуумних установок перед освітленням покращує осаджуваність активного мулу та стабілізує вторинне освітлення, забезпечуючи переваги в надійності процесу з помірними витратами енергії.

УДК 628.331:628.35:576.3.7

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ТА КРИТЕРІЇВ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМБІНОВАНОГО ВИДАЛЕННЯ ФОСФОРУ ЗІ СТІЧНИХ ВОД

Кирил КИРИЧЕНКО[1], Лариса САБЛІЙ[2]
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
[1] kyrychenko.kyryll@lll.kpi.ua, [2] larisasabliy@ukr.net

Abstract. *Effective phosphorus removal from wastewater requires a balance between low residual phosphorus concentrations, stable treatment performance, limited sludge generation, and efficient use of energy and chemicals. This study identifies key criteria for optimizing a combined process that combines enhanced biological phosphorus removal with chemical post-treatment. Particular attention is given to substrate availability, nitrate transfer to the anaerobic zone, dissolved oxygen concentration, internal recirculation, and chemical dosing. The ASM2d model is proposed as a suitable framework for assessing these parameters and determining operating conditions that ensure efficient phosphorus removal while minimizing sludge production.*

Вступ. Антропогенне походження фосфору у поверхневих водах є одним із основних чинників розвитку евтрофікації, що у свою чергу призводить до деградації екосистем. Тож, зниження його концентрації у стічних водах залишається актуальним завданням для очисних споруд. За даними досліджень, концентрація загального фосфору у міських стічних водах може варіюватися досягати 15 мг Р/дм³, значна частина якого представлена ортофосфатами [1]. У свою чергу, підвищення вимог до якості очищеної води разом із необхідністю зменшення утворення осадів зумовлює пошук таких режимів роботи, за яких висока ефективність видалення фосфору поєднується з раціональним використанням реагентів та електроенергії [1, 3, 4].

Мета роботи – визначити основні технологічні параметри, які слід враховувати для оптимізації комбінованого методу видалення фосфору, що поєднує поглиблене біологічне видалення фосфору (EBPR – від англ. *Enhanced Biological Phosphorus Removal*) з подальшим реагентним доочищенням; а також

обґрунтувати застосування математичного моделювання на основі ASM2d для оцінювання впливу режимних параметрів на концентрацію фосфору в очищеній воді.

Матеріали та методи. У роботі використано дані EPA щодо проєктування технологій видалення біогенних елементів (нітрогену та фосфору), наукові публікації щодо технології EBPR та функціонування фосфоракумулюючих організмів (ФАО), матеріали IWA щодо математичного моделювання процесів очищення стічних вод, а також нормативні документи ЄС у сфері очищення міських стічних вод [1-8]. Основну увагу приділено параметрам, які можуть бути використані як керовані змінні та критерії під час подальшого математичного моделювання й оптимізації технологічного процесу.

Результати та обговорення. Тривала практика використання фізико-хімічного очищення від фосфору осадженням солями Fe^{3+} або Al^{3+} підтверджує високу ефективність видалення розчинного фосфору. Водночас зі збільшенням дози реагенту зростає, вочевидь, витрата реагентів і кількість утвореного осаду. За даними літератури, використання солей металів у співвідношенні Me/P близько 1,5-2,0 моль/моль може забезпечувати видалення 80-98 % розчинного фосфору, тоді як досягнення дуже низьких залишкових концентрацій потребує подальшого збільшення дози. Дозування реагентів на первинному або біологічному етапі також супроводжується додатковим утворенням осаду, що є одним із основних обмежень суто фізико-хімічних методів видалення фосфору [1].

EBPR дає змогу видаляти фосфор без використання хімічних реагентів. В анаеробній зоні ФАО використовують енергію, отриману внаслідок гідролізу поліфосфатів, для поглинання та накопичення органічних сполук у формі полігідроксиалканоатів, що супроводжується вивільненням ортофосфатів. В аеробних, а частково й аноксичних умовах відбувається інтенсивне поглинання ортофосфатів і повторне накопичення поліфосфатів у клітинах. Таким чином, фосфор вилучається з рідкої фази разом із надлишковим активним мулом [5-7].

Водночас стабільність процесу EBPR значною мірою визначається складом вихідних стічних вод та режимом роботи споруд. Серед основних чинників можна виділити достатню кількість доступного органічного субстрату, обмеження надходження нітратів до анаеробної зони та підтримання необхідного співвідношення між ФАО та конкуруючими мікроорганізмами [5, 6]. Тому під час оптимізації доцільно оцінювати не лише концентрації фосфору у вхідній та очищеній воді, а й співвідношення органічного субстрату і фосфору, оскільки воно безпосередньо впливає на стабільність біологічного видалення фосфору.

Таблиця. Орієнтовні співвідношення субстрату до загального фосфору для стабільного EBPR [1]

Показник	**Орієнтовне мінімальне співвідношення**
ХСК : $P_{заг}$	40-45
БСК : $P_{заг}$	20
лбХСК : $P_{заг}$	10-16
ЛЖК : $P_{заг}$	4-16

Вибір режимів EBPR доцільно пов'язувати з наведеними в таблиці співвідношеннями. За рекомендаціями EPA, для досягнення концентрації загального фосфору менше 1,0 мг/дм³ орієнтовні мінімальні відношення становлять ХСК:$Р_{заг}$ = 40-45, БСК:$Р_{заг}$ = 20, лбХСК:$Р_{заг}$ = 10-16 та ЛЖК:$Р_{за}$ = 4-16 [1]. Отже, дефіцит доступного вуглецю може обмежувати ефективність біологічного вилучення фосфору навіть за правильно вибраної послідовності процесів у біореакторах. Додатково необхідно контролювати надходження нітратів у анаеробну зону, оскільки їх присутність може інгібувати діяльність ФАО і, як наслідок, погіршувати видалення фосфатів [6].

Для оптимізації важливими керованими параметрами є витрати рециркуляційних потоків, концентрація розчиненого кисню в аеробній зоні та доза реагенту на стадії доочищення. У модельних дослідженнях регулювання кисню розглядається через коефіцієнт масопередачі K_{La}, а як приклад режиму наведено підтримання концентрації кисню близько 2 г O_2/м³ [9]. Зміна аеробного режиму впливає одночасно на активність ФАО, денітрифікацію та енергоспоживання, тому цей параметр доцільно розглядати разом із рециркуляційними потоками.

Комбінована технологія EBPR із подальшим реагентним доочищенням дає змогу використати переваги обох механізмів. Більша частина фосфору вилучається біологічно, що зменшує потребу в реагентах, а кінцеве осадження солями заліза або алюмінію забезпечує додаткове вилучення залишкового фосфору. За узагальненими даними, така технологія може забезпечувати ефективність видалення до 99,6 % та залишкову концентрацію до 0,1 мг/дм³ за приросту об'єму осаду близько 10-20 % [1,9, 10]. Саме тому для подальшої оптимізації одночасно буде враховуватися якість очищеної води та кількість утвореного осаду, а не лише максимальне видалення фосфору зі стічних вод, хоча останній критерій й буде визначальним.

В якості математичної моделі доцільно обрати ASM2d, як придатну математичну основу, оскільки дана модель описує біологічне видалення фосфору, денітрифікуючу активність фосфоракумулюючих організмів та динаміку сполук азоту і фосфору в анаеробних, аноксидних і аеробних умовах [3,4]. Для моделювання враховуватиметься характеристика вихідних стічних вод, сполук фосфору, концентрації нітратів і розчиненого кисню, параметри рециркуляції та дози реагентів.

Для формування задачі оптимізації доцільно послідовно оцінювати: ефективність видалення фосфору; вплив рециркуляційних потоків і концентрації розчиненого кисню на перебіг біологічного очищення; потребу у реагентному доочищенні; а також компроміс між залишковою концентрацією фосфору та приростом осаду. Такий підхід відповідає принципам світової практики моделювання, відповідно до яких спочатку визначають мету моделі, далі формують необхідний набір вихідних даних, виконують калібрування та валідацію моделі [4].

Висновки. Для оптимізації видалення фосфору доцільно розглядати процес як поєднання взаємопов'язаних технологічних параметрів. Основними критеріями є залишкова концентрація загального фосфору, доступність

органічного субстрату, надходження нітратів до анаеробної зони, режим аерації, внутрішні рециркуляції, частка анаеробного об'єму та доза реагенту на етапі доочищення. Комбінована технологія EBPR із реагентним доочищенням характеризується поєднанням високої ефективності видалення фосфору, помірного приросту осаду та доцільного використання ресурсів, і тому може бути використана як основа для подальшого математичного моделювання. Застосування ASM2d дає змогу дослідити взаємозв'язок між режимними параметрами та показниками якості очищеної води й визначити діапазони експлуатації, за яких забезпечується концентрація фосфору в очищеній воді у відповідності до нормативних вимог за використання мінімальної кількості ресурсів.

Список використаних джерел

1. U.S. Environmental Protection Agency. Nutrient Control Design Manual. EPA/600/R-10/100. Cincinnati, OH: Office of Research and Development, 2010.

2. Directive (EU) 2024/3019 of the European Parliament and of the Council on urban wastewater treatment (recast). Official Journal of the European Union, 2024. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/3019/oj.

3. Henze M., Gujer W., Mino T., Matsuo T., Wentzel M.C., Marais G.v.R., Van Loosdrecht M.C.M. Activated sludge model No. 2d, ASM2D // Water Science and Technology. 1999. Vol. 39, No. 1. P. 165-182. DOI: 10.1016/S0273-1223(98)00829-4.

4. Rieger L., Gillot S., Langergraber G., Ohtsuki T., Shaw A., Takács I., Winkler S. Guidelines for Using Activated Sludge Models. IWA Scientific and Technical Report No. 22. London: IWA Publishing, 2012. DOI: 10.2166/9781780401164.

5. Izadi P., Izadi P., Eldyasti A. Design, operation and technology configurations for enhanced biological phosphorus removal (EBPR) process: a review // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2020. DOI: 10.1007/s11157-020-09538-w.

6. Izadi P., Andalib M. Anaerobic zone functionality, design and configurations for a sustainable EBPR process: a critical review // Science of the Total Environment. 2023. Vol. 862. 162018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162018.

7. Sablii L., Korenchuk M., Kozar M. The influence of nitrate on the phosphate removal from wastewater in activated sludge treatment process // Biotechnologia Acta. 2019. Vol. 12, No. 4. P. 50-56. DOI: 10.15407/biotech12.04.050.

8. Larisa Sabliy, Yevgeniy Kuzminskiy, Veronika Zhukova, Marina Kozar and Henryk Sobczuk. New approaches in biological wastewater treatment aimed at removal of organic matter and nutrients / Ecol. Chem. Eng. S., 2019; 26 (2): 331-343. DOL: 10.1515/eces – 2019 – 0023.

9. Solon K., Flores-Alsina X., Kazadi Mbamba C. et al. Plant-wide modelling of phosphorus transformations in wastewater treatment systems: impacts of control and operational strategies // Water Research. 2017. Vol. 113. P. 97-110. DOI: 10.1016/j.watres.2017.02.007.

10. Water Environment Federation. Liquid Stream Fundamentals: Tertiary Filtration. Fact Sheet. WEF, 2017.

УДК 628.331

ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ІММОБІЛІЗОВАНИХ НОСІЇВ У БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Каріна ЛІВІНСЬКА[1], Лариса САБЛІЙ[2]
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
[1] karinalivinska03@gmail.com, [2] larisasabliy@ukr.net

Abstract. *This article examines the possibility of using immobilised carriers in biological wastewater treatment as an alternative to activated sludge. Attached biomass enhances the process's stability against shock loads, prevents biomass washout and allows for the construction of compact treatment plants. The high cellulose content in the extracellular matrix provides mechanical resistance to shear forces. Dissolved oxygen gradients create parallel aerobic, anoxic and anaerobic microzones within the biofilm, facilitating the simultaneous oxidation of organic matter and nitrogen removal.*

Використання для очищення стічних вод аеробного біологічного методу з активним мулом у завислому стані (в аеротенках) має низку недоліків, а саме: активний мул чутливий до коливань показника БСК, біогенних речовин, присутності інгібіторів і токсичних речовин, що можуть спричинити зміни в біоценозі та виникнення явища спухання, в результаті чого мул може виноситись з очищеною водою, погіршується якість очищеної води та стан природних водойм. Використання технологій із прикріпленими мікроорганізмами на твердих інертних носіях дає можливість створити нові компактні установки для біологічного очищення малих об'ємів стічних вод, а також покращити роботу аеротенків на каналізаційних очисних станціях різної продуктивності [1].

Для закріплення на твердій основі мікроорганізми виділяють гелеподібний гідрофільний матрикс із полісахаридів, білків, ліпідів та бактеріальної позаклітинної ДНК. Вміст води становить від 80% до 90% загального об'єму матриксу, що захищає клітини від висихання та підтримує постійне середовище для проходження ферментативних реакцій. Завдяки пористості та наявності мікроскопічних каналів усередині гелю вода разом із розчиненими забрудненнями може проникати в глибину колонії за рахунок природної дифузії та конвекції [2].

Дослідження методом лазерної конфокальної мікроскопії показують, що в молодій біоплівці переважає ДНК активно зростаючих клітин, проте такий шар залишається нестійким і легко змивається водою. У міру розвитку мікроорганізми створюють міцнішу структуру, адже вміст полісахаридів, зокрема целюлози, досягає 76-86% від усієї органічної речовини плівки. Саме целюлозні та білкові ланцюги в структурі молекули надають обростанню механічної стійкості, захищаючи мікроорганізми від тертя частинок пластику одна об одну та сильного турбулентного потоку повітря від аераторів. Окрім того, позаклітинний матрикс здатний перехоплювати й концентрувати на своїй поверхні токсичні сполуки (йони важких металів, барвники, пестициди чи синтетичні ПАР), знижуючи їхню токсичну дію на мікроорганізми [2].

Розчинений кисень проникає крізь шар мулу лише на обмежену глибину (зазвичай до 0,1–0,2 мм). Тому усередині плівки формуються різні зони. Аеробна зона контактує з насиченою киснем водою, гетеротрофні бактерії знижують ХСК та БСК за рахунок розщеплення органіки, а автотрофні амоній-окиснювальні й нітрит-окиснювальні бактерії перетворюють йони амонію на нітрити й нітрати. Аноксидна зона характеризується зменшенням кисню в порівнянні з аеробною зоною. В цій зоні переносяться нітрати, які бактерії-денітрифікатори використовують як окисник для органічних сполук і відновлюють його до молекулярного азоту (переходить у газову фазу). Анаеробна зона знаходиться біля поверхні носія і тому в ній концентрація молекулярного кисню є критично низькою. Тут знаходяться анаеробні мікроорганізми, які перетворюють амоній і нітрити в газоподібний азот без додаткового підведення джерела органічного вуглецю [3].

Через універсальність іммобілізованих носіїв їх легко інтегрувати у різні типи біологічних очисних споруд.

Біореактори з рухомим шаром завантажують дрібними пластиковими елементами - плаваючими чи завислими («колеса» або циліндри), розміром 9-25 мм із внутрішніми перетинками. Носії вільно плавають і займають від 30% до 65% робочого об'єму аеротенка, перебувають в постійному хаотичному русі при роботі системи аерації або механічних мішалок. У процесі переміщення такі елементи злегка торкаються один одного, через що надлишок старої біоплівки знімається, а активна тонка плівка залишається на поверхні носія. Ці системи не потребують рециркуляції активного мулу з вторинних відстійників [1].

Комбіновані біореактори передбачають одночасну наявність у споруді активного мулу та іммобілізованої біоплівки на носіях, які можуть бути плаваючими або закріпленими (блочні, йоржі). Активний мул виконує функцію швидкого вилучення основної маси органічних сполук (біодеградабельних), а на носіях знаходяться бактерії-нітрифікатори, яким для розмноження потрібен великий вік мулу. Використання такого типу реактора є найдешевшим способом модернізувати діючі міські споруди, адже влаштування носіїв в аеротенку дозволяє збільшити продуктивність очищення на 30–60% [1].

Мембранні аеровані біоплівкові реактори складаються з газопроникних полімерних або силіконових порожнистих волокон. Повітря подають всередину волокон під низьким тиском, в результаті дифузії кисень переноситься крізь стінку мембрани в напрямку до біоплівки без утворення бульбашок у воді. Завдяки цьому рух кисню зсередини та органічних забруднювачів із води створюють умови для одночасного окиснення амонію та денітрифікації в одному шарі, в результаті чого знижується споживання електроенергії на повітродувки до 70–80% [3].

Носії вирішують недоліки у різних видах реакторів: оновлюють біомасу без потреби рециркуляції активного мулу у системах із рухомим шаром; збільшують ефективність очищення у комбінованих реакторах; зменшують витрати електроенергії на подачу повітря у мембранних аерованих реакторах. Отже, використання іммобілізованих носіїв є технологічно та економічно вигідним для будівництва нових очисних споруд та покращення існуючих.

Список використаних джерел

1. Sablii L., Zhukova V., Kozar M., Hrynevych A., Jaromin-Gleń K. Comparison biofilm characteristics on defferent types of carriers for wastewater treatment. Environmental Problems, 2025, Volume 10, Number 1, pp. 20-25. https://doi.org/10.23939/ep2025.01.020

2. Sablii L., Zhukova V., Hrynevych A., Drewnowski J., Biofilm properties on carriers for wastewater treatment: Supporting Green Deal, Desalination and Water Treatment, Volume 325, 2026, 101608, ISSN 1944-3986, https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101608

3. Hrynevych A., Sabliy L. The role of microorganism immobilization in the biotechnology of nitrogen compound removal / Biotechnologia acta. T. 18, № 1, c. 30-37, 2025. – p. 30-37. https://doi.org/10.15407/biotech18.01.030

4. Lu, D., Bai, H., Kong, F., Liss, S. N., & Liao, B. (2021). Recent advances in membrane aerated biofilm reactors. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 51(7), 649–703. https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1734432

УДК 628.33

ВИКОРИСТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД М'ЯСОПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ

Олена ОРЛО[1], Лариса САБЛІЙ[2]
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
[1] alenaorlo7@gmail.com, [2] larisasabliy@ukr.net

Abstract: *Wastewater from meat processing plants contains high concentrations of organic pollutants, fats, and nutrients. This study compares current biological, mechanical, and physicochemical treatment methods to determine the most effective technological scheme. Achieving compliant effluent quality requires an integrated approach: mechanical screening, dissolved air or reagent flotation for fat removal, and biological treatment combining an anoxic bioreactor with an aeration tank.*

М'ясопереробна галузь є однією з найбільш водомістких і природо - ресурсномістких у харчовій промисловості. Дана галузь є однією з найбільш небезпечних для навколишнього середовища та вимагає значних витрат води. Стічні води м'ясопереробних заводів характеризуються високою концентрацією органічних та неорганічних забруднень. Вони формуються на різних технологічних етапах підприємства, зокрема у цехах забою, обробки шкур, субпродуктовому та ковбасному виробництвах, у мийних і санітарних приміщеннях. Такі стічні води містять кров, жири, білкові сполуки, завислі речовини, сполуки азоту та фосфору, а також залишки миючих і дезінфекційних засобів [1].

Показники забруднюючих речовин коливаються у діапазонах: $БСК_{повн}$ - 1500 - 3500 мгO_2/дм^3, ХСК - 500 - 4000 мгO_2/дм^3, завислі речовини - 400 - 600 мг/дм^3, жири - 200 - 300 мг/дм^3, фосфати - 46 - 200 мг/дм^3, нітрити –

23 - 38 мг/дм^3, нітрати - 52 - 60 мг/дм^3, ПАР - 20 - 25 мг/дм^3, що суттєво перевищує допустимі норми скиду у міську каналізаційну мережу чи водні об'єкти. За відсутності належного очищення такі стічні води становлять загрозу для природних водних екосистем, а також ускладнюють роботу міських очисних споруд через високе навантаження за органікою та жирами, спричиняючи заростання мереж жировими відкладеннями та зниження ефективності біологічних процесів [2].

Традиційні механічні методи очищення такі як відстоювання, проціджування (решітки, сита) не можуть забезпечувати достатнього ступеня видалення забруднюючих речовин, тому основну роль у технологічних процесах очистки стічних вод займають біологічні та фізико-хімічні методи. Найчастіше використовують різні способи флотації, поєднання анаеробного та аеробного очищення або двоступеневе аеробне очищення. Найефективніші технології використовують поєднання механічної, фізико-хімічної та біологічної очистки [3].

Метою роботи є аналіз наявних технологій очищення стічних вод м'ясокомбінатів та обґрунтування найбільш ефективної технологічної схеми, здатної забезпечити діючі норми скиду очищених стоків у водні об'єкти.

У роботі застосовано аналітичний метод узагальнення наукових джерел щодо очищення стічних вод підприємств м'ясопереробної галузі, а також порівняльний аналіз технологічних рішень. Розглянуто технологічні схеми з використанням різних способів очищення стічних вод, а саме: очищення за допомогою біофільтрів, фізико-хімічне очищення методом реагентної обробки з відстоюванням та багатостадійну технологію, що поєднує механічну, фізико-хімічну (наприклад, з використанням реагентної флотації) та біологічну очистку. Порівняння здійснено за ефективністю видалення завислих речовин, органічних забруднень (БСК, ХСК), жирів, сполук азоту й фосфору, а також за відповідністю показників очищеної води нормам скиду у водні об’єкти.

Очищення стічних вод м'ясокомбінатів на біофільтрах передбачає послідовне проходження стоків через решітки, пісковловлювачі, жировловлювачі, первинні відстійники, біофільтри та вторинні відстійники з наступним знезараженням. Дана технологія застосовується за витрат до 20000 м^3/добу і забезпечує зниження БСК та завислих речовин приблизно на 80%. Проте навіть за такої ефективності залишкові концентрації забруднюючих речовин значно перевищують нормам скиду, особливо за показниками жирів, фосфатів та нітратів [2].

Альтернативою є фізико-хімічне очищення методом реагентної обробки з наступним відстоюванням, коли як коагулянти застосовують хлорне залізо або сірчанокислий алюміній. Такий метод дає змогу вилучити до 90% жирів, проте не забезпечує потрібного ступеня видалення БСК, ХСК, завислих речовин, фосфатів і нітратів. Отже, реагентна обробка може розглядатися лише як допоміжна стадія в складі комплексної схеми, а не як самостійний спосіб очищення.

Порівняльний аналіз показав, що необхідного ступеня очищення за всіма нормованими показниками можна досягти лише за застосування комплексної

технологічної схеми, яка поєднує механічну, фізико-хімічну та біологічну очистку. Особливістю стічних вод м'ясокомбінатів є високий вміст жирів та завислих речовин, що потребує обов'язкового попереднього механічного та фізико-хімічного етапу очищення. На механічній стадії застосовують решітки, пісковловлювачі, жировловлювачі, що дозволяє затримати до 50 % жирових забруднень.

На фізико-хімічній стадії застосовують флотацію. Це можуть бути установки напірної флотації, що дають змогу знизити вміст жирів на 60 - 80% та завислих речовин на 50 - 70% перед подачею стоків на біологічне очищення. Або реагентна флотація, яка знижує вміст завислих речовин до 80%, СПАР - до 80%, БСК - до 45%, жирів - до 80%. Це запобігає накопиченню жирових плівок в аеротенках, зниженню швидкості масопередачі кисню та піноутворенню, а також суттєво знижує навантаження на наступні біологічні ступені очищення [1, 2].

На біологічній стадії очищення в сучасних технологіях застосовують поєднання аноксидного біореактора з аеротенком. В аноксидному біореакторі за участю бактерій-денітрифікаторів відбувається відновлення нітратів до молекулярного азоту. В аеротенках відбувається окиснення органічних речовин активним мулом. За належного попереднього очищення ефективність видалення БСК становить 90 - 95%, ХСК - 80 - 88% [5].

Отже, порівняльний аналіз показав, що необхідного ступеня очищення стічних вод м’ясокомбінатів для подальшого скидання у міські стоки чи водні об’єкти досягає комплексна технологія, що поєднує механічне очищення, фізико-хімічне очищення та біологічну очистку, яка поєднує використання аноксидного біореактора з аеротенком.

Список використаних джерел

1. Саблій Л. А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: монографія. Рівне: НУВГП, 2013. 291 с.

2. Левандовський Л.В., Бублієнко Н.О., Семенова О.І. Природоохоронні технології та обладнання: Підруч. К.: НУХТ, 2013. 243 с.

3. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод. Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.

4. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні і управління безпекою праці / Л. А. Саблій, О. М. Бунчак, В. С. Жукова, С. В. Кононцев // Підручник для студ. ВНЗ спец. «Біотехнології та біоінженерія», рекоменд. Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського / Під ред. Л.А. Саблій. Рівне: НУВГП, 2016. 358 с.

5. Sabliy L., Zhukova V. Improvement of the technology of local wastewater treatment of the meat plants / Сталий розвиток: захист навкол. середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: колективна монографія / за ред. проф. Мальованого М.С. Київ, Ярощенко Я.В., 2022, 566 с. С. 400 - 410. ISBN 978-617-7826-23-0

УДК 628.1:628.3

СТАН ТА ПРОБЛЕМИ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ КЛЕСІВСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

Світлана КОЗІШКУРТ, Мішель ЛИПА
Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна
s.m.kozishkurt@nuwm.edu.ua

Abstract. *The study assesses the current state of water supply and wastewater systems in the Klesiv territorial community, Ukraine. The results reveal limited access to centralized services, significant deterioration of water supply and sewerage networks, and insufficient treatment efficiency. Only 13.7% of the population has access to centralized water supply and 7.3% to sewerage services. Priority measures include infrastructure rehabilitation, equipment modernization, and improved drinking water quality monitoring.*

Надійне водопостачання та водовідведення є важливою складовою життєзабезпечення територіальної громади. Для невеликих громад характерними є обмежене охоплення централізованими послугами, значний фізичний знос мереж, застаріле насосне та очисне обладнання, а також недостатній рівень водопідготовки. Виявлення таких проблем потребує аналізу не лише обсягів подачі води, а й технічного стану всіх основних елементів систем – від джерел водопостачання та водоочисних споруд до водопровідних і каналізаційних мереж та очисних споруд стічних вод.

Метою роботи є оцінювання сучасного стану систем централізованого водопостачання та водовідведення Клесівської територіальної громади, визначення основних технічних і експлуатаційних проблем та обґрунтування першочергових напрямів їх модернізації.

Система централізованого водопостачання громади базується виключно на підземних водах Сенонського водоносного горизонту. Станом на 2024 р. функціонували 7 водозаборів і 7 артезіанських свердловин. Потужність водозаборів становила 0,0757 млн м³/рік, а фактична подача води споживачам – близько 0,0656 млн м³/рік. Розрахована частка втрат води (NRW) становить близько 13,3%. Водоподачу забезпечували 7 водопровідних насосних станцій, з яких 6 належать до станцій I підйому та 1 – до II підйому. У системі також експлуатуються 5 резервуарів чистої води та 1 водонапірна башта.

Водночас основним обмеженням надійності системи є стан водопровідних мереж. Їх загальна протяжність становить 30,4 км, з яких близько 20 км визначено як аварійні, тобто близько 70% мереж. У 2024 р. зафіксовано 9 аварій, а протягом 2023-2024 рр. замінено 1,3 км трубопроводів та оновлено чотири насосні агрегати. Система переважно сформована з об’єктів, побудованих у 1970-1980-х роках, що зумовлює значний фізичний знос її основних елементів.

Проблеми надійності доповнюються недостатнім охопленням території централізованим водопостачанням. Централізовані мережі функціонують у 3 із 7 населених пунктів громади. Для решти території використовуються індивідуальні колодязі та свердловини. Централізованим водопостачанням забезпечено близько 1,43 тис. осіб, або 13,7% населення громади.

Окремою проблемою є якість води та стан споруд водопідготовки. Підземні води Сенонського горизонту характеризуються підвищеним вмістом заліза, марганцю та амонію, що потребує відповідної технологічної підготовки перед подачею споживачам. У громаді функціонують дві водоочисні споруди із загальною проєктною потужністю 0,007 млн м³/рік, тоді як фактична продуктивність становила близько 0,0015 млн м³/рік. Одна зі станцій перебуває у задовільному стані, інша потребує повної реконструкції через фізичне та моральне зношення обладнання і низьку ефективність знезалізнення.

Результати моніторингу у 2023-2024 рр. свідчать, що якість питної води у водопровідній мережі не завжди відповідала санітарно-хімічним вимогам, передусім за вмістом заліза. Отже, технічний стан системи водопідготовки безпосередньо впливає не лише на експлуатаційну надійність, а й на якість води, що подається споживачам.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики системи централізованого водопостачання Клесівської громади у 2024 р.

Показник	Значення	Основна проблема
Водозабори	7	Потреба в системному контролі та інвентаризації
Артезіанські свердловини	7	Використання одного основного водоносного горизонту
Потужність водозаборів	0,0757 млн м³/рік	Обмежена централізована система
Фактична подача води	0,0656 млн м³/рік	–
Частка втрат води (NRW)	≈13,3%	Розбіжність між піднятим і поданим обсягом
Насосні станції	7	Зношення обладнання близько 30%
Водопровідні мережі	30,4 км	Близько 20 км аварійних
Аварійні мережі	≈70%	Високий фізичний знос
Аварії за 2024 р.	9	Зниження надійності системи
Замінено мереж у 2023–2024 рр.	1,3 км	Темпи заміни не охоплюють усю проблемну мережу
Водоочисні споруди	2	Одна потребує реконструкції
Фактична продуктивність ВОС	0,0015 млн м³/рік	Значно нижча за проєктну
Охоплення централізованим водопостачанням	13,7% населення	Низька територіальна доступність

Система водовідведення має ще нижчий рівень територіального охоплення. Централізоване водовідведення функціонує лише у 2 із 7 населених пунктів – селищі Клесів та селі Клесів. Послугами централізованого водовідведення охоплено близько 0,768 тис. осіб, або 7,3% населення громади. На інших територіях використовуються індивідуальні системи, зокрема вигрібні ями.

Каналізаційна мережа має протяжність 10,3 км, із яких 4,17 км визначено як аварійні. У системі працюють 4 каналізаційні насосні станції та 2 каналізаційні очисні споруди. У 2024 р. зафіксовано 3 аварії на каналізаційних мережах, а обсяг стічних вод, що пройшли через централізовану систему, становив близько 0,037 млн м³/рік.

Дві каналізаційні очисні споруди розташовані на вул. Вишневій та вул. Зеленій. Проєктна потужність кожної становить 0,7 тис. м³/добу, фактична – близько 0,35 тис. м³/добу. КОС на вул. Вишневій перебуває у зношеному стані та потребує повної реконструкції, тоді як КОС на вул. Зеленій потребує часткової модернізації.

Таблиця 2. Основні технічні характеристики системи централізованого водовідведення Клесівської громади

Показник	Значення у 2024 р.	Основна проблема
Населені пункти з централізованим водовідведенням	2 із 7	Низьке територіальне охоплення
Охоплення населення	7,3%	Переважання індивідуальних систем
Каналізаційні мережі	10,3 км	4,17 км аварійних
Каналізаційні насосні станції	4	Застаріле насосне обладнання
КОС	2	Потреба в реконструкції та модернізації
Фактичний обсяг стічних вод	≈0,037 млн м³/рік	–
Аварії каналізаційних мереж	3	Наявність аварійних ділянок
КОС на вул. Вишневій	0,35 тис. м³/добу	Повна реконструкція
КОС на вул. Зеленій	0,35 тис. м³/добу	Часткова модернізація

Таким чином, технічний аналіз показує, що проблеми систем водопостачання та водовідведення Клесівської громади мають комплексний характер. У водопостачанні вони пов’язані з високим зносом мереж, аварійністю, станом насосного обладнання, недостатньою ефективністю водопідготовки та обмеженим територіальним охопленням. У водовідведенні – з низьким рівнем централізованого охоплення, аварійністю частини каналізаційних мереж, зношенням насосного обладнання та необхідністю реконструкції очисних споруд.

Важливо, що проблема не зводиться лише до недостатньої потужності окремих споруд. Потужність водозаборів у 2024 р. становила 0,0757 млн м³/рік, тоді як фактична подача води споживачам – близько 0,0656 млн м³/рік. Отже, основними обмеженнями системи є не стільки недостатня потужність водозаборів, скільки технічний стан мереж, споруд водопідготовки та обмежене територіальне охоплення централізованими послугами. Розрахована різниця між обсягами піднятої та поданої води становить близько 13,3 %, однак надійність системи істотно обмежується високою часткою аварійних ділянок мереж. Для водовідведення ключовими питаннями є низьке охоплення населення та технічний стан мереж і каналізаційних очисних споруд.

На основі проведеного аналізу першочерговими напрямами модернізації системи водопостачання є поетапна заміна аварійних ділянок водопровідних мереж, модернізація насосного обладнання, реконструкція водоочисної споруди, що перебуває у незадовільному стані, та посилення контролю якості питної води. Для системи водовідведення необхідними є заміна аварійних ділянок каналізаційних мереж, модернізація каналізаційних насосних станцій, повна реконструкція КОС на вул. Вишневій та модернізація КОС на вул. Зеленій. Запропоновані напрями модернізації визначаються характером виявлених технічних та експлуатаційних проблем систем водопостачання і водовідведення громади.

Отже, Клесівська громада має сформовану систему централізованого водопостачання та водовідведення, однак її технічна надійність і територіальна доступність залишаються обмеженими. Найбільш вираженими проблемами є

значна частка аварійних водопровідних і каналізаційних мереж, зношення насосного та очисного обладнання, недостатня ефективність водопідготовки та низький рівень охоплення населення централізованими послугами. Подальший розвиток систем доцільно пов'язувати не лише із заміною окремих об'єктів, а з комплексною модернізацією ланцюгів «водозабір – водопідготовка – транспортування – споживач» та «споживач – водовідведення – очищення стічних вод».

УДК 628.3

НОВІ КОМБІНОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИХ СТІЧНИХ ВОД КОНДИТЕРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ

Софія ПРОКОПЕНКО [1], Лариса САБЛІЙ [2]
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
[1] prokopens@gmail.com, [2] larisasabliy@ukr.net

Abstract. *The treatment of highly concentrated wastewater from confectionery enterprises requires the combination of several treatment processes due to its high organic load and variable composition. This study considers a combined treatment approach involving mechanical treatment, reagent flotation, anaerobic treatment in a UASB reactor, and, when necessary, aerobic post-treatment. Mechanical treatment removes coarse and suspended impurities, while reagent flotation reduces the concentration of dispersed and organic pollutants. Anaerobic treatment is suitable for the main organic load and provides the additional benefit of biogas production. Aerobic post-treatment can be applied to further reduce residual organic compounds and achieve the required quality of treated wastewater.*

Кондитерські підприємства характеризуються утворенням виробничих стічних вод із підвищеним вмістом органічних речовин, склад і витрати яких можуть змінюватися залежно від асортименту продукції, особливостей технологічних процесів та режиму роботи підприємства. Стічні води утворюються під час миття технологічного обладнання, виробничих приміщень, трубопроводів, ємностей та інвентарю, а також у процесі виконання окремих технологічних операцій, пов'язаних із використанням цукрових розчинів, шоколадних мас, начинок та інших компонентів кондитерського виробництва. Потрапляння залишків сировини та готової продукції у воду зумовлює підвищений вміст органічних речовин, що відображається на показниках хімічного та біохімічного споживання кисню (ХСК і $БСК_{повн}$) [1, 2].

Основними забруднювальними речовинами стічних вод кондитерських підприємств є легко біорозкладні органічні сполуки, зокрема вуглеводи, жири та білкові речовини. Для стічних вод кондитерських виробництв характерні значні коливання показників забруднення: ХСК може становити приблизно 1000 - 10 000 мг O_2/дм³, а $БСК_5$ — 500-6000 мг O_2/дм³. Концентрація завислих речовин може змінюватися в межах 100-2000 мг/дм³, а вміст сполук азоту та фосфору залежить від складу сировини, рецептури продукції та застосовуваних

мийних засобів. Реакція середовища також може змінюватися залежно від технологічних і санітарних операцій. Таку мінливість складу стічних вод необхідно враховувати під час вибору технології очищення, оскільки високі концентрації органічних речовин потребують раціонального поєднання фізико-хімічних та біологічних процесів [1, 2].

Для очищення висококонцентрованих стічних вод доцільним є застосування послідовності технологічних процесів, за якої кожна стадія виконує певну функцію. Попереднє механічне очищення забезпечує видалення крупних домішок і частини завислих речовин. Наступна стадія реагентної флотації може використовуватися для вилучення дисперсних домішок, жирів та частини органічних речовин. Зниження концентрації забруднень на попередніх етапах сприяє зменшенню навантаження на біологічні споруди та підвищенню стабільності їх роботи [1, 3].

Реагентна флотація ґрунтується на утворенні та закріпленні на поверхні бульбашок повітря комплексів із забруднювальними речовинами, які надалі видаляються з води у вигляді флотаційного шару. Для інтенсифікації процесу застосовують реагенти. Як коагулянт може використовуватися сульфат алюмінію, а для укрупнення утворених пластівців — поліакриламід. Для коригування реакції середовища може застосовуватися гашене вапно. Сумісна дія реагентів сприяє дестабілізації колоїдних домішок, утворенню та укрупненню пластівців і підвищенню ефективності їх вилучення під час флотації. Застосування реагентної флотації як попередньої стадії є доцільним для висококонцентрованих стічних вод, оскільки дає змогу зменшити вміст завислих, колоїдних і частини органічних речовин перед подальшим біологічним очищенням [3].

Одним із методів фізико-хімічної підготовки стічних вод є електрохімічне очищення. Зокрема, дослідження очищення стічних вод кондитерського виробництва показало, що застосування електрокоагуляції забезпечило близько 56% зниження ХСК та 88,8% видалення завислих речовин. Це свідчить про можливість використання електрохімічних процесів для попереднього зниження забрудненості води перед біологічною стадією [4].

Після попереднього очищення доцільним є застосування анаеробного біологічного процесу, особливо за високого органічного навантаження. Під час анаеробного перетворення органічні речовини використовуються мікроорганізмами як субстрат і перетворюються переважно на метан та діоксид вуглецю. Відсутність потреби у подачі повітря зменшує енергетичні витрати, а утворення біогазу створює можливість його подальшого енергетичного використання [1, 2].

Одним із ефективних апаратів для анаеробного очищення висококонцентрованих стічних вод є реактор з висхідним потоком води через шар анаеробного мулу — UASB. Особливістю такого реактора є утримання значної кількості активної біомаси, що забезпечує можливість роботи за високого органічного навантаження. За результатами досліджень стічних вод кондитерського виробництва, у UASB-реакторі за тривалості процесу - 12 год та

органічного навантаження 4,4 кг БСК/(м³·добу) було досягнуто 92,4% видалення ХСК та 91,5% $БСК_{повн}$ [5].

Можливість використання UASB-реакторів для очищення стічних вод шоколадного виробництва підтверджено також за відносно низьких температур. Під час експлуатації пілотного реактора за температури 14-20 °С ефективність видалення ХСК становила 70–90%, а частка метану в біогазі досягала близько 84%. Отримані результати свідчать про можливість використання анаеробної технології для висококонцентрованих стічних вод навіть за умов, коли температура нижча за оптимальну для мезофільного процесу – 33-35°С [6].

Після анаеробної стадії якість очищеної води необхідно оцінювати відповідно до вимог щодо її подальшого відведення або використання. За потреби може передбачатися аеробне доочищення, призначене для видалення залишкових органічних речовин. Для цього можуть застосовуватися аеротенки, у яких органічні сполуки окиснюються мікрофлорою активного мулу за наявності достатнього розчиненого кисню. Конструктивні та технологічні параметри аеротенків визначаються характеристиками стічних вод, необхідним ступенем очищення та режимом роботи очисних споруд [7].

Таким чином, технологічна схема очищення висококонцентрованих стічних вод кондитерських підприємств може включати механічне очищення, реагентну флотацію, анаеробний UASB-реактор та, за потреби, аеробне доочищення. Послідовне застосування цих процесів забезпечує поетапне видалення забруднювальних речовин і поступове зниження їх концентрації на окремих стадіях очищення. Механічна та фізико-хімічна обробка сприяють попередньому зниженню вмісту завислих і частини органічних речовин, що створює сприятливі умови для подальшого анаеробного перетворення органічних сполук. За необхідності завершальним етапом може бути аеробне доочищення, яке забезпечує подальше зниження концентрацій органічних речовин та інших забруднювальних компонентів до нормативних показників, установлених для відведення очищених стічних вод у міську систему централізованого водовідведення [1, 3, 7].

Застосування такої схеми сприяє підвищенню ресурсоефективності очищення стічних вод, оскільки анаеробний процес дає змогу не лише зменшувати органічне навантаження, а й отримувати біогаз, який може використовуватися як джерело енергії. Водночас доцільність включення окремих процесів має визначатися складом і властивостями стічних вод, вимогами до якості очищеної води та техніко-економічними показниками. Подальше вдосконалення таких технологій передбачає оптимізацію режимів роботи очисних споруд, зниження енергетичних витрат та оцінювання можливості повторного використання очищеної води [1; 3].

Список використаних джерел

1. Zajda M., Aleksander-Kwaterczak U. *Wastewater Treatment Methods for Effluents from the Confectionery Industry – an Overview*. Journal of Ecological Engineering. 2019. URL: https://www.jeeng.net/Wastewater-Treatment-Methods-for-Effluents-from-the-Confectionery-Industry-an-Overview,112557,0,2.html

2. Ozgun H., Karagul N., Dereli R. K., Ersahin M. E., Coskuner T., Ciftci D. I., Ozturk I., Altinbas M. *Confectionery industry: A case study on treatability-based effluent characterization and treatment system performance*. Water Science and Technology. 2012. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22678195/

3. Саблій Л. А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: монографія. Рівне : НУВГП, 2013. 291 с.

4. Álvarez Hernández V., Roa-Morales G., Balderas-Hernández P., Olvera-Vargas H. *Treatment of real confectionery wastewater by electrocoagulation and electrochemical peroxidation: A comparative assessment*. Electrochimica Acta. 2026. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468626001842

5. El-Gohary F., Nasr F. A., Aly H. *Cost-effective pre-treatment of food-processing industrial wastewater*. Water Science and Technology. 1999. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S027312239900579X

6. Esparza-Soto M., Alcaraz-Ibarra S., Lucero-Chávez M., Mier-Quiroga C., Fall C. *Influence of low operating temperature on biomass yield during anaerobic treatment of chocolate confectionery wastewater in a pilot-scale UASB reactor*. Journal of Water Process Engineering. 2022. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714422003622

7. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні і управління безпекою праці / Саблій Л.А., Бунчак О.М., Жукова В.С., Кононцев С.В. // Підручник для студ. ВНЗ спец. «Біотехнології та біоінженерія» / Під ред. Л.А. Саблій - 2-е вид., перероб. і доп. – Рівне: НУВГП, 2018. - 377 с.

УДК 628.2:556

ВПЛИВ УТВОРЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ НА СТАН ПРИРОДНИХ І ШТУЧНИХ ВОДОЙМ

Ярослава МОСІЙЧУК, Анатолій ШЕВЧЕНКО
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
y.mosiichuk@gmail.com

Abstract. *The study examines how wastewater generation and sewer system performance in built-up areas affect natural and artificial water bodies. A full technological chain is considered, from water consumption and wastewater collection to treatment, discharge or reuse, and sludge management. The concepts of potential and actual anthropogenic load, infrastructure imbalance, and the "weakest link" principle are proposed. Hydraulic and pollutant mass loads are compared with the design capacity of sewerage elements. Particular attention is given to sludge treatment and receiving-water sensitivity. The approach can support spatial planning by integrating infrastructure capacity, wastewater loads, and environmental characteristics of receiving water bodies.*

Забудова територій є комплексним чинником антропогенного впливу на природні та штучні водойми, оскільки її розвиток супроводжується зростанням водоспоживання, обсягів утворення стічних вод і маси органічних, біогенних та інших забруднювальних речовин. Водночас сама наявність забудови не є

безпосереднім доказом погіршення стану водойми, адже між джерелом навантаження та водним об'єктом повинна функціонувати система водовідведення. Тому фактичний вплив забудови визначається не лише її площею або чисельністю населення, а і спроможністю каналізаційних мереж, насосних станцій, очисних споруд та систем оброблення осадів безпечно прийняти та обробити сформоване навантаження. Директива (ЄС) 2024/3019 від 27 листопада 2024 року про очищення міських стічних вод аналогічно пов'язує функціонування систем міського водовідведення з величиною сформованого навантаження, використовуючи, зокрема, показник «population equivalent».

Надходження органічних і біогенних речовин зі стічними водами може спричиняти погіршення кисневого режиму, евтрофування водойм, тощо. Ступінь прояву такого впливу залежить не лише від кількості забруднювальних речовин, але і від характеристик водойми, зокрема температури та часу водообміну.

Додаткові ризики пов'язані з технічним станом каналізаційної інфраструктури. Фільтрація стічних вод через пошкоджені трубопроводи може спричиняти забруднення підземних вод, а на територіях із локальними системами водовідведення джерелом забруднення можуть бути неналежно облаштовані або перевантажені системи септиків. Отже, відсутність централізованого або належно контрольованого локального водовідведення доцільно розглядати як потенційний фактор антропогенного ризику для водойми.

Оцінювання впливу забудови при цьому не повинно обмежуватися аналізом якості очищеної води. У процесі очищення частина забруднювальних речовин вилучається з рідкої фази та концентрується в осадах, кількість яких зростає разом із розвитком систем каналізації та підвищенням ефективності очищення. Тому вплив забудованої території доцільно оцінювати за повним технологічним ланцюгом водовідведення, включаючи подальше поводження з очищеними водами та утвореними осадами.

Метою дослідження є встановлення основних механізмів впливу стічних вод, що утворюються на забудованих територіях, та функціонування систем їх збирання, транспортування, очищення і оброблення осадів на стан природних і штучних водойм, а також обґрунтування підходів до врахування такого впливу при просторовому плануванні територій.

За результатами проведеного аналізу запропоновано розглядати вплив забудованих територій на водні об'єкти через послідовний технологічний ланцюг: забудова → водоспоживання → утворення стічних вод → збирання і транспортування → очищення стічних вод → повторне використання або скид очищених вод / оброблення та подальше використання або видалення осадів → потенційний вплив на довкілля. Такий підхід дозволяє оцінювати не лише сам факт наявності забудови, але ефективність функціонування всієї системи водовідведення, що фактично визначає ступінь антропогенного навантаження.

У межах зазначеного ланцюга доцільно розрізняти проєктне та фактичне антропогенне навантаження. Проєктне навантаження визначається обсягом утворених стічних вод і масою забруднювальних речовин, сформованих населенням та господарською діяльністю. Фактичне навантаження являє собою

ту його частину, яка фактично досягає довкілля (зокрема, водного об'єкта) внаслідок скиду, недостатнього очищення, аварійних ситуацій, переливів, фільтрації з пошкоджених каналізаційних мереж, інфільтрації від локальних систем водовідведення або вторинного забруднення, пов'язаного з утворенням і поводженням з осадами стічних вод.

Такий поділ пояснює, чому території з однаковою площею або щільністю забудови можуть формувати різний фактичний вплив на водойму. За наявності справної каналізаційної мережі, достатньої продуктивності насосних станцій і очисних споруд, а також належної системи оброблення осадів значна частина потенційного навантаження перехоплюється та контролюється інженерною системою. У разі недостатньої пропускної здатності або незадовільного технічного стану окремих її елементів частина навантаження може безпосередньо або опосередковано надходити у довкілля.

На цій основі запропоновано використовувати поняття інфраструктурного дисбалансу системи водовідведення, під яким розуміється невідповідність між фактичним або прогнозним обсягом стічних вод і масовим навантаженням забруднювальних речовин та реальною здатністю системи забезпечити їх безпечне збирання, транспортування, очищення й оброблення утворених осадів. Такий дисбаланс можливий навіть за повного охоплення території централізованим водовідведенням. Його причинами можуть бути недостатня пропускна здатність каналізаційних колекторів, перевантаження насосних станцій, перевищення проєктної продуктивності очисних споруд, надмірне органічне та біогенне навантаження, аварійність трубопроводів або відсутність достатніх потужностей для оброблення осадів.

Для попередньої діагностики стану окремих елементів системи можуть використовуватися співвідношення фактичних та проєктних навантажень. Для гідравлічного навантаження:

$$k_Q = \frac{Q_f}{Q_p}, \tag{1}$$

де Q_f − фактична витрата стічних вод; Q_p − розрахункова (проєктна) пропускна здатність або продуктивність відповідного елемента системи.

Для окремої забруднювальної речовини може бути визначено:

$$k_i = \frac{L_f}{L_p}, \tag{2}$$

де L_f − фактичне масове навантаження забруднювальної речовини у стічній воді; L_p − розрахункове (проєктне) масове навантаження забруднювальної речовини у стічних водах.

Оцінювання технологічного навантаження за масою забруднювальної речовини, а не лише за її концентрацією, є загальноприйнятим у проєктуванні та аналізі роботи споруд очищення стічних вод.

За результатами аналізу запропоновано застосовувати принцип обмежувальної, або «найслабшої», ланки. Відповідно до нього екологічна надійність системи водовідведення визначається не максимальною продуктивністю окремих споруд, а тією її ланкою, пропускна здатність, технологічна спроможність або технічний стан якої найменше відповідає

сформованому навантаженню. Достатня продуктивність очисних споруд, наприклад, не гарантує безпечного водовідведення за недостатньої пропускної здатності колектора або перевантаження насосної станції. Так само нормативна якість очищеної води не виключає ризику за наявності ексфільтрації неочищених стоків із пошкоджених мереж.

Окремою обмежувальною ланкою може стати система оброблення осадів. Удосконалення очищення стічних вод і розширення систем водовідведення супроводжуються збільшенням кількості утворених осадів. Забруднювальні речовини, вилучені з рідкої фази, концентруються у первинному осаді та надлишковому активному мулі, а за недостатніх потужностей їх ущільнення, стабілізації та зневоднення можливі накопичення водовмісної осадової маси, перевантаження споруд подальшого оброблення та формування вторинних потоків забруднення. Тому модернізація технології без відповідного розвитку лінії оброблення осадів може лише перенести обмеження на наступний технологічний етап.

У зв’язку з цим при плануванні нової забудови запропоновано формувати повний водовідвідний баланс території, під яким розуміється прогнозне водоспоживання, обсяг утворених стічних вод, масове навантаження основними забруднювальними речовинами, пропускна здатність мереж і каналізаційних насосних станцій, резерв продуктивності очисних споруд, обсяг та якість очищених вод, умови їх скидання або повторного використання, прогнозована кількість осадів та достатність потужностей для їх оброблення.

При цьому оцінка не повинна завершуватися характеристикою системи водовідведення. Однакове фактичне навантаження може мати різний екологічний ефект залежно від властивостей водойми-приймача. Дослідження процесів евтрофування підтверджують суттєву роль гідрологічних умов, температури та часу водообміну у формуванні реакції водної екосистеми на біогенне навантаження. Тому оцінювання доцільно здійснювати з урахуванням трьох взаємопов’язаних складових: потенційного навантаження від забудови, фактичної спроможності системи водовідведення та характеристик водойми-приймача.

Для практичного застосування запропонованого підходу на рівні територіальних громад доцільно поєднувати у геоінформаційній системі дані про забудову та населення з інформацією щодо централізованого і локального водовідведення, каналізаційних мереж, насосних станцій, очисних споруд, місць скидання очищених вод, об’єктів оброблення осадів та результатів гідрохімічного й мікробіологічного моніторингу. Така інтеграція дозволить просторово визначати ділянки потенційного антропогенного навантаження та встановлювати елементи інфраструктури, що потребують детальнішого дослідження.

УДК 631.67:626.81/.84

ІННОВАЦІЙНІ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ РИСОВИХ МЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ

Василь ТУРЧЕНЮК, Владислав МАРЧУК
Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна
v.o.turchenuk@nuwm.edu.ua

Abstract. *The study presents innovative solutions for modernizing rice irrigation systems in Ukraine under conditions of climate change and water scarcity. The proposed approach combines closed pipeline networks with drainage water recirculation to reduce water losses and environmental impacts. Its implementation can increase the land use coefficient from 0.85 to 0.93, reduce pumping energy consumption by 10–12%, and improve water use efficiency and environmental sustainability of rice irrigation systems.*

Трансформація меліоративного сектору України вимагає адаптації рисових зрошувальних систем до умов прогресуючої зміни клімату, наростаючого дефіциту водних ресурсів та жорсткіших екологічних стандартів. Оскільки рисові системи належать до найрозхідніших елементів меліоративного комплексу, пріоритетним завданням є оптимізація їхніх гідравлічних і технологічних параметрів з метою мінімізації непродуктивних втрат води та обмеження техногенного навантаження на довкілля [1, 2].

Переважна більшість діючих меліоративних масивів сформована на основі конструкцій краснодарського типу з відкритими зрошувальними та дренажно-скидними каналами. В сучасних експлуатаційних умовах дана схема виявила суттєву недосконаліть: відкрите транспортування води зумовлює значні фільтраційні та втрати на випаровування, спричиняє підтоплення прилеглих земель, замулення й заростання русел вищою водною рослинністю, а також суттєво знижує коефіцієнт земельного використання через відчуження площ під канальну мережу й дамби [2]. Крім того, прямий скид мінералізованого дренажно-скидного стоку в природні водотоки викликає їх вторинне засолення й евтрофікацію [1].

Ефективним шляхом розв'язання зазначених проблем є перехід до комбінованих зрошувальних систем, що поєднують закритий трубопровідний транспортуючий комплекс та систему замкненого водокористування з рециркуляцією дренажно-скидного стоку [3, 4].

Метою дослідження є наукове обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів комбінованої рисової зрошувальної системи, що забезпечує суттєве зменшення втрат води, зростання коефіцієнта земельного використання та зниження екологічної деструкції навколишнього середовища.

Сутність розробленої конструктивно-технологічної схеми полягає у заміні відкритої розподільчої мережі закритим магістральним трубопроводом, який з'єднаний із насосною станцією джерела зрошення, а також у впровадженні накопичувального басейну для повторного залучення скидних вод у поливний цикл (рис. 1).

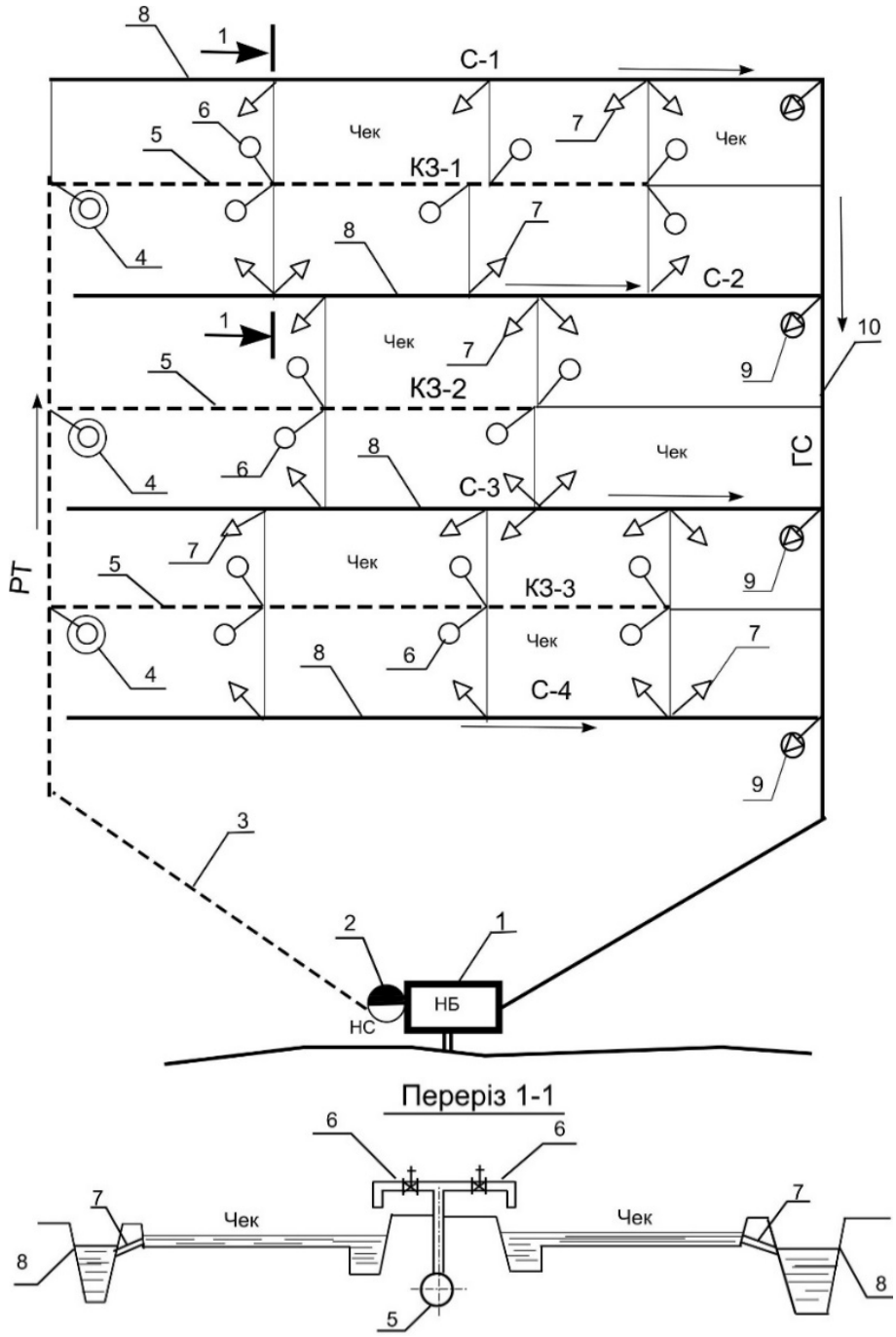


Рисунок 1. Принципова схема рисової системи комбінованого типу із закритою мережею та блоком рециркуляції

Як показано на рис. 1, до складу системи входять накопичувальний басейн, насосна станція, розподільчий трубопровід, картові зрошувачі, водовипуски в чеки, дренажно-скидні канали та головний скидний канал. Така конструктивна схема забезпечує поєднання функцій водоподачі, водовідведення і часткової рециркуляції дренажного стоку в єдиному технологічному циклі. Подача води з джерела здійснюється насосною станцією (2) через закритий розподільчий трубопровід (3) та картові зрошувачі (5) безпосередньо до чеків через регульовані водовипуски (6). Після проходження чеків надлишковий стік через скидні споруди (7) акумулюється у дренажно-скидних каналах (8) і головним скидним каналом (10) спрямовується до накопичувального басейну (1).

У басейні відбуваються процеси відстоювання та змішування дренажного стоку зі свіжою водою у заданій пропорції, після чого вода повторно подається на зрошення. Завдяки цьому формується закритий або частково закритий рециркуляційний цикл.

Основні переваги запропонованих рішень**:** повне виключення фільтраційних і втрат на випаровування у розподільчій ланці підвищує ККД мережі та рівномірність затоплення чеків, а демонтаж відкритих розподільчих каналів і дамб дозволяє збільшити коефіцієнт земельного використання (КЗВ) з 0,85 до 0,93, усунути фрагментацію масивів та покращити конфігурацію чеків для високоефективної механізації обробітку [2]; нівелювання втрат води та раціоналізація напорів дають змогу скоротити питомі витрати електроенергії на насосне перекачування на 10–12%; рециркуляція дренажно-скидних вод запобігає попаданню мінералізованих стоків, залишків добрив і пестицидів у відкриті водотоки, забезпечуючи високий рівень санітарно-екологічної безпеки [3, 4]; закрита трубопровідна мережа створює базову інфраструктуру для впровадження системи автоматизованого моніторингу та точного водообліку.

Висновки. Перехід до комбінованих рисових зрошувальних систем із закритою мережею та блоком рециркуляції є стратегічним напрямом модернізації меліоративного комплексу України. Реалізація запропонованих конструктивних рішень дає змогу ліквідувати непродуктивні втрати води, підвищити КЗВ до 0,93, зменшити витрати енергоресурсів на 10–12% та мінімізувати екологічні ризики для довкілля [1–4].

Список використаних джерел

1. Рокочинський А. М. Системний підхід до обґрунтування та управління меліоративними режимами зрошуваних земель. Рівне: НУВГП, 2011. 340 с.

2. Рис в Україні: [колективна монографія] / за ред. В.А. Сташука, А.М. Рокочинського, Л.М. Грановської. Херсон: Грінь Д.С., 2014. 976 с.

3. Патент на корисну модель № 159970 UA. Рисова карта краснодарського типу зі зрошувачами скидами на чеках / Турченюк В.О., Кропивко С.М. Опубл. 2025, Бюл. № 30.

4. Турченюк В. О., Кропивко С. М. Оцінка експлуатаційної ефективності рисових поливних карт різних конструкцій і параметрів Придунайських рисових систем // Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2024. Вип. 3(107). С. 313-325.

УДК 504.45.058 : 626.82

БІОЛОГІЧНА МЕЛІОРАЦІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОТЕХНІЧНОГО КАНАЛУ ДНІПРО-ДОНБАС

Роман НОВІЦЬКИЙ [1], Дмитро КОБЯКОВ [2], Геннадій ГАПІЧ [3], Володимир КОВАЛЕНКО [4]
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна
[1] novitskyi.r.o@dsau.dp.ua, [2] kobiakov.d.o@dsau.dp.ua, [3] hapich.h.v@dsau.dp.ua, [4] kovalenko.v.v@dsau.dp.ua

Abstract. *The efficiency of biological amelioration in the Dnipro–Donbas canal using a complex of herbivorous and bio-ameliorative fish species was evaluated. Annual removal of over 340 tonnes of aquatic macrophytes and 647 tonnes of phytoplankton was established. Satellite remote sensing (Sentinel-2) confirmed the effective suppression of cyanobacterial blooms. Bio-clearing of the canal channel reduced pumping energy consumption by 12%, generating an average annual economic benefit of UAH 2 million.*

Вступ та актуальність теми. Магістральний канал Дніпро-Донбас є однією з найбільших гідротехнічних споруд України [1]. За останні 30 років обсяги перекачування води каналом зменшилися до 10–40 м^3/с, що спричинило істотні негативні зміни у штучній водній екосистемі: замулення, надмірне розростання водної рослинності, сезонне «цвітіння» ціанобактерій та зниження вмісту розчиненого кисню. Традиційні механічні та хімічні заходи очищення потребують значних щорічних витрат (за різними оцінками $130–$170 тис./рік). Впровадження біологічної меліорації з використанням комплексного зариблення рослиноїдними рибами є перспективною та екологічно безпечною альтернативою [2].

Мета дослідження. Оцінка ефективності реалізації пілотного проєкту з біологічної меліорації гідротехнічного каналу Дніпро-Донбас (2010–2023 рр.) для покращення якості води, оптимізації гідрологічного режиму та підвищення енергоефективності перекачування води.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження охоплювали 202 км траси каналу Дніпро-Донбас від головного водозабору (Кам'янське водосховище) до Краснопавлівського водосховища. Протягом 2014–2023 рр. відібрано та проаналізовано 98 гідрохімічних проб води, здійснено 234 облови іхтіофауни та досліджено понад 18,2 тис. особин риб (34 види з 10 родин).

Для оцінки стану водного дзеркала залучено методи ГІС та ДЗЗ (космічні знімки Sentinel-2) з розрахунком спектральних індексів [2]:

- ✓ NDTI (нормалізований індекс різниці каламутності);
- ✓ NDAI (нормалізований індекс різниці водоростей / альгоіндекс);
- ✓ NDVI (індекс нормалізованої диференціальної рослинності).

Результати досліджень. Упродовж 2010–2023 рр. на каналі впроваджено заходи біомеліорації з використанням цільового комплексу видів-біомеліорантів: білого товстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* (фітопланктофаг), строкатого товстолобика *Aristichthys nobilis* (детритофаг), білого амура *Ctenopharyngodon idella* (фітофаг) та коропа *Cyprinus carpio* (бентофаг).

Розраховані щорічні обсяги вилучення первинної біологічної продукції біомеліорантами становлять:

- ✓ вища водна рослинність: не менше 340 тонн/рік;
- ✓ фітопланктон: не менше 647 тонн/рік;
- ✓ донні відкладення (детрит): понад 600 тонн/рік;
- ✓ молюск дрейсена (біообростач): до 240 тонн/рік.

Дані ДЗЗ (Sentinel-2) підтвердили високу ефективність біомеліорації: на ділянці з зарибленням (Могилівська ділянка) значення індексів NDAI та NDVI виявилися суттєво нижчими порівняно з незарибленими ділянками, що свідчить про стримування розвитку ціанобактерій та вищої рослинності.

Висновки:

1) *Екологічний ефект*. Комплексна біомеліорація є високоефективним методом відновлення каналів. Вона забезпечує щорічну утилізацію понад 340 т водної рослинності та 647 т фітопланктону, покращує якість води та запобігає її «цвітінню» ціанобактеріями.

2) *Оптимізація витрат*. Заміна механічного обкошування акваторії (на площі 156,4 га) біологічним методом із випуском білого амура потребує витрат лише у перший рік, заощаджуючи щорічно близько 2,2–2,5 млн грн.

3) *Енергозбереження та економічна ефективність*. Зниження гідравлічного опору русла та зменшення кількості зважених частинок скоротило витрати електроенергії на перекачування води на 12% (зокрема по НС №1 – на 253,8 тис. кВт·год/рік) із загальним середньорічним ефектом у 2 млн грн.

Отриманий досвід та результати досліджень можуть бути рекомендованими для масштабування на інших водогосподарських об’єктах України в умовах відновлення та реконструкції гідротехнічних споруд.

Список використаних джерел

1. Onopriienko, D., Dotsenko, V., Tkachuk, A. *et al.* Water quality in the Dnipro–Donbas canal (Ukraine) under conditions of war and climate change. *Discov Water* 6, 67 (2026). https://doi.org/10.1007/s43832-026-00387-2

2. Novitskyi, R. O., Khristov, O. O., Kobyakov, D. O., Hapich, H. V., Kovalenko, V. V., Gritsan, Y. I., Harbach, H., & Roubik, H. (2026). Aspects of Biological Amelioration in the Dnieper-Donbas Hydraulic Channel (Ukraine). Hydrobiological Journal, 62(5), 29–45. https://doi.org/10.1615/hydrobj.v62.i5.30

УДК 626.82/.83:626.86

ОЦІНКА ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІНЖЕНЕРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ГІДРОМЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ ПРИЛАДОМ “NOVOTEST IПСМ”

Степан КУЗЬМИЧ
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
kuzmych_vg17@nuwm.edu.ua

Abstract. *The study assesses the durability of concrete and reinforced concrete elements of drainage infrastructure using the NOVOTEST IPSM device for non-destructive testing. Field investigations were conducted at drainage systems in Rivne and Volyn regions, Ukraine. The results indicate concrete strength of 38–42 MPa in drainage wells and a strength reduction of only 10–12% after 35 years of operation. The findings support the assessment of structural reliability and remaining service life.*

Довговічність бетонних і залізобетонних конструкцій є ключовим чинником надійності та ефективності роботи гідромеліоративних систем. В умовах тривалої експлуатації ці елементи зазнають впливу агресивного середовища, циклічних навантажень та природних процесів, що може призводити до поступової деградації матеріалу. Тому важливим завданням є своєчасна оцінка фактичного технічного стану конструкцій та прогноз їх залишкового ресурсу.

Оцінку довговічності здійснено на основі польових випробувань фактичної міцності бетону, що є одним із базових показників технічного стану та експлуатаційної надійності конструкцій. Дослідження проводилися безпосередньо на діючих та частково зруйнованих об’єктах гідромеліоративної інфраструктури Рівненської та Волинської областей, зокрема на системах «Маринінська», «Мар’янівка», «Ольшанка» та «Цирська».

Обстеження охоплювали залізобетонні та бетонні елементи інженерної інфраструктури закритої і відкритої мережі дренажних систем, зокрема:

- дренажні колодязі;
- гирлові споруди;
- регулювальні споруди відкритої дренажної мережі;
- перехідні споруди;
- берегоукріплювальні споруди.

Для визначення міцності застосовано сучасний цифровий прилад NOVOTEST IПСМ для неруйнівного контролю будівельних матеріалів.

Основні характеристики приладу:

- діапазон вимірювання часу поширення ультразвукових імпульсів: 10-999,9 мкс;
- дискретність вимірювання: 0,1 мкс;
- робочі частоти: 60 та 100 кГц;
- час безперервної роботи: не менше 10 годин;
- робочий температурний діапазон: від –20 до +40 °С;
- маса електронного блоку: 0,25 кг.

Конструкція приладу складається з електронного блока, виготовленого з ударостійкого пластику ABS, а також під'єднуваних за допомогою роз'єму Lemo перетворювачів.

Керування приладом здійснюється за допомогою клавіатури. Візуалізація сигналів, а також відображення результатів вимірювань, стану приладу та іншої інформації здійснюється на графічному індикаторі.

Підключення поверхневого датчика, а також перетворювачів для наскрізного прозвучування здійснюється за допомогою коаксіальних кабелів через роз'єми Lemo, розташовані на верхній панелі корпусу. Для підключення приладу до персонального комп'ютера на бічній панелі корпусу передбачено спеціальний роз'єм.

Живлення приладу здійснюється від двох акумуляторів типу АА.

На рис. 1 наведено основні складові частини приладу.



Рисунок 1. Вимірювач міцності будівельних матеріалів NOVOTEST ІПСМ
1 – графічний індикатор; 2 – клавіатура керування; 3 – електронний блок; 4 – штекер Lemo перетворювача; 5 – гніздо Lemo; 6 – різьбове з'єднання для закріплення кришки; 7 – відсік для батарей; 8 – стрічка для вилучення батарей; 9 – акумулятор типу АА; 10 – гвинт; 11 – роз'єм для підключення приладу до ПК; 12 – кришка батарейного відсіку.

Портативність та цифрова реєстрація результатів дозволяють проводити серійні вимірювання без вилучення кернів та пошкодження конструкцій, що особливо важливо для протяжних гідромеліоративних систем.

Оцінювання здійснюється з урахуванням чинної нормативно-правової бази, зокрема вимог Водного кодексу України, Закону України «Про меліорацію земель», а також відповідних державних будівельних норм і стандартів (рис. 2).



Рисунок 2. Визначення міцності залізобетонних елементів інженерної інфраструктури дренажних систем, а саме гідротехнічних споруд: трубчастих регуляторів, переїздів, плит берегокріплення, гирлових споруд

На кожному конструктивному елементі формувалися контрольні ділянки, де виконували серію вимірювань. Перед тестуванням поверхню очищали від забруднень та слабкого шару бетону. За результатами серії визначали:

- характерне значення міцності бетону;
- коефіцієнт варіації;
- ступінь відхилення від проєктних або нормативних характеристик.

Встановлено, що міцність бетону кілець дренажних колодязів коливається в межах 38 – 42 МПа (рис. 3). Міцність бетону споруд, фактичний термін експлуатації яких складає 35 років при нормативному строку служби 20 років, знизилась всього на 10-12% при проєктному запасі міцності 40%.

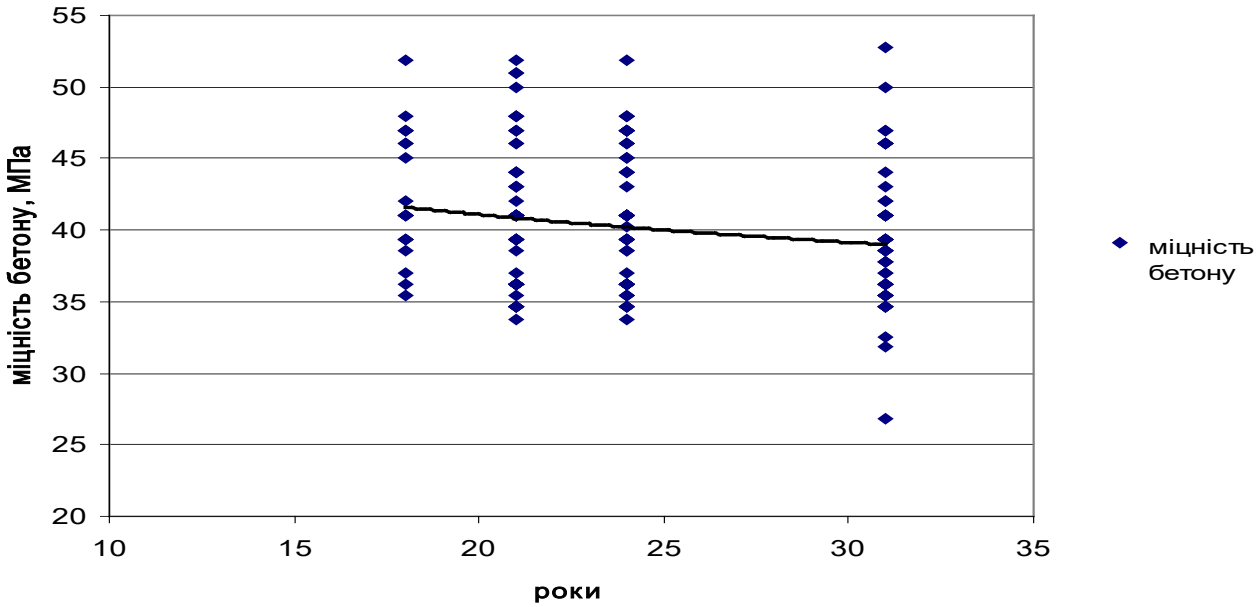


Рисунок 3 . Графік залежності міцності бетону біля основи перехідних і регулювальних споруд

Отримані дані дозволили:
- визначити діапазон фактичної міцності бетону;
- оцінити просторову неоднорідність матеріалу;
- виявити локальні зони деградації;
- сформувати прогноз залишкового ресурсу конструкцій.

Таким чином, застосування неруйнівного контролю із використанням приладу NOVOTEST ІПСМ забезпечило отримання репрезентативного масиву даних про стан бетонних і залізобетонних елементів без їх істотного пошкодження. Результати стали основою для подальшої оцінки надійності та довговічності інженерної інфраструктури гідромеліоративних систем.

УДК 631.67:635

ВОДНИЙ РЕЖИМ ҐРУНТУ І ЕВАПОТРАНСПІРАЦІЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Артем ДИНЯ [1], Федір МЕЛЬНИЧУК [2], Андрій ШАТКОВСЬКИЙ [3]
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
[1] artem2911996@gmail.com, [2] melnichukf@ukr.net, [3] andriy-1804@ukr.net

Abstract. *The soil water regime and evapotranspiration processes of various vegetable crops were studied under conditions of the Forest-Steppe zone of Ukraine. It was found that irrigation rates and evapotranspiration rates were significantly lower when a differentiated irrigation regime was implemented.*

Овочівництво як галузь стикається сьогодні із серйозними викликами, які обумовлено трансформацією продовольчого ринку, логістичними ризиками, дефіцитом кадрового ресурсу та кліматичними змінами. Щодо останньої складової, то перший можливий підхід складається з адаптаційних речей: підбору посухостійких культур і гібридів, вибору агротехнологій, направлених на вологозбереження, використання адсорбентів тощо [1]. Проте, як показує практика у гостропосушливі періоди ці заходи не можуть забезпечити позитивний результат у повній мірі. Тому пріоритетним на сьогодні є впровадження зрошення [2].

З огляду на обмеженість та точковість проведених досліджень з різних питань зрошення овочевих культур в умовах Правобережного Лісостепу України, Інститутом водних проблем і меліорації НААН було започатковано такі дослідження спільно із ТОВ «СИНГЕНТА» у 2025 році.

Метою дослідження є комплексна оцінка ефективності та наукове обґрунтування режимів зрошення овочевих культур у зоні Правобережного Лісостепу України на основі агротехнологічних, економічних і екологічних оціночних критеріїв.

Об’єкт дослідження: технологічний процес краплинного зрошення, ґрунтове середовище, продукційні процеси овочевих рослин.

Локація: дослідна ділянка у межах землекористування RND ТОВ «Сингента» (с. Мала Вільшанка, Білоцерківський район Київської області, географічні координати – 49.717601, 30.110404). 16.04.2025 року Інститутом було укладено Договір 1/25-04 з ТОВ «СИНГЕНТА» «Про спільну науково-технічну діяльність», яким унормовано юридичні аспекти майбутньої співпраці.

Видовий склад овочевих культур наступний: 1. томат (Суомі F1), 2. капуста цвітна (Resq F1), 3. кукурудза цукрова (Glaciale F1), 4. перець солодкий (Lumus F1), 5. буряк столовий (Боро F1).

Досліджували два варіанти режимів краплинного зрошення, контролем був варіант природнього вологозабезпечення (без зрошення) :

1. Інтенсивний режим – 90% НВ / -22 kPa.

2. Диференційований за фазами розвитку: 85-90-80% НВ або -25 / -22 / -30 kPa.

3. Без зрошення (контроль) [3].

Вологість ґрунту контролювали за допомогою тензіометричних датчиків [4].

Протягом вегетаційного періоду 2026 року випало 256.0 мм (≈ + 8,5 % від кліматичної норми). Проте опади випадали вкрай не рівномірно – більшість у вигляді рясних злив.

Встановлено, що у розрізі всіх овочевих культур достовірно нижчою норма зрошення та показники евапотранспірації були за реалізації диференційованого режиму зволоження:

Режим краплинного зрошення	**Томат розсадний**		**Кукурудза цукрова**		**Капуста цвітна**		**Перець солодкий**		**Буряк столовий**	
	М	**ЕТс**	**М**	**ЕТс**	**М**	**ЕТс**	**М**	**ЕТс**	**М**	**ЕТс**
Режим інтенсивний, -22 kPa	1850	2820	550	2450	1850	4830	1750	4440	450	3150
Режим диф. за фазами, -25 / -22 / -30 kPa	*1640*	*2620*	*420*	*2230*	*1680*	*4380*	*1540*	*4220*	*340*	*3010*
Контроль (без зрошення)	-	2660	-	1670	-	2730	-	2800	-	2690

У найближчій перспективі (2027-2028 рр.) буде продовжено польовий дослід з метою нівелювання впливу метеорологічних чинників та отримання на цій основі об’єктивних результатів.

Список використаних джерел:

1. М.І. Ромащенко, А.П. Шатковський, О.В. Журавльов, В.В. Васюта, Ю.О.Черевичний, Ф.С. Мельничук, Л.О. Семенко, І.О. Коваленко. Овочівництво в умовах змін клімату: нові виклики, проблеми, можливості…Овочі та фрукти. 2020. № 06 (127). С. 39-43.

2. Наукові основи технологій краплинного зрошення сільськогосподарських культур: монографія / А.П. Шатковський, О.В. Журавльов — Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2021. — 440 с. ISBN 978-966-992-588-6

3. Ушкаренко В.О., Вожегова Р.А., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Методика польового досліду (зрошуване землеробство). Херсон : Грінь Д.С., 2014. 448 с.

4. Ромащенко В.М., Корюненко М.М., Муромцев М.І. Рекомендації з оперативного контролю та управління режимом зрошення сільськогосподарських культур із застосуванням тензіометричного методу. Київ: Ін-т водних проблем і меліорації, 2012. 56 с.

УДК 631.67:004

ВПЛИВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ НА ВОДНО-ФІЗИЧНИЙ СТАН ОСУШУВАНИХ ҐРУНТІВ

Дмитро СТЬОЖКА
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
e-mail: dimonstyozka@gmail.com

Abstract. *The paper combines a review of machinery-induced soil compaction with the results of a field study conducted in 2025 on reclaimed land near Sarny. Bulk density was measured in the 0-30 cm layer after maize sowing with a John Deere 6010 tractor and a Horsch Maestro 8D planter. The highest mean value was recorded in the headland with repeated traffic (1,547 g/cm^3), while the non-trafficked control averaged 1,119 g/cm^3. The results confirm the need to limit repeated passes and organize permanent traffic routes on reclaimed fields.*

Осушувані землі потребують особливо обережного використання сільськогосподарської техніки, а ефективність регулювання водного режиму грунту залежить не лише від стану інженерної інфраструктури дренажних систем, але й від водно-фізичних характеристик грунту, зокрема показників щільності, фільтраційних (швидкості поглинання вологи при зволоженні та водовіддачі ґрунту при осушенні) та ємкісних властивостей грунтів. Водночас під впливом різних природних та антропогенних факторів, а також під впливом проходження важкої сільськогосподарської техніки та механічного обробітку грунту (оранка, розпушування, культивація тощо), відбувається переущільнення активного шару грунту, особливо в умовах підвищеної вологості осушуваних грунтів. Унаслідок цього погіршуються аерація, інфільтраційні характеристики та умови розвитку кореневої системи вирощуваних культур [1-5].

Ступінь впливу на осушувані ґрунти визначається масою сільськогосподарської техніки, навантаженням на колеса, тиском у шинах, кількістю проходів і водно-фізичним станом ґрунту. Трактор із посівним або ґрунтообробним агрегатом ущільнює смуги під колесами; комбайни, завантажені причепи та бункери-перевантажувачі створюють значне осьове навантаження; обприскувачі багаторазово рухаються технологічними коліями. Особливо небезпечними є повторні проходи на розворотних смугах, де траєкторії техніки перетинаються [5, 7, 8].

Тому важливими є не тільки результати аналізу наукових джерел щодо впливу різних варіантів руху, зокрема посівних агрегатів, на зміну щільності меліорованих ґрунтів, але і отримання даних польових досліджень на осушуваних землях, оскільки, як свідчить літературний огляд, за даним напрямом таких досліджень обмаль.

Польові дослідження проведено у 2025 р. в умовах Західного Полісся на осушуваних землях Сарненської дослідної станції ІВПіМ НААН на ділянці площею 47,97 га. Ґрунти дослідної ділянки дерново-підзолисті суглинкові; застосовувалася технологія No-Till (без оранки).

Під час сівби кукурудзи використовували трактор John Deere 6010 із сівалкою Horsch Maestro 8D. Зразки непорушеної будови відбирали з шару 0 - 30 см у чотирьох зонах: після проходу агрегату, між коліями, на ділянці без

прямого проходу техніки (контроль) і на розворотній смузі з повторними проходами. Для кожної зони відібрано зразки триразової повторюваності. Об'ємну щільність визначали як відношення маси сухого ґрунту до об'єму зразка. На рис. 1 наведено середні значення (за трьома вимірами) для чотирьох зон відбору зразків.

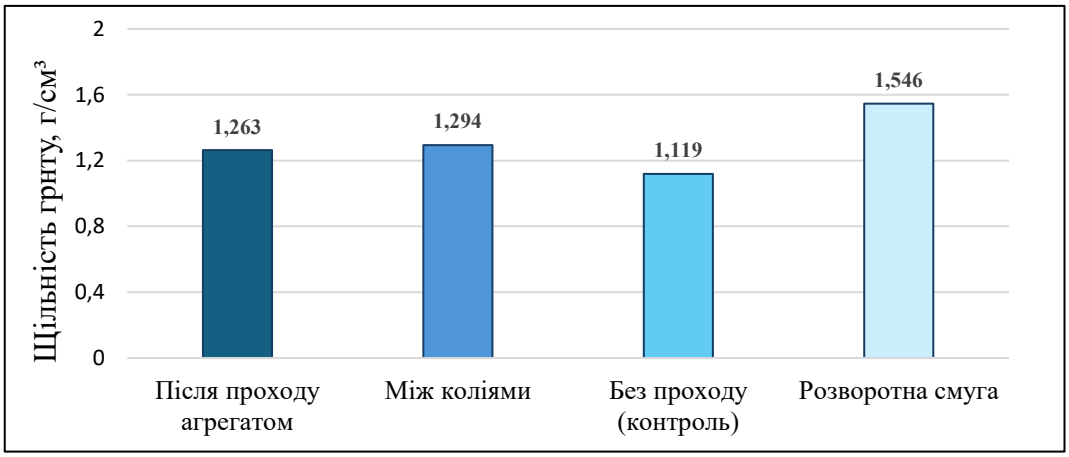


Рисунок 1. Щільність ґрунту в зонах з різним характером руху посівного агрегату, г/см³; меліоративна система Сарненської дослідної станції, 2025 р.

Найменшу середню об'ємну щільність ґрунту зафіксовано на контрольній ділянці без прямого проходження техніки - 1,119 г/см³. Після проходження трактора з сівалкою показник щільності становив 1,263 г/см³, а між коліями - 1,294 г/см³. Найбільше значення щільності ґрунту отримано на розворотній смузі - 1,547 г/см³, що на 38,3 % вище порівняно з контролем. Отже, найбільше ущільнення пов'язане не з одиничним проходом, а з повторним рухом і розворотами агрегату в межах розворотної смуги.

Більша мінливість результатів досліджень щільності між коліями свідчить про неоднорідність ущільнення в межах поля. Навантаження поширюється не лише безпосередньо під шиною: на розподіл напружень впливають маса агрегату, властивості ґрунту та попередні траєкторії руху механізмів. Тому оцінювати стан поля лише за одним зразком із колії недостатньо. Потрібно порівнювати колію, міжколійний простір, ділянки без проходу та місця повторного руху.

Загальна тенденція отриманих результати досліджень узгоджується з результатами літературних джерел, зокрема: верхній шар найбільше реагує на контактний тиск, а глибина поширення ущільнення зростає зі збільшенням колісного й осьового навантаження [5-7]. Для осушуваних ґрунтів це важливо, оскільки ущільнений шар може сповільнювати інфільтраційний рух вологи до грунтових вод та відведення дренажних вод, знижуючи ефективність регулювання водного режиму грунту на осушуваних землях [2-4].

Як свідчать літературні джерела, важливим способом мінімізації впливу техніки на грунти є локалізація руху в постійних технологічних коліях, а також скорочення кількості розворотів і повторних проходів, планування маршрутів завантаженого транспорту, підбір тиску у шинах відповідно до навантаження та

недопущення роботи на ґрунті з недостатньою несучою здатністю. Такі заходи не усувають навантаження, але зменшують площу поля, яка систематично ущільняється [7, 8].

Задачею експериментальних польових досліджень була також оцінка просторових та сезонних змін об'ємної щільності ґрунту в різних функціональних зонах поля за реального виробничого використання сільськогосподарської техніки на осушуваних землях.

Під час весняної сівби кукурудзи використовували також трактор John Deere 6010 із сівалкою Horsch Maestro 8D. Зразки шару 0-30 см відбирали навесні та повторно в жовтні у триразовій повторюваності на кожній визначеній зоні. Дослідні зони наступні: 1 - після проходу агрегату; 2 - міжколійний простір; 3 - без прямого наїзду техніки; 4 - розворотна смуга; 5 - окрема порівняльна ділянка поблизу дослідної станції з чорноземним ґрунтовим покривом. Оскільки ділянка 5 відрізнялася від інших зон за типом ґрунту, її результати використано лише для додаткового порівняння, а не для прямого оцінювання впливу техніки на основній ділянці з дерново-підзолистим суглинковим ґрунтом (рис. 2).

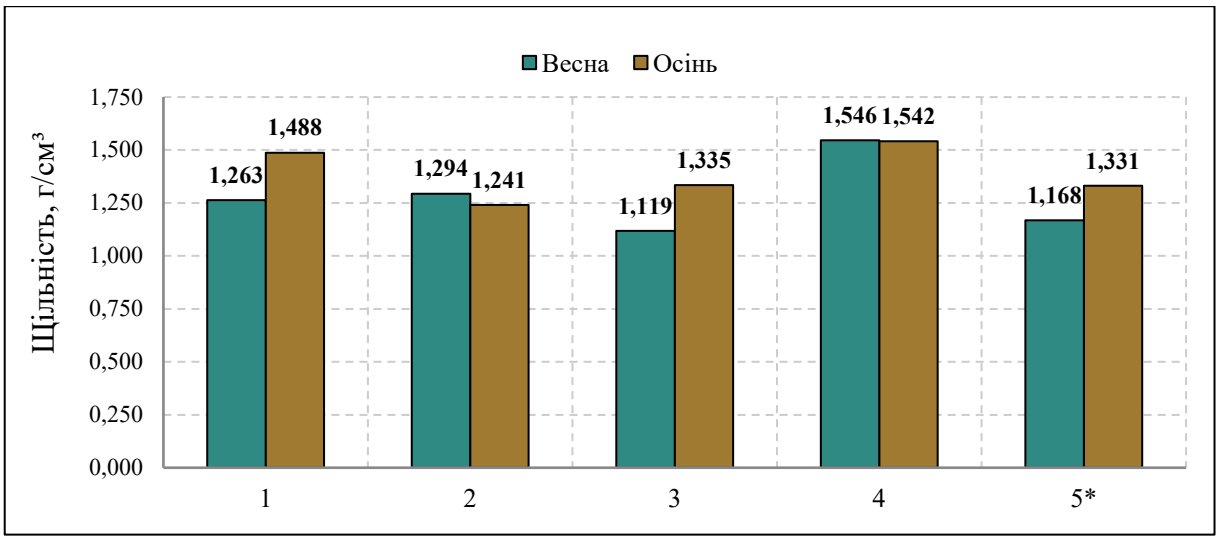


Рисунок 2. Об'ємна щільність ґрунту навесні та восени, г/см³;еліоративна система Сарненської дослідної станції, 2025 р.

* Ділянка 5 має інший тип ґрунту та розглядається лише як додатковий порівняльний варіант.

Навесні найбільшу середню об'ємну щільність зафіксовано на поворотній смузі - 1,547 г/см³, а найменшу на ділянці без прямого наїзду техніки - 1,119 г/см³. Восени поворотна смуга зберегла найвище середнє значення - 1,542 г/см³. Сезонна динаміка була неоднорідною: показник щільності зріс на ділянках 1, 3 і 5; зменшився на ділянці 2 та майже не змінився на ділянці 4. Значні відхилення на окремих варіантах підтверджують просторову неоднорідність ущільнення. Оскільки між весняним та осіннім відборами на ґрунт одночасно впливали опади, коренева система кукурудзи, технологічні операції, сезонні зміни не можна пояснювати лише проходами техніки.

Висновок. Поворотна смуга є найбільш критичною зоною поля за рівнем ущільнення. Отримані результати обґрунтовують потребу обмежувати повторні проходи та розвороти, планувати постійні маршрути руху та враховувати вологість ґрунту перед виконанням польових операцій.

Отже, польові дані підтвердили істотний вплив руху техніки на водно-фізичний стан осушуваних ґрунтів. Найбільш уразливими виявилися розворотні смуги з повторними проходами. Подальші дослідження спрямовані на визначення ущільнення за глибиною зони аерації, вимірювання опору проникненню вологи у грунт, а також зміни вологоємкості грунту та облік фактичного навантаження на рушії. Це дасть змогу обґрунтувати режими руху техніки для конкретних ґрунтових умов на осушуваних землях.

Список використаних джерел

1. Медведєв В. В., Пліско І. В., Крилач С. І., Накісько С. Г., Уваренко К. Ю. Фізична деградація орних ґрунтів України: оцінювання, профілактика, призупинення. Харків : ФОП Бровін О. В., 2020. 110 с.

2. Ромащенко М. І. та ін. Сталий розвиток меліорації земель в Україні в умовах змін клімату. Аграрні інновації. 2020. № 3. С. 60–67. DOI: 10.32848/agrar.innov.2020.3.10.

3. Гаськевич В. Г., Позняк С. П. Осушені мінеральні ґрунти Малого Полісся. Львів : ВЦ ЛНУ імені Івана Франка, 2004. 256 с.

4. Гаськевич В. Г., Папіш І. Я., Телегуз О. Г. Фізика ґрунтів. Лабораторний практикум. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 170 с.

5. Shaheb M. R., Venkatesh R., Shearer S. A. A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production. Journal of Biosystems Engineering. 2021. Vol. 46. P. 417-439. DOI: 10.1007/s42853-021-00117-7.

6. Zhang B., Jia Y., Fan H. et al. Soil compaction due to agricultural machinery impact: a systematic review. Land Degradation & Development. 2024. Vol. 35, No. 10. P. 3256-3273. DOI: 10.1002/ldr.5144.

7. Keller T., Sandin M., Colombi T., Horn R., Or D. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. Soil & Tillage Research. 2019. Vol. 194. 104293. DOI: 10.1016/j.still.2019.104293.

8. Chamen T. Controlled traffic farming - from worldwide research to adoption in Europe and its future prospects. Acta Technologica Agriculturae. 2015. Vol. 18, No. 3. P. 64-73. DOI: 10.1515/ata-2015-0014.

УДК 551:583: 551.588

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНИКА НА УРОЖАЙНІСТЬ СОЇ В ЗОНІ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ

Микола ЗОСИМЧУК, Оксана ЗОСИМЧУК,
Василь ХОДНЕВИЧ, Олексій ПОЛІЩУК
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
zosimchykm@gmail.com

Abstract. *This paper presents the results of long-term experimental studies aimed at determining the effect of preceding crops on soybean yield when grown on sod-podzolic and lowland peat soils in the Western Polissya region. It was found that the best preceding crop for soybean cultivation in the Western Polissya region on sod-podzolic and peat soils is grain corn, which increases yields by 0.42 and 0.65 t/ha, respectively. Overall, soybean yields on sod-podzolic soils were higher than on peat soils, which is explained by the less favorable hydrothermal conditions in peatlands.*

Соя є стратегічно важливою сільськогосподарською культурою, яка відіграє провідну роль у забезпеченні людства продуктами харчування, кормами для тваринництва та сировиною для промисловості. Її популярність зумовлена значним потенціалом урожайності, адаптивністю до різних агрокліматичних умов вирощування. В останні роки відмічено розширення посівних площ сої в північних регіонах України.

Зростання попиту на сою потребує впровадження ефективних агротехнічних заходів щодо технології вирощування, які забезпечать її врожайність та якісні характеристики насіння (уміст білка, олії, вуглеводів і мікроелементів) [1–4].

Одним із ключових чинників, що впливають на кількісні та якісні показники врожаю сої, є правильний вибір попередників. У зв'язку із істотним здорожчанням вартості мінеральних добрив, підбір кращих попередників є одним з низько затратних та дієвих засобів підвищення урожайності сої.

На Сарненській дослідній станції впродовж 2021-2025 рр. проведено комплекс експериментальних досліджень з встановлення можливості та доцільності вирощування на дерново-підзолистих легкосуглинкових та торфових грантах нових для зони Західного полісся економічно привабливих сільськогосподарських культур таких як соя, соняшник, озима пшениця, кукурудза на зерно. Одним із завдань було встановлення впливу попередника на урожайність вище вказаних сільськогосподарських культур.

Агрохімічні показники ґрунту:

- дерново-підзолистий легкосуглинковий: вміст гумусу – 2.34 %, вміст легко гідролізованого азоту (по Корнфілду) – 147 мг/кг грунту, рухомих форм фосфору і калію (по Кірсанову) – 144 і 156 мг/кг грунту відповідно, $pH_{сол}$ – 5.4.

- торфовий: вміст легко гідролізованого азоту (по Корнфілду) – 750.0 мг/кг ґрунту, рухомих форм фосфору і калію (по Кірсанову) – 239 і 150 мг/кг відповідно, $pH_{сол}$ – 5.2.

У дослідах висівали генетично модифікований сорт сої Аполло. Мінеральні добрив під сою вносили на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах в нормі – $N_{60}P_{60}K_{60}$, а на торфових ґрунтах – $P_{60}K_{90}$.

За результатами проведених досліджень встановлено, що соя є культурою чутливою до попередника (табл. 1-2)

Таблиця 1. Вплив попередника на урожайність сої за вирощування на торфових ґрунтах, середнє за 2021-2025 рр.

Попередник	**Вага зерна з ділянки в розрізі повторностей, грам**				**Середнє, т/га**	**± до озимого тритікале**	**%**
	1	**2**	**3**	**4**			
Соя	1,84	2,02	1,97	1,97	1,95		
Озиме тритікале	2,26	2,22	2,17	2,14	2,20	0,25	12,7
Соняшник	2,29	2,24	2,18	2,38	2,27	0,32	16,5
Кукурудза	2,43	2,37	2,29	2,4	2,37	0,42	21,7
Нір $_{0,05\ т/га}$					0,19		

На торфових ґрунтах найвищу урожайність сої було одержано після кукурудзи – 2,37 т/га, що на 0,42 т/га вище порівняно з монокультурою сої. Після озимої пшениці та соняшнику урожайність сої була вищою на 0,25 та 0,32 т/га відповідно, ніж на варіантах монокультури сої.

Таблиця 2. Вплив попередника на урожайність сої за вирощування на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах

Попередник	**Вага зерна з ділянки в розрізі повторностей, грам**				**Середнє, т/га**	**± до озимої пшениці**	**%**
	1	**2**	**3**	**4**			
Соя	2,79	2,84	2,91	2,89	2,86		
Соняшник	3,16	3,22	3,21	3,09	3,17	0,31	10,9
Озима пшениця	3,29	3,34	3,31	3,18	3,28	0,42	14,8
Кукурудза	3,56	3,45	3,58	3,42	3,50	0,65	22,6
Нір $_{0,05\ т/га}$					0,24		

На дерново-підзолистих ґрунтах найвищу урожайність сої було одержано після кукурудзи – 3,50 т/га, або на 0,65 т/га вище порівняно з монокультурою сої. Після соняшнику та озимої пшениці урожайність сої була вищою на 0,31 та 0,42 т/га відповідно, ніж на варіантах монокультури сої.

Вцілому урожайність сої на торфових грантах була нижчою ніж на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах, що пояснюється менш сприятливим гідротермічним режимом на торфових ґрунтах, зокрема коротший безморозний період, менша сума активного тепла тощо.

Вцілому слід зазначити, що на дерново-підзолистих ґрунтах соняшник виявився кращим попередником ніж озимі зернові (озима пшениця), в той час як на торфових ґрунтах вищу урожайність сої було одержано після зернового попередника – озиме тритікале. Найкращим попередником для сої на обох типах ґрунтів була кукурудза на зерно, після якої урожайність кукурудзи була вищою

на 21,7-22,6 % порівняно з монокультурою сої. Це підтверджує результати американських дослідників, де вказується, що кукурудза є найкращим попередником для сої. Зокрема в США найбільш поширеними є соєво-кукурудзяні сівозміни, які є осново рослинницької галузі.

Список використаних джерел

1. Андрієнко А.Л., Семеняка І.М., Андрієнко О.О. Вплив попередників і обробітку грунту на вихід протеїну з посівів сої. Вісник аграрної науки. 2025. № 9. С. 41-53. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202509-05.

2. Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур: підручник. – 5-те вид., виправлене, доповнене. – Львів.: НВФ: Українські технології, 2020. 806 с.

3. Тараріко Ю.О, Писаренко П.В, Зосимчук М.Д, Сайдак Р.В, Сорока Ю.В, Лелявська Л.В. Культури лісостепової зони на осушуваних ґрунтах Західного Полісся. *Вісник аграрної науки.* 2025. №4. С. 15–24. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202504-02.

4. Тараріко Ю.О., Зосимчук М.Д., Стецюк М.Г., Лукашук В.П., Сорока Ю.В. Перспективи вирощування сої в зоні Західного Полісся. Меліорація і водне господарство. (2) 36-44. https://doi.org/10.31073/mivg202202.

УДК 631.5:633.15

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ В ПОСУШЛИВИХ УМОВАХ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ 2026 р.

Олександр ВЛАСЕНКО [1], Федір МЕЛЬНИЧУК [2], Андрій ШАТКОВСЬКИЙ [3]
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
[1] vlasenko.o.ph.d@ukr.net, [2] melnichukf@ukr.net, [3] andriy-1804@ukr.net

Abstract. *The study examined the effect of plant density and fertilization on corn yield under the conditions of the 2026 soil drought in the Polissya region of Ukraine. The results of the study indicate that it was the "plant density" factor, rather than supplemental phosphorus and potassium fertilization, that was the determining factor in maize yield under soil drought conditions. It was found that increasing plant density from 45,000 to 72,000 plants/ha had a negative effect on parameters such as the number of rows per ear, the number of kernels per row, and the weight of a single ear.*

За останні 10-15 років сільськогосподарське виробництво України переорієнтувалось на вирощування найбільш рентабельних та високоліквідних культур, зокрема кукурудзи, посівні площі під якої залишаються стабільно значними і у 2026 р. становили понад 4,37 млн га [1]. Закономірно, що вищий рівень врожайності за вирощування кукурудзи аграрії отримують на зрошенні [2]. У незрошуваних умовах на перший план виходять так звані адаптаційні заходи, а саме: підбір посухостійких гібридів, густоти рослин, режим живлення та ін. [3]. У зв'язку з стійкими і постійно прогресуючими кліматичними змінами,

ґрунтові та атмосферні посухи почастішали і у зоні Українського Полісся [4, 5, 6]. Тому питання адаптації і вирощування зернової кукурудзи в цих умовах є вкрай актуальним.

Польові експериментальні дослідження проводили у 2026 р. в межах землекористування «ТОВ Харвест – Полісся» Чернігівської області, Чернігівського району. Трьох факторний польовий дослід «Оптимізація агротехнології вирощування кукурудзи залежно від густоти рослин та удобрення реалізовано у виробничих умовах за класичною методикою [7]. Було досліджено 2 гібриди (СИ Феномен, ФАО 220 і СИ Фортаго, ФАО 260), три варіанти густоти рослин (45; 57; 72; тис./га) та три варіанти додаткового підживлення (добривом БРЕНДТ Реакшн Фосфор ДС 12-58-0, 3 кг/га; БРЕНДТ Реакшн Фосфор ДС 12 - 58-0, 3 кг/га + Реакшн Калій ДС 5-0-48+8S, 1 кг/га і БРЕНДТ Реакшн Фосфор ДС 12-58-0, 3 кг/га + Реакшн Калій ДС 5-0-48+8S, 2 кг/га) + контроль без підживлення.. Посів провели 16 травня 2026 р.

Агрохімічний аналіз ґрунту (Sample 9) показав, що це дуже слабкий за родючістю ґрунт із критично низьким потенціалом, який потребує інтенсивної системи удобрення та відновлення. Основною проблемою є вкрай низький вміст органічної речовини — лише 0,8%, що свідчить про деградований стан ґрунту, низьку біологічну активність, слабку структуру та практично відсутній запас доступного азоту.

Загальна кількість продуктивних опадів протягом травня-серпня 2026 р. була низькою – лише 215 мм за кліматичної норми 272 мм (≈ 79 % від норми). Цей фактор був у мінімумі і визначав рівень продуктивності культутри в умовах 2026 року.

25 серпня 2026 р. було проведено облік озерненості качанів та вимірювання біометричних параметрів рослин кукурудзи (таблиця).

Таблиця. Озерненість качанів та біометричні параметри рослин кукурудзи гібриду СИ Феномен, ФАО 220 залежно від густоти та підживлення

Варіанти	**Норма висіву, *тис. насінин на га***	**Кількість рядів у качані, *шт.***	**Кількість зерен у ряді, *шт.***	**Маса качана, *г***
Контроль	57	16	32±0,2	191±2,3
Р3К0	45	18	34±0,1	264±1,9
Р3К1	57	16	32±0,1	222±1,6
Р3К3	72	14	28±0,1	178±1,6

Результати дослідження свідчать, що саме фактор «густота рослин», а не додаткове підживлення фосфором і калієм був визначальним у формуванні продуктивності кукурудзи в умовах ґрунтової посухи. Збільшення густоти з 45 до 72 тис. рослин/га негативно впливало на такі параметри, як кількість рядів у качані, кількість зерен у ряді та масу 1 качана.

Список використаних джерел:

1. Посівні площі сільськогосподарських культур за їх видами у 2020 році. Державна служба статистики України: веб-сайт. URL : http://www.ukrstat.gov.ua/ (дата звернення 25.09.2026).

2. Фомічов М.В. Зрошення як чинник підвищення ефективності вирощування сільськогосподарських культур в Україні. Економіка та держава. 2019. № 4. С. 92-96. DOI: 10.32702/2306-6806.2019.4.92

3. Ромащенко М.І., Шатковський А.П., Рябков С.В. Краплинне зрошення овочевих культур і картоплі в умовах Степу України. Київ: Видавництво «ДІА», 2012. 248 с.

4. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Гнатюк Н.В. Шпиталь Т.М. Проекції приземної темпера тури та відносної вологості повітря в областях України до середини XXI ст. за даними ансамблів регіональних кліматичних моделей. *Геоінформатика*. 2018. № 3(67).

5. Хохлов В., Замфірова М. Зміна режиму опадів на території України в умовах кліматичних змін. InterConf, (32). Scientific Collection «InterConf» : (October 16-18, 2020) https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/5086

6. М.І. Ромащенко, А.П. Шатковський, О.В. Журавльов, В.В. Васюта, Ю.О.Черевичний, Ф.С. Мельничук, Л.О. Семенко, І.О. Коваленко. Овочівництво в умовах змін клімату: нові виклики, проблеми, можливості…Овочі та фрукти. 2020. № 06 (127). С. 39-43.

7. Ушкаренко В.О., Вожегова Р.А., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Методика польового досліду (зрошуване землеробство). Херсон : Грінь Д.С., 2014. 448 с.

УДК 632:633.1:631.5

МЕТОД ПЛР-СКРИНІНГУ РАННІХ СТАДІЙ ГРИБКОВИХ ЗАХВОРЮВАНЬ В АГРОЦЕНОЗАХ ЗЕРНОВИХ КОЛОСОВИХ КУЛЬТУР ЯК ПЕРЕДУМОВА ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ

Олександр ЖУЙКОВ [1], Михайло РЕТЬМАН [2], Терентій ЖУЙКОВ [3]
[1, 2] Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна,
[3] Херсонський державний аграрно-економічний університет, Кропивницький, Україна
[1] docent6977@gmail.com, [2] retman_m.s@ukr.net, [3] zujkovterentij@gmail.com

Abstract. *The list of the most damaging fungal pathogens affecting domestic winter and spring cereal agrocenoses is presented. The abiotic environmental factors promoting their epiphytotic development are identified; furthermore, the comparative effectiveness of classical, promising, and innovative methods for diagnosing crop colonization by phytopathogens during spring ontogenetic stages is analyzed in terms of representativeness, accuracy, speed of results, detection spectrum, technical feasibility and cost. Additionally, the advantages of methods for the earliest possible detection of latent forms and stages of fungal infections in cereal crops – such as PCR testing were analyzed, and the prospects for their application as a significant tool for making modern agriculture more eco-friendly and substantially reducing the pesticide load on modern agro-ecosystems were outlined.*

Сучасний агроном, навіть за умови високого рівня його фаховості і практичних навичок, рано чи пізно стикається із проблемою ідентифікації та діагностування патогенних проявів на культурних рослинах, особливо за неочевидної картини патогенезу, на надранніх стадіях розвитку збудника або ж за латентного характеру перебігу захворювання. Очевидним є той факт, що використання класичних, усталених і «перевірених часом» діагностичних методів, котрі базуються на здебільшого візуальному сприйнятті загальної картини, апріорі буде поступатися за всім комплексом характеристик, окрім, хіба що вартісної (хоча і це питання дискусійне, приймаючи до уваги «ціну помилки» в такому випадку) інноваційним методикам виявлення «слідів проблеми» на рівні ДНК і навіть окремих її ланок білкового тіла патогена. Вже сьогодні ми можемо констатувати, що технології, сферою застосування яких донедавна були майже виключно генна інженерія, медицина та криміналістична наука, починають все ширше застосовуватися і в агрономічній практиці, переводячи процес вирощування сільськогосподарської продукції на якісно вищий технологічний і, що найголовніше, екологічний рівень [1].

Аналіз розповсюдженості та ступеня ураженості культурних рослин фітопатогенами у вітчизняних сівозмінах свідчить, що найбільш «проблемними» для групи зернових колосових злаків є борошниста роса, снігова пліснява, тифульоз, бура та жовта іржа, летюча та тверда сажка, септоріоз, фузаріоз колосу та кореневі гнилі. Рівню шкодочинності зазначених хвороб притаманний дискретний характер за роками спостережень, і більшою мірою він зумовлений саме агрокліматичними умовами конкретного агрономічного сезону (насамперед, ГТК), стану перезимівлі озимого клину, агрофону конкретного поля і генетично-сортових особливостей культури. Практика свідчить, що в більшості випадків агроном має справу з комплексним характером ураження зернового масиву, коли водночас культура стикається із зараженням декількома збудниками, а у випадку озимих злаків «критичним періодом» є саме час відновлення весняної вегетації, коли рослини, по-перше, об'єктивно знаходяться у пригніченому стані після періоду спокою, а, по-друге, систематично зазнавали негативного впливу несприятливих чинників перезимівлі (як-от, «температурна гойдалка», випрівання, вимерзання, вимокання, крижана кірка, підсихання тощо) . Цілком закономірно, що в такому послабленому стані рослинний організм має знижені толерантні характеристики по відношенню до патогенів, яких ми за звичкою об'єднуємо в групу кореневих гнилей. Від вчасної і точної діагностики даних захворювань напряму залежить сценарій і, найголовніше, ефективність задіяних контрзаходів побудови правильних та ефективних систем захисту, проте зробити це зовсім не просто. Проблема в тому, що дана група хвороб поєднує в собі, як мінімум, шість патологій із вкрай схожою симптоматикою і не очевидною різницею зовнішніх проявів: фузаріозна і гельмінтоспоріозна коренева гниль (гриби роду *Fusarium* та *Bipolaris sorokiniana*), знову ж фузаріоз, але у формі побуріння основи колоса, церкоспорельоз (*Helgardia herpotrichoides* та *Helgardia acuformis*), офіобольоз (*Gaeumannomyces graminis* та *Olivier var. tritici*) і, нарешті, ризоктоніоз (*Rhizoctonia cerealis*) [1]. Донедавна, в польових умовах діагностування хвороб, спричинених вищеназваними збудниками,

відбувалося або ж досвідченими агрономами за комплексом візуальних ознак, або ж в умовах лабораторії шляхом вивчення морфологічних ознак спор чи інших ознак під мікроскопом, або ж культивуванням колоній збудника на штучному поживному середовищі з тією ж подальшою мікроскопією. Метод тривалий, нетехнологічний і, треба визнати, не точний, оскільки морфологія спор і грибниці у представників споріднених таксонів нерідко майже тотожна і часто характеризується поліморфізмом навіть у межах одного таксону під впливом факторів середовища. Додатково приймаючи до уваги можливість комплексного ураження культури декількома видами фітопатогенів і неочевидну картину в полі зору окуляру мікроскопу, абсолютно логічним і закономірним є застосування альтернативних і більш дискретних методів діагностики, які б зводили вірогідність помилки до мінімуму. Класичні і традиційні методи фітопатологічної експертизи все частіше поступаються новітнім молекулярно-генетичним способам і прийомам ідентифікації збудників хвороб культурних рослин через нездатність відповідати зростаючим вимогам до точності і оперативності отримання результатів.

Найпростішим і архаїчним є метод ідентифікації патогена за зовнішніми симптомами прояву захворювання на ураженій рослині культури, котрий не враховує ту особливість, що абсолютно ідентичні пошкодження можуть бути результатом шкодочинного впливу абсолютно різних патогенів. Проте проблема в тому, що одні й ті ж самі пошкодження рослини-господаря можуть викликати зовсім різні мікроорганізми, які відрізняються різною стійкістю до фунгіцидів, шкодочинністю та іншими характеристиками. Так, наприклад, такі листкові форми хвороб пшениці озимої (плямистості), як септоріоз листя (збудник *Mycosphaerella graminicola*), септоріоз колосу (*Phaeosphaeria nodorum*) і жовта плямистість (Pyrenophora tritici-repentis) «вживу» і в атласі хвороб виглядають майже тотожно. До того ж, абсолютно не всі захворювання мають візуальні ознаки прояву негайно після зараження рослини-господаря. Окремі латентні (приховані) інфекції (насамперед, вірусні) невидимі впродовж всього онтогенезу культури, або ж проявляються вже на його фінальних етапах: летюча сажка пшениці і ячменю (*Ustilago nuda*) діагностується візуально аж на момент фази колосіння, коли виправити ситуацію вже не реально [1].

Інший, більш технологічний, проте не ідеальний у фітопатології метод дослідження збудника – виділення його в чисту культуру з подальшим вирощуванням на штучному живильному середовищі до стадії, на якій патоген найлегше ідентифікується під мікроскопом (здебільшого, це спороутворення). Проте, далеко не всі патогенні грибки так просто вирощуються в чашці Петрі, оскільки одні з них вимагають наявності виключно живих рослинних тканин культури-господаря, інші потребують певних сполук-регуляторів росту, які також продукуються с.-г. культурою, а є й такі, що безпроблемно культивуються на штучному середовищі, проте починають спороносити аж на 30-35 добу, коли розробка і реалізація заходів контролю їх шкодочинності вже жодним чином не компенсує втрат врожайності і якості продукції, спричинених захворюванням. В окремих випадках, як із ідентифікацією більшості мікроміцетів, вирішення завдання ускладнюється не стільки схожістю морфологічних ознак різних видів,

як, насамперед, істотністю внутрішньовидової варіативності зовнішніх показників, зумовленою комплексним впливом абіотичних і біотичних факторів екоценозу. Іноді, незважаючи на зовнішню схожість, збудники суттєво різняться за рівнем шкодочинності, токсичності продуктів метаболізму, патогенною спеціалізацією, алгоритмами взаємовідносин із рослиною-господарем, рівнем толерантності чи імунністю до фунгіцидних сполук. Прикладом може бути лабораторне визначення різних видів роду *Alternaria* (*Alternaria longipes, Alternaria godetiae* та *Alternaria alternata*) на стадії конідій, коли за порівняння тільки їх форми однозначний і безпомилковий висновок без урахування способу, динаміки та інтенсивності їх утворення, взаємного розташування, характеру сегментування вкрай утруднений [1].

Тому цілком закономірно на допомогу прогресивному агроному приходять інноваційні молекулярно-біологічні технології діагностики патогенів, які за останні двадцять років були істотно вдосконалені, особливо в аспектах трудомісткості і тривалості проведення. Слід згадати, що дані методи істотно еволюціонували від тих, що тривали дні, а в деяких випадках – тижні й навіть місяці (застосування рослин-індикаторів для ідентифікації вірусних інфекцій, спеціальних штучних середовищ при визначенні збудників бактеріозів) до надсучасних методик високоефективного скринінгу фітопатогенів, що базуються на ефекті полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР). Відносна простота, надвисока чутливість і специфічність, прекрасна відтворюваність і презентативність результатів аналізу миттєво перетворили його на один із найперспективніших діагностичних методів. На відміну від традиційних (візуальних і серологічних) методик, результатами яких є лише опосередковане свідчення присутності інфекції в рослинному організмі (наприклад, на основі присутності специфічних антигенів білкової природи), використання методу ПЛР-тестів безпосередньо доводить присутність в лабораторному зразку збудника інфекції шляхом специфічної ідентифікації унікальної послідовності нуклеотидів в ланцюгу ДНК або навіть РНК, які притаманні конкретному патогену. До того ж, метод ПЛР через свою надвисоку чутливість здатен «побачити» окремі фрагментарні копії геномів збудника на таких надранніх стадіях його розвитку, що є абсолютно недосяжними для імунологічного, бактеріологічного чи мікроскопічного методів. ПЛР-тестування є безальтернативним у випадку ідентифікації патогенів, що важко культивуються, взагалі не культивуються, або ж латентно існуючих форм мікроорганізмів, до того ж, завдяки використанню методу ПЛР реально скоротити час аналізу зразка з 10–14 днів за класичної лабораторної експертизи до 2 робочих днів [1]. Природно, що як і будь-який інший, метод ПЛР має і ряд недоліків, до яких слід віднести істотну балансову вартість лабораторного обладнання, високі фахові вимоги до лабораторного персоналу. Проте, він є безальтернативним, якщо в пріоритеті – максимально оперативне визначення етіології симптомів захворювання, особливо коли вони майже не вирізняються від фізіологічного прояву стресу культури, спричиненого агрокліматичними чинниками, незбалансованим мінеральним живленням фітотоксичністю застосованих ЗХЗР, що дає впевненість в очікуваному врожаї.

Список використаних джерел.

1. Ранньовесняна діагностика фітопатогенів польових культур молекулярними методами. Журнал «Агроном». 2020. 28 лют. URL: https://www.agronom.com.ua/rannovesnyana-diagnostyka-fitopatogeniv-polovyh-kultur-molekulyarnymy-metodamy/ (дата звернення: 16.09.2026).

УДК 633.34:631.847.211:631.559

ОБҐРУНТОВАНИЙ ДОБІР МІКРОБНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ СОРТІВ СОЇ В УМОВАХ ПІВДЕННОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

Олександр УГРІН [1], Ірина БІДНИНА [2]
[1,2] Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, Одеса, Україна
[2] Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
irinabidnina@ukr.net

Abstract. *The cultivar-specific effectiveness of pre-sowing soybean inoculation was evaluated by considering both the main effect of inoculation and the cultivar × inoculation interaction. Field experiments with the Sofia and Monark cultivars were conducted during 2023–2025. Two-way analysis of variance showed that all tested inoculation treatments significantly increased the yield of Sofia compared with the uninoculated control, whereas for Monark, a significant yield increase was observed only with the RhizobinK +* Bacillus velezensis *IMV B-8134 combination. Under this treatment, yields reached 3.73 and 2.50 t ha^{-1} for Sofia and Monark, respectively, exceeding the corresponding controls by 21.1 and 22.0%. These findings demonstrate the need to select microbial compositions with consideration of cultivar-specific soybean responses.*

Передпосівна інокуляція насіння сої є одним із найбільш доступних прийомів біологізації технології вирощування культури. У науковій літературі ефективність коінокуляції пов’язують із сумарною дією симбіотичних і асоціативних мікроорганізмів, здатних впливати на азотне живлення, розвиток кореневої системи та реалізацію продуктивного потенціалу рослин [1–4]. Водночас практичне рішення щодо вибору мікробної композиції не повинно ґрунтуватися лише на найвищому середньому значенні урожайності. За наявності різної реакції генотипів принципового значення набуває статистичне розмежування загального ефекту інокуляції та взаємодії «сорт × інокуляція».

Метою дослідження було оцінити ефективність передпосівної інокуляції сої з урахуванням головного ефекту інокуляції та взаємодії «сорт × інокуляція» і обґрунтувати добір мікробних композицій відповідно до сортоспецифічної реакції рослин.

Польові дослідження проводили упродовж 2023–2025 рр. в умовах півдня України на темно-каштановому ґрунті дослідного поля Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН за умов краплинного зрошення. Двофакторна схема досліду включала сорти сої Софія і Монарх (фактор А) та п’ять варіантів передпосівної обробки насіння (фактор В): контроль без інокуляції; РизобінК; РизобінК + *Bacillus velezensis* ІМВ В-8134; РизобінК +

Pseudomonas sp. 6; РизобінК + *Bacillus megaterium* УКМ В-5724. Урожайність оцінювали за середніми даними трьох років. Статистичну обробку виконували методом двофакторного дисперсійного аналізу. $НІР_{0,05}$ становила 0,21 т/га для фактора А, 0,16 т/га – для фактора В і 0,27 т/га – для взаємодії А×В.

За середніми даними 2023–2025 рр. сорти істотно відрізнялися за рівнем продуктивності. За всіма варіантами інокуляції усереднена урожайність сої сорту Софія становила 3,45 т/га, сорту Монарх – 2,25 т/га. Різниця між сортами – 1,20 т/га, що у 5,7 раза перевищувала $НІР_{0,05}$ для фактора А. Отже, генотип визначав базовий рівень продуктивності, а ефективність окремих способів інокуляції необхідно оцінювати на фоні цієї сортової різниці.

У сорту сої Софія контрольна урожайність становила 3,08 т/га. Застосування РизобінуК підвищувало її до 3,47 т/га, тобто на 0,39 т/га, або 12,7 %. За композиції РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134 урожайність становила 3,73 т/га, що перевищувало контроль на 0,65 т/га, або 21,1 %. За поєднання РизобінуК з *Pseudomonas sp.* 6 та *B. megaterium* УКМ В-5724 урожайність становила відповідно 3,47 і 3,49 т/га, а прирости порівняно з контролем склали відповідно 0,39 і 0,41 т/га. Усі встановлені різниці між інокульованими варіантами та контролем перевищували $НІР_{0,05}$ для порівняння середніх у межах взаємодії факторів А×В (0,27 т/га), що підтверджує істотне підвищення урожайності сорту Софія за кожного з досліджуваних варіантів інокуляції.

У сорту сої Монарх урожайність у контрольному варіанті становила 2,05 т/га. Застосування РизобінуК забезпечувало одержання урожайності на рівні 2,19 т/га, композиції РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134 – 2,50 т/га, РизобінК + *Pseudomonas sp.* 6 – 2,27 т/га, РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724 – 2,24 т/га. Прирости порівняно з контролем становили відповідно 0,14; 0,45; 0,22 і 0,19 т/га. У межах взаємодії факторів А×В лише різниця 0,45 т/га, одержана за застосування композиції РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134, перевищувала $НІР_{0,05}$ (0,27 т/га). Отже, за середніми даними 2023–2025 рр. лише цей варіант забезпечував статистично істотне підвищення урожайності сорту Монарх порівняно з контролем.

Інша картина формується під час аналізу головного ефекту фактора В, коли дані двох сортів усереднюють. Середня урожайність становила 2,57 т/га на контролі, 2,83 т/га за РизобінК, 3,12 т/га за використання композиції з *B. velezensis* та по 2,87 т/га – за композицій із *Pseudomonas sp.* 6 і *B. megaterium*. Кожний інокульований варіант перевищував контроль більше ніж на $НІР_{0,05}$ фактора В (0,16 т/га). Максимальний загальний ефект отримано за використання композиції з *B. velezensis* – 0,55 т/га, або 21,4 % у середньому за двома сортами.

Порівняння головного ефекту фактора В та взаємодії А×В засвідчило, що оцінка ефективності інокуляції залежить від рівня узагальнення даних. За усереднення результатів по сортах усі інокульовані варіанти забезпечували статистично істотне підвищення урожайності сої порівняно з контролем. Водночас у межах взаємодії А×В для сорту Монарх статистично істотний приріст урожайності встановлено лише за застосування композиції РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134, тоді як ефекти РизобінуК, композицій із *Pseudomonas sp.* 6 та *B. megaterium* УКМ В-5724 не перевищували $НІР_{0,05}$ для

взаємодії факторів. Отже, оцінювання ефективності мікробних композицій доцільно проводити з урахуванням не лише їх головного ефекту, а й сортоспецифічної реакції.

Найбільш обґрунтованим за сукупністю показників був варіант РизобінК + B. *velezensis* IMB B-8134. Він формував найвищу трирічну середню урожайність у обох сортів і забезпечував приріст, статистично підтверджений на рівні взаємодії «сорт × інокуляція»: 0,65 т/га у сої сорту Софія та 0,45 т/га – у сорту Монарх. Водночас результати не дають підстав розглядати однакову ефективність усіх мікробних композицій як універсальну властивість технології. Для виробничого добору доцільно враховувати не лише середній ефект препарату, а й сортову реакцію та статистичну істотність конкретного поєднання.

Таким чином, двофакторний аналіз трирічних даних дозволив уточнити критерії добору мікробних композицій для сої. Для сорту Софія статистично підтверджено позитивну реакцію на всі досліджувані способи інокуляції, тоді як для сорту Монарх за взаємодією А×В достовірну перевагу забезпечила лише композиція РизобінК + *B. velezensis* IMB B-8134.

Список використаних джерел

1. Zeffa D. M., Fantin L. H., Koltun A., de Oliveira A. L. M., Nunes M. P. B. A., Canteri M. G., Gonçalves L. S. A. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on co-inoculation with *Bradyrhizobium* in soybean crop: a meta-analysis of studies from 1987 to 2018. *PeerJ*. 2020. Vol. 8. Art. e7905. DOI: 10.7717/peerj.7905. https://doi.org/10.7717/peerj.7905

2. Dubynska O., Iutynska H., Goloborodko S., Tytova L. Effectiveness of endophytic-rhizobial seed inoculation of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivated in irrigated soil. *Journal of Central European Agriculture*. 2022. Vol. 23, № 1. P. 40–53. DOI: 10.5513/JCEA01/23.1.3397. https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.1.3397

3. Win K. T., Tanaka F., Minamisawa K., Imaizumi-Anraku H. Growth and Yield Dynamics in Three Japanese Soybean Cultivars with Plant Growth-Promoting *Pseudomonas* spp. and *Bradyrhizobium ottawaense* Co-Inoculation. *Microorganisms*. 2024. Vol. 12, № 7. Art. 1478. DOI: 10.3390/microorganisms12071478. https://doi.org/10.3390/microorganisms12071478

4. Sibponkrung S., Kondo T., Tanaka K., Tittabutr P., Boonkerd N., Yoshida K.-I., Teaumroong N. Co-Inoculation of *Bacillus velezensis* Strain S141 and *Bradyrhizobium* Strains Promotes Nodule Growth and Nitrogen Fixation. *Microorganisms*. 2020. Vol. 8, № 5. Art. 678. DOI: 10.3390/microorganisms8050678. https://doi.org/10.3390/microorganisms8050678

УДК 635.342:631.674.6:631.461.5

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВНЕСЕННЯ AZOTOBACTER CHROOCOCCUM 2.1 З ПОЛИВНОЮ ВОДОЮ ЗА ВИРОЩУВАННЯ КАПУСТИ БІЛОГОЛОВОЇ

Олександр ХУДЕНКО[1], Сергій КОЗАР [1,2]
[1] Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, Чернігів, Україна
[2] Національний університет «Чернігівська політехніка», Чернігів, Україна
olexandrkhudenko@gmail.com

Abstract. *The efficiency of applying Azotobacter chroococcum 2.1 with irrigation water through a drip system was studied on white cabbage in a field trial (2025, Vinnytsia region). Six F_1 hybrids were grown at three fertilization levels with and without inoculation; all variants received the same irrigation volume (1260 m^3/ha). Inoculation increased yield by 1.50, 3.52 and 4.97 t/ha at the unfertilized, medium and high levels (3.33 t/ha on average), i.e. by about 2.6 kg per m^3 of irrigation water. The largest gains (20.2–22.7 %) were obtained in hybrids Professor and Storidor at the high fertilization level.*

Краплинне зрошення з фертигацією дає змогу подавати поживні речовини безпосередньо в кореневу зону разом із поливною водою. Результативність удобрення капусти білоголової залежить від поєднання способу внесення добрив і режиму зрошення [1]. Тому актуальним є пошук додаткових засобів підвищення продуктивності культури за краплинного зрошення. Одним із них може бути внесення з поливною водою діазотрофів роду *Azotobacter*, які фіксують атмосферний азот і покращують живлення рослин [2]. Дані щодо ефективності такого внесення *A. chroococcum* через краплинну систему за вирощування капусти білоголової обмежені.

Мета досліджень – оцінити ефективність внесення штаму *A. chroococcum* 2.1 (IMB B-7836) з поливною водою за краплинного зрошення капусти білоголової.

Польовий дослід проведено у 2025 р. у Вінницькій області (с. Мурафа) на чорноземі типовому малогумусному пилувато-суглинковому (гумус 3,5 %, pH_{KCl} 5,4). Вегетаційний період (травень–жовтень) був теплішим за норму (+17,9 °C, на 1,4 °C вище) із дефіцитом вологи (опади 319 мм, 87 % норми), зокрема в червні–липні. Схема досліду: 6 гібридів F_1 (Тайсон, Кеплер, Саксесор, Сапфір, Професор, Сторідор) × 3 фони мінерального живлення (без добрив; $N_{35}P_{15}K_{10}Mg_{1,5}Ca_{25}S_{1,2}$; $N_{70}P_{30}K_{20}Mg_3Ca_{50}S_{2,5}$) × 2 варіанти (без інокуляції та з інокуляцією); повторність чотириразова, облікова площа ділянки – 100 $м^2$. Кожна ділянка мала окремий поливний контур краплинної системи (74 074 крапельниць/га, 1 л/год), а контрольні й інокульовані варіанти отримували однаковий обсяг води – 1260 $м^3$/га за вегетацію.

Використано запатентований штам *Azotobacter chroococcum* 2.1 (IMB B - 7836) [3]. Культуральну рідину штаму (10^9 КУО/мл) розводили водою 1:10 і вносили з поливною водою через інжектор Вентурі (1,5–2,0 атм) тричі за вегетацію – у фази 4–5, 6–8 та 8–10 справжніх листків – по 1 л/га за одне внесення. Кожне внесення включало попереднє зволоження ліній чистою водою (2–3 хв), подавання концентрату та завершальне промивання ліній. Розрахункова концентрація клітин

у поливній воді становила від $3{,}1 \cdot 10^4$ до $1{,}0 \cdot 10^5$ КУО/мл, тривалість контакту з водою – 8–26 хв залежно від фази й фону. У лабораторному тесті життєздатність штаму зберігалася за концентрації комплексного добрива в робочому розчині до 0,2 %, а за 0,3 % і вище різко знижувалася. Урожайність визначали суцільним обліком усіх головок з облікової площі з перерахунком на т/га (густота 40 тис. рослин/га); дані опрацьовано трифакторним дисперсійним аналізом ($НІР_{0,05}$).

Внесення *A. chroococcum* 2.1 з поливною водою достовірно підвищувало врожайність на всіх фонах живлення: на 1,50 т/га без добрив, 3,52 т/га на помірному та 4,97 т/га на підвищеному фоні (табл. 1), у середньому на 3,33 т/га (з 46,9 до 50,2 т/га, або на 7,1 %; $НІР_{0,05}$ для інокуляції – 0,63 т/га). Реакція залежала від гібрида й фону: приріст, більший за $НІР_{0,05}$ (2,69 т/га) для взаємодії гібрид × фон × інокуляція, одержано у 7 із 18 поєднань. Найбільшим він був у гібридів Сторідор і Професор на підвищеному фоні – 12,96 і 10,92 т/га (22,7 і 20,2 %); найвищу врожайність в усіх умовах формували Сторідор (59,3 т/га) і Професор (54,0 т/га).

Таблиця 1. Врожайність капусти білоголової залежно від фону живлення та інокуляції *A. chroococcum* 2.1, т/га

Гібрид F_1	Без добрив		Помірний фон		Підвищений фон	
	контроль	інокуляція	контроль	інокуляція	контроль	інокуляція
Тайсон	39,12	40,11	40,16	43,26*	41,26	43,12
Кеплер	38,14	39,16	39,24	40,13	40,12	42,17
Саксесор	47,21	48,12	48,11	49,17	49,14	50,20
Сапфір	46,13	49,15*	47,20	50,22*	48,19	49,17
Професор	48,17	50,22	51,22	55,26*	54,19	65,11*
Сторідор	53,13	54,14	56,12	65,15*	57,15	70,11*
Середнє	**45,32**	**46,82***	**47,01**	**50,53***	**48,34**	**53,31***

* Приріст від інокуляції перевищує $НІР_{0,05}$: для гібридів – 2,69 т/га, для середніх – 0,63 т/га.

За однакового обсягу поливної води (1260 м^3/га) це відповідає зростанню умовної продуктивності поливної води (відношення врожайності до обсягу поливу) з 37,2 до 39,9 кг/м^3, тобто на 2,6 кг/м^3; на підвищеному фоні приріст становив 4,0 кг/м^3, на помірному – 2,8, без добрив – 1,2 кг/м^3. Цей показник розраховано без урахування опадів і випаровування: водний баланс у досліді не вивчали.

Інокуляція також збільшувала масу головки (з 1,16 до 1,25 кг), її щільність (з 0,83 до 0,85 г/см^3) та вихід товарної продукції (з 86,0 до 87,2 %). Чисельність бактерій, що ростуть на безазотному середовищі Ешбі, у ризосфері була вищою після інокуляції в усіх 18 поєднаннях гібрида й фону, а частка ґрунтових грудочок з обростанням азотобактером сягала 100 %, що узгоджується з потраплянням штаму в кореневу зону з поливною водою; азотфіксувальну активність напряму не вимірювали.

Отже, внесення *A. chroococcum* 2.1 з поливною водою за краплинного зрошення підвищувало врожайність капусти білоголової в середньому на 3,33 т/га за незмінного обсягу води, найбільше – у гібридів Сторідор і Професор на підвищеному фоні живлення.

Список використаних джерел

1. Šturm M., Kacjan-Maršić N., Zupanc V. et al. Effect of different fertilisation and irrigation practices on yield, nitrogen uptake and fertiliser use efficiency of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Scientia Horticulturae*. 2010. Vol. 125, no. 2. P. 103–109. URL: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.017

2. Aasfar A., Bargaz A., Yaakoubi K. et al. Nitrogen fixing *Azotobacter* species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in Microbiology*. 2021. Vol. 12. Art. 628379. URL: https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379

3. Білоконська О. М., Козар С. Ф. Штам бактерій *Azotobacter chroococcum* 2.1 (IMB B-7836) для одержання бактеріального добрива : пат. 141782 Україна : МПК C12N 1/02, C05F 11/08. № u 2019 10487 ; заявл. 21.10.2019 ; опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8.

УДК 634.7:631.67

УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМ РЕЖИМОМ ЛОХИНИ ЩИТКОВОЇ ЗА КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ

Валерій КАРУНА [1], Андрій ШАТКОВСЬКИЙ [2]
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
[1] karuna@ukr.net, [2] andriy-1804@ukr.net

Abstract. *The study aimed to improve water regime management of young highbush blueberry (Vaccinium corymbosum* L.*) cv. Nelson under drip irrigation. Field experiments were conducted during 2024–2026 in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Irrigation scheduling based on the Penman–Monteith method (FAO-56) was compared with the automated Talgil system and a non-irrigated control. Soil moisture was monitored to a depth of 60 cm using LoRaWAN sensors. The Penman–Monteith approach provided the highest yields in all study years, exceeding Talgil by 5.8–18.5%. The results confirm the effectiveness of integrating evapotranspiration-based irrigation scheduling with continuous soil moisture monitoring.*

Вступ. Лохина щиткова (Vaccinium corymbosum L.) характеризується поверхневою мичкуватою кореневою системою, основна частина якої зосереджена у верхніх шарах ґрунту, що зумовлює високу чутливість культури до дефіциту вологи. За умов зростання температури повітря, нерівномірного розподілу атмосферних опадів та збільшення повторюваності посушливих періодів важливого значення набуває удосконалення управління краплинним зрошенням на основі фактичного водоспоживання рослин і оперативного контролю вологості ґрунту [1].

Мета роботи. Удосконалити управління водним режимом молодих насаджень лохини щиткової сорту Нельсон за краплинного зрошення шляхом порівняльної оцінки автоматизованої системи Talgil, розрахункового методу Penman–Monteith (FAO-56) та варіанта без зрошення.

Матеріали та методи. Дослідження проводили протягом 2024–2026 рр. у межах землекористування ТОВ «Віплант» (с. Вороньків, Бориспільський р-н, Київська обл.) у молодих насадженнях лохини щиткової сорту Нельсон, закладених восени 2023 р. Схема садіння становила 0,7 × 3,0 м, густота насадження – 4762 рослини/га. Дослід передбачав три варіанти управління зрошенням:

1 – управління зрошенням автоматизованою системою Talgil;
2 – управління зрошенням за методом Penman–Monteith (FAO-56);
3 – контроль без зрошення.

Еталонну евапотранспірацію ET_0 розраховували методом Penman–Monteith відповідно до FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 [2]. Метеорологічні дані автоматично отримували для координат дослідної ділянки через API сервісу Visual Crossing Weather та обробляли у розрахунковому модулі Microsoft Excel. Фактичну евапотранспірацію культури визначали як $ETc = Kc \times ET_0$ [3, 4].

Контроль вологості ґрунту здійснювали комплексом методів: механічними тензіометрами AquaTec на глибині 20 і 40 см, автоматизованими ґрунтовими зондами «Reakom RSMT», що вимірювали вологість і температуру ґрунту з кроком 10 см до глибини 60 см та передавали дані за протоколом LoRaWAN у

хмарний сервіс візуалізації Grafana, а також термостатно-ваговим методом. Щільність складення ґрунту визначали методом ріжучого кільця [5].

Результати та обговорення. Метеорологічні умови трьох років досліджень істотно відрізнялися. За травень–серпень 2024 р. випало 205,9 мм опадів, або 78,4 % кліматичної норми, а середня температура повітря становила 21,2 °С, або 115,2 % норми. У 2025 р. кількість опадів становила 241,0 мм (91,7 % норми), середня температура – 18,8 °С (102,2 %). Найбільший дефіцит опадів зафіксовано у 2026 р. – 189,4 мм, або 72,1 % норми, за середньої температури 19,6 °С (106,5 % кліматичної норми).

Розрахована за методом Penman–Monteith еталонна евапотранспірація ET_0 за травень–серпень становила відповідно 505,9; 451,4 і 493,6 мм у 2024, 2025 та 2026 рр., а ETc лохини – 268,1; 263,2 і 287,3 мм. Максимальні значення евапотранспірації переважно припадали на липень – період інтенсивного формування та достигання ягід.

Норма зрошення за методом Penman–Monteith становила 2684,7 м³/га у 2024 р., 2107,5 м³/га у 2025 р. та 2310,9 м³/га у 2026 р. За системою Talgil вона змінювалася в межах 1785,7–2071,4 м³/га. Таким чином, розрахунковий метод передбачав на 11,6–35,2 % більший обсяг подачі води, що пов’язано з превентивним поповненням розрахованого дефіциту водоспоживання рослин.

Наприкінці вегетаційного періоду запаси ґрунтової вологи у шарі 0–60 см за методом Penman–Monteith становили 1394, 1312 та 1329 м³/га відповідно у 2024–2026 рр., за Talgil – 1315, 1298 та 1304 м³/га, тоді як без зрошення вони знижувалися до 1083–1109 м³/га. Отже, обидва способи управління краплинним зрошенням забезпечували стабільніше підтримання водного режиму кореневмісного шару порівняно з незрошуваним варіантом.

Найвищу врожайність лохини в усі роки дослідження отримано за управління зрошенням методом Penman–Monteith: 1562,0 кг/га у 2024 р., 4999,3 кг/га у 2025 р. та 5928,9 кг/га у 2026 р. За використання системи Talgil урожайність становила відповідно 1317,7; 4723,6 та 5168,0 кг/га. Перевага методу Penman–Monteith становила 18,5; 5,8 та 14,7 % відповідно.

На варіанті без зрошення врожайність становила лише 611,4 кг/га у 2024 р., 272,4 кг/га у 2025 р. та 2181,9 кг/га у 2026 р., тобто була на 53,6–94,2 % меншою порівняно із системою Talgil. Це підтверджує, що загальна кількість атмосферних опадів сама по собі не забезпечує оптимального водного режиму лохини: визначальне значення має їх розподіл у часі та підтримання необхідної вологості безпосередньо в кореневмісному шарі ґрунту.

Таблиця 1. Урожайність молодих насаджень лохини щиткової за варіантами зрошення, 2024–2026 рр., кг/га

Рік	Talgil (1)	Penman-Monteith (2)		Без зрошення (3)	
	Урожайність, кг/га	Урожайність, кг/га	% до варіанту 1	Урожайність, кг/га	% до варіанту 1
2024	1317,7	1562,0	118,5	611,4	46,4
2025	4723,6	4999,3	105,8	272,4	5,8
2026	5168,0	5928,9	114,7	2181,9	42,2

Коефіцієнт водоспоживання за методом Penman–Monteith був найменшим у 2024 та 2026 рр. – відповідно 3127,1 та 754,4 м³/т, порівняно з 3246,2 та 815,1 м³/т за Talgil. У більш забезпеченому опадами 2025 р. найменше значення отримано за системою Talgil – 945,8 м³/т проти 959,6 м³/т за Penman–Monteith; різниця становила менше 1,5 %. Отримані результати свідчать, що збільшення норми зрошення не завжди забезпечує пропорційне підвищення врожайності, а ефективність використання води істотно залежить від метеорологічних умов конкретного року.

Висновки. За результатами трирічних досліджень установлено визначальну роль регульованого водозабезпечення у формуванні продуктивності молодих насаджень лохини щиткової сорту Нельсон. Управління зрошенням за методом Penman–Monteith забезпечило найвищу врожайність у всі роки дослідження, перевищивши варіант Talgil на 5,8–18,5 %. У 2024 та 2026 рр. цей варіант характеризувався також найменшим коефіцієнтом водоспоживання.

Поєднання розрахунку евапотранспірації за методом Penman–Monteith з автоматизованим отриманням метеорологічних даних та дистанційним контролем вологості ґрунту за допомогою датчиків дистанційного контролю вологості дає змогу оперативно коригувати режим краплинного зрошення відповідно до фактичних умов вегетаційного періоду. Такий підхід є перспективним для управління водним режимом промислових насаджень лохини щиткової в умовах Лівобережного Лісостепу України.

Список використаних джерела

1. Phillips D. A., Williamson J. G. Irrigation Practices for Southern Highbush Blueberry in Florida. EDIS. 2021. HS1432. DOI: 10.32473/edis-HS1432-2021.

2. Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: FAO, 1998. 300 p.

3. Zhuravlov O. V., Shatkovskyi A. P., Cherevychnyi Y. O., Shcherbatiuk M. V., Liubitskyi V. V. Assessment of the accuracy of meteorological data obtained from virtual and automatic weather stations for the conditions of Ukrainian Polissya. Land Reclamation and Water Management. 2024. No. 2 (120). P. 87–99. DOI: 10.31073/mivg202402-396.

4. Zhuravlov O. V., Shatkovskyi A. P., Scherbatiuk M. V., Liubitskyi V. V., Karuna V. V. Estimation of the accuracy of the calculation of reference and actual evapotranspiration based on virtual weather station data for Polissya region of Ukraine. Land Reclamation and Water Management. 2025. No. 1 (121). P. 79–88. DOI: 10.31073/mivg202501-411.

5. Zhang H., He L., Di Gioia F., Choi D., Elia A., Heinemann P. LoRaWAN based Internet of Things (IoT) system for precision irrigation in plasticulture fresh-market tomato. Smart Agricultural Technology. 2022. Vol. 2. 100053. DOI: 10.1016/j.atech.2022.100053.

УДК 631.5:633.15

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА НАСІННЯ В ЗРОШУВАНИХ УМОВАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Валерій ЛЮБІЦЬКИЙ [1], Андрій ШАТКОВСЬКИЙ [2]
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
[1] valeriiliubickyi@gmail.com, [2] andriy-1804@ukr.net

Abstract. *Various irrigation methods for growing corn for seed have been tested in the Polissya region of Ukraine. The effect of different plant densities on yield and efficiency was also studied. The economic efficiency of drip irrigation at a plant density of 90,000 plants per hectare has been demonstrated. Growing corn for seed without irrigation is not very efficient under these conditions.*

В умовах соціальних, кліматичних та економічних трансформацій агробізнес у найкоротші часові проміжки стикнувся з великою кількістю викликів. Обрати оптимальні шляхи адаптації та забезпечити ефективність агровиробництва в сучасних умовах господарювання вкрай складно. Важлива вчасна переорієнтація у бік переробки, вирощування високомаржинальних, нішевих культур, органічного землеробства, захищеного ґрунту, що вимагає від аграріїв інвестицій матеріальних засобів, людських ресурсів, часу, знань з метою мінімізації можливих ризиків.

Одним з таких напрямів є насінництво сільськогосподарських культур. Особливо значних об'ємів насіння Україна потребує за вирощування соняшнику, кукурудзи, озимих пшениці, ячменю та ріпаку, адже на цій культури припадає біля ¾ всіх посівів. Щодо зернової кукурудзи, то хоч площі під нею зменшились до 4,37 млн. га [1], все ж таки для 100 % забезпечення вітчизняних товаровиробників насінням гібридної кукурудзи першого покоління (F1) щорічно потрібно від 110 тис. т [2]. З іншого боку стабільне і стійке виробництво насіння є можливим лише в зрошуваних умовах [3, 4, 5].

З метою науково-практичного порівняння ефективності способів зрошення насіннєвих посівів кукурудзи Інститутом водних проблем і меліорації НААН у 2024-2026 рр. у межах землекористування ТОВ «Агрофірма Київська» (с. Маковище, Бучанський район, Київської області) було проведено польовий двох факторний дослід за схемою, яка включала вивчення краплинного зрошення з періодичним та імпульсним режимом водоподачі, підґрунтове краплинне зрошення і дощування. Фактором В були варіанти з різною густотою рослин, а саме – 70, 80 та 90 тис./га. Умовним контролем був варіант з природнім вологозабезпеченням. Ґрунтовий покрив дослідної ділянки: сірий опідзолений супіщаний ґрунт на лесовій породі, ущільнений (1,4-1,5 г/см^3) з НВ 20,3 % від маси абс. сухого ґрунту. Гібрид кукурудзи "Галатея", середньоранній з ФАО 260, оригінатор – ДУ «Інститут зернового господарства» НААН, батьківський компонент "DK 315 M стерильна", DK 239 MB. Посів кукурудзи проведено 22.05.2024, попередник – картопля.

Моніторинг метеопараметрів і динаміку вологозапасів ґрунту виконували за допомогою станції mMetos base, а також тензіометричних датчиків з механічними вакуумметрами [6].

Режими зрошення та евапотранспірація посівів залежала від способу зрошення та режиму водоподачі (табл. 1):

Таблиця 1. Параметри режимів зрошення та евапотранспірації насіннєвої кукурудзи залежно від способу зрошення і режиму водоподачі протягом 2026 року

Спосіб зрошення	**Режим водоподачі**	**Кількість поливів**	**Норма зрошення, м^3/га**	**Евапотранспірація (ЕТс), м^3/га**
Підґрунтове краплинне	Періодичний	12	2240	2240
Краплинне	Імпульсний	216	2490	2490
	Періодичний	15	2710	2710
Дощування	Періодичний	13	3380	3380
Контроль	–	–	–	2240

Як і в попередні роки варіант з імпульсним режимом водоподачі, який формував дифузний характер розподілу вологи, забезпечував оптимальні умови вологозабезпечення рослин кукурудзи, повітряний режим та знижував вторинне засолення ґрунту у прикореневій зоні.

За результатами активного експерименту 2025 року нами було обраховано основні економічні параметри агротехнології вирощування насіння кукурудзи за різних умов зрошування (таблиця 2).

Краплинне поверхневе і підґрунтове краплинне зрошення потребували вищих початкових інвестицій (501-529 тис.грн/га), проте ці ж варіанти забезпечили вищу врожайність насіння (6,34-6,89 тонн/га) кукурудзи. Умовно чистий прибуток (135,0 тис.грн/га), найменшу собівартість (75,4 тис.грн/тонна) та вищий рівень рентабельності агровиробництва (26,3 %) забезпечив варіант з густотою рослин 90 тис. шт./га на підґрунтовому краплинному зрошенні. Закономірно, що умовний контроль (без зрошення) показав найменші показники: умовно чистий прибуток лише 38,7 тис. грн/га, собівартість насіння – 106,8 тис.грн/тонну та рівень рентабельності – 10,8 %.

Таким чином, підтверджено високу ефективність вирощування насіння кукурудзи гібриду "Галатея" в зрошуваних умовах Українського Полісся.

Таблиця 2. Основні економічні параметри вирощування насіннєвої кукурудзи залежно від способів зрошення (густота рослин 90 тис./га)

Спосіб зрошення	**Режим водоподачі**	**Витрати, тис. грн/га**	**Урожайність, т/га**	**Валовий дохід, тис.грн/га***	**Умовно чистий прибуток, грн/га**	**Собівартість, тис.грн/т**	**Рівень виробничої рентабельності**
Краплинне зрошення	Імпульсний	529,0	6,89	656,0	127,0	76,8	24,0
	Періодичний	501,4	6,34	603,6	102,2	79,1	20,4
Підґрунтове зрошення	Періодичний	513,4	6,81	648,4	135,0	75,4	26,3
Дощування	Періодичний	416,9	5,12	487,5	70,6	81,4	16,9
Без зрошення	–	356,7	3,34	318,0	38,7	106,8	10,8

Список використаних джерел:

1. Посівні площі сільськогосподарських культур за їх видами у 2020 році. Державна служба статистики України: веб-сайт. URL : http://www.ukrstat.gov.ua/ (дата звернення 25.09.2026).

2. Корхова М., Карпенко М. Вирощування насіння кукурудзи в Південному Степу України. *Агробізнес сьогодні*. 2020. № 7. С. 47-50.

3. Коковіхін С.В., Біляєва І.М. Продуктивність та економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи залежно від способів поливу та захисту рослин в умовах Півдня України. *Наукові доповіді НУБіП*. 2017. № 4 (168). http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2017.04.013

4. Аверчев О.В., Іванів М.О., Лавриненко Ю.О. Індекси врожайності та ефективної продуктивності у гібридів кукурудзи різних груп ФАО за різних способів поливу та вологозабезпеченості в посушливому Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 114. С. 3-13. DOI https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.1

5. Дудка В.В. Зернові культури на краплинному зрошенні. *Пропозиція*. 2013. № 3-4 (213-214). С. 72-82.

6. Ромащенко В.М., Корюненко М.М., Муромцев М.І. Рекомендації з оперативного контролю та управління режимом зрошення сільськогосподарських культур із застосуванням тензіометричного методу. Київ: Ін-т водних проблем і меліорації, 2012. 56 с.

УДК 631.452:631.67:631.445.4(477.7)

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТЕМНО-КАШТАНОВОГО ҐРУНТУ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ЗРОШЕННЯ

Ірина БІДНИНА [1], Павло ЛИХОВИД [2], Валерій КОЗИРЄВ [3], Анатолій ТОМНИЦЬКИЙ [4], Надія ЯСІНСЬКА [5], Наталія КЛІМЧЕНКО [6]

[1,2] Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна,

[3,4] Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, Одеса, Україна,

[5] Національна академія аграрних наук України, Київ, Україна,

[6] Херсонський державний аграрно-економічний університет, Кропивницький, Україна

irinabidnina@ukr.net

Abstract. *The study examined the unequal recovery of dark-chestnut soil properties after the cessation of long-term irrigation. Data obtained after 45 years of irrigation and a subsequent 29-year post-irrigation period were compared with a rainfed reference. Humus content recovered to 96.2% of the reference level, whereas the Ca^{2+}/Na^{+} ratio reached only 70.4%; the structural coefficient and water-stable aggregates reached 92.8 and 88.9%, respectively. The results indicate that post-irrigation recovery should be assessed using cationic and structural indicators together with humus status, because individual soil properties recover at different rates.*

Тривале зрошення істотно впливає на властивості ґрунтів посушливих регіонів. Поряд із поліпшенням водозабезпечення воно змінює сольовий і катіонний режими, склад ґрунтового вбирного комплексу (ҐВК), структурно-агрегатний стан і щільність складення. За використання слабомінералізованої зрошувальної води ці зміни можуть накопичуватися протягом десятиліть і зберігатися після припинення поливів. Тому для оцінювання стану таких земель для обґрунтування можливості повторного введення тривалозрошуваних земель у зрошення необхідно визначати ступінь відновлення катіонного та структурно-агрофізичного стану ґрунту [1–4].

Метою дослідження було встановити відмінності у ступені післязрошувального відновлення гумусового, катіонного та структурно-агрофізичного стану темно-каштанового ґрунту після тривалого зрошення і визначити показники, які доцільно використовувати для оцінювання повноти його відновлення.

Інформаційну основу становили результати багаторічних стаціонарних досліджень і еколого-меліоративного моніторингу темно-каштанових ґрунтів південного регіону України в зоні дії Інгулецької зрошувальної системи. Для аналізу післязрошувального стану використано дані ділянок після 45-річного періоду зрошення та 29 років без поливів, які було закладено на дослідних полях Інститут землеробства південного регіону УААН, пізніше – Інституту зрошуваного землеробства НААН (нині це Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН). Показники зіставляли з незрошуваним аналогом, який використовували як референтний варіант. Оцінювали вміст гумусу, щільність складення, співвідношення Ca^{2+}/Na^{+}, структурний коефіцієнт і водостійкість агрегатів. Для характеристики попереднього стану ґрунту враховано результати досліджень після 31–38 років зрошення, а також дані щодо впливу кальцієвої меліорації на катіонний склад і сольовий режим.

За тривалого зрошення найбільш виразні зміни були пов’язані з перебудовою ҐВК і погіршенням агрофізичних властивостей. Після 31 року зрошення без добрив частка Ca^{2+} у складі обмінних катіонів становила 63,3% проти 70,8% у незрошуваному ґрунті, тоді як частка Na^{+} зростала з 1,5 до 3,5%. Одночасно щільність складення підвищувалася з 1,33 до 1,42 г/см^3, загальна пористість зменшувалася з 48,8 до 45,4%, а частка водостійких агрегатів – з 37,7 до 27,1%. Через 38 років зрошення різниця між варіантами дещо зменшувалася, однак зрошуваний ґрунт без добрив і надалі поступався незрошуваному аналогу: щільність складення була більшою на 0,06 г/см^3, а вміст водостійких агрегатів – меншим на 10,7 відсоткового пункти.

Систематичне внесення NPK частково послаблювало негативні зміни, однак не забезпечувало повного відтворення референтного катіонного та структурного стану. Після 38 років зрошення на удобреному фоні частка Ca^{2+} становила 73,4% проти 75,2% у незрошуваному варіанті, частка Na^{+} – 2,1 проти 1,5%, а вміст водостійких агрегатів – 37,1 проти 44,9%. Отже, поліпшення поживного режиму не усувало залишкової катіонно-структурної трансформації, сформованої тривалим надходженням солей і натрію з поливною водою.

Довготривалий ряд спостережень за 2001–2020 рр. показав, що зміни катіонного стану ґрунту не були прямим відображенням складу поливної води. Середня мінералізація води становила 1,531 ± 0,067 г/дм^3 за коефіцієнта варіації 4,35%, а співвідношення Ca^{2+}/Na^+ у воді – 0,324 ± 0,050 (CV 15,40%). У ґрунті варіабельність цього співвідношення була вищою: CV становив 23,25% у шарі ґрунту 0–30 см і 23,45% у шарі 0–100 см. Сумарна частка $Na^+ + K^+$ у складі обмінних основ зростала з 4,31% у незрошуваному ґрунті до 6,29% – при зрошенні без добрив і 5,96% – на удобреному фоні. Наведені дані свідчать про накопичувальний характер катіонних змін; тому післязрошувальний стан слід оцінювати за фактичними показниками ґрунтового профілю, а не лише за поточною якістю поливної води.

Дані щодо дії фосфогіпсу підтвердили можливість цілеспрямованого коригування катіонного складу. Внесення 5 т/га фосфогіпсу на фоні $N_{120}P_{90}$ збільшувало співвідношення Ca^{2+}/Na^+ з 0,60 до 1,59 і зменшувало pH з 7,7 до 7,1. Разом із тим уміст водорозчинних солей зростав з 0,108 до 0,121%, рухомого Fe – з 1,91 до 3,82 мг/кг, Pb – з 2,00 до 2,55 мг/кг. Одержані зміни свідчать, що кальцієву меліорацію необхідно оцінювати разом із контролем сольового профілю та умов видалення продуктів обмінних реакцій за межі кореневмісного шару [4, 5].

Для оцінювання післязрошувальної еволюції проаналізовано показники, визначені через 29 років після припинення 45-річного зрошення. Вміст гумусу становив 2,5% за 2,6% – у незрошуваному аналогу, тобто досягав 96,2% референтного рівня. Щільність складення також наблизилася до контролю – 1,30 проти 1,28 г/см^3. Водночас співвідношення Ca^{2+}/Na^+ становило 1,43 за 2,03 – у незрошуваному ґрунті, що відповідало лише 70,4% референтного рівня. Структурний коефіцієнт відновився до 92,8%, а водостійкість агрегатів – до 88,9% від відповідних значень незрошуваного аналога.

Співвідношення наведених показників свідчить про неоднакову швидкість їх відновлення. Гумусовий стан і щільність складення наближалися до референтних значень швидше, ніж кальцієво-натрієве співвідношення та водостійкість агрегатів. Така невідповідність має практичне значення: близький до незрошуваного аналога вміст гумусу сам по собі не є достатньою підставою для висновку про повне відновлення ґрунту. За збереження змін у ҐВК і структурно-агрегатному стані не можна вважати відновлення ґрунту завершеним.

Для моніторингу післязрошувальних земель доцільно використовувати сукупність взаємодоповнювальних показників. Уміст гумусу та поживних речовин характеризує агрохімічний стан, однак ступінь післязрошувального відновлення необхідно оцінювати також за часткою обмінного Na^+, співвідношенням Ca^{2+}/Na^+, щільністю складення та водостійкістю агрегатів. За наявності планів повторного введення земель у зрошення додаткового контролю потребують сольовий профіль і дренованість, які необхідно враховувати під час обґрунтування подальших меліоративних заходів.

Окремі показники характеризувалися різною швидкістю змін у післязрошувальний період. pH і вміст водорозчинних солей належать до

показників, чутливих до поточних умов і водного режиму. Гумусовий стан, щільність складення та пористість змінювалися повільніше. У дослідженому масиві найменший ступінь наближення до незрошуваного аналога встановлено для кальцієво-натрієвого співвідношення, а водостійкість агрегатів також залишалася нижчою за референтний рівень. Тому оцінювання завершеності післязрошувального відновлення має ґрунтуватися насамперед на показниках, які ще не досягли значень незрошуваного аналога.

Припинення зрошення не супроводжувалося однаковою швидкістю відновлення досліджуваних властивостей ґрунту. Через 29 років без поливів показники мали різний ступінь наближення до незрошуваного аналога, причому найменшим він залишався для Ca^{2+}/Na^{+}. Це обґрунтовує необхідність тривалого післязрошувального моніторингу земель, що зазнавали багаторічного меліоративного навантаження.

Отже, оцінювання післязрошувального відновлення темно-каштанового ґрунту має ґрунтуватися на поєднанні агрохімічних, катіонних і структурно-агрофізичних показників. Через 29 років після припинення 45-річного зрошення вміст гумусу практично наблизився до рівня незрошуваного аналога, тоді як співвідношення Ca^{2+}/Na^{+} та водостійкість агрегатів залишалися нижчими. Найповільніше відновлювалися показники катіонного та структурно-агрегатного стану. Тому їх доцільно включати до обов'язкового переліку показників під час оцінювання земель перед повторним використанням земель для зрошення або обґрунтуванням кальцієвої меліорації.

Список використаних джерел

1. Bidnyna I., Lykhovyd P., Pysarenko P., Saidak R., Yatsenko S. Transformation of soil fertility under long-term irrigation with mineralised water. Scientific Horizons. 2025. Vol. 28, No. 1. P. 73–84. https://doi.org/10.48077/scihor1.2025.73

2. Adeyemo T., Kramer I., Levy G. J., Mau Y. Salinity and sodicity can cause hysteresis in soil hydraulic conductivity. Geoderma. 2022. Vol. 413. Art. 115765. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115765

3. Kramer I., Mau Y. Review: Modeling the effects of salinity and sodicity in agricultural systems. Water Resources Research. 2023. Vol. 59, No. 6. e2023WR034750. https://doi.org/10.1029/2023WR034750

4. Minhas P. S., Qadir M. Agroclimate-centric irrigation water quality guidelines. Irrigation and Drainage. 2024. Vol. 73, No. 4. P. 1592–1605. https://doi.org/10.1002/ird.2946

5. Onopriienko D., Makarova T., Hapich H., Chernysh Y., Roubík H. Agroecological transformation in the salt composition of soil under the phosphogypsum influence on irrigated lands in Ukraine. Agriculture. 2024. Vol. 14, No. 3. Art. 408. https://doi.org/10.3390/agriculture14030408

УДК 631.6

АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ ПОДАЧЕЮ ВОДИ У ЗРОШУВАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

Ірина ЧУШКІНА, Денис ШВЕЦЬ, Назар ХОМЕНКО
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
Дніпро, Україна
zalomiy80@gmail.com

Abstract. *The paper presents an adaptive approach to irrigation water management that adjusts design discharge using a correction coefficient based on actual soil moisture and precipitation. A scenario-based calculation for three irrigation zones evaluated moisture deficit, normal conditions, and excessive wetting. The results show that the adaptive coefficient increases total discharge by 14.0% during moisture deficits and decreases it by 18.25% under excessive wetting compared to fixed design regimes. These findings demonstrate the practical potential of transitioning from rigid schedules to condition-dependent irrigation management.*

Раціональне керування водоподачею є критично важливим через зміну потреби рослин у воді залежно від стану ґрунту та опадів. Традиційні фіксовані графіки часто не враховують поточний стан території, тому сучасні підходи орієнтуються на цифровізацію, моделі водного балансу та метеорологічні дані [1; 2].

У роботі запропоновано спрощений алгоритм адаптивного коригування подачі води, який може бути використаний як складова цифрової системи моніторингу зрошувальної мережі. Основною ідеєю є перехід від фіксованої проєктної витрати до витрати, що коригується залежно від фактичної відносної вологості ґрунту та кількості опадів за розрахунковий період.

Для цього введено коефіцієнт адаптивного коригування подачі:

$$K_a = f(W, P), \quad (1)$$

де K_a — коефіцієнт адаптивного коригування; W — фактична відносна вологість ґрунту; P — кількість атмосферних опадів за розрахунковий період, мм.

Для сценарного розрахунку коефіцієнт визначався з урахуванням дефіциту вологості ґрунту та нормованого впливу опадів. Дефіцит вологості можна представити як:

$$D_v = 1 - W/W_{opt}, \quad (2)$$

де D_v — індекс дефіциту вологості; W — фактична відносна вологість ґрунту; W_{opt} — прийнята оптимальна відносна вологість.

Адаптивна розрахункова витрата визначається за залежністю:

$$Q_a = K_a \cdot Q_p, \quad (3)$$

де Q_a — адаптивна розрахункова витрата, м³/год; Q_p — базова проєктна витрата зрошувальної зони, м³/год.

Таким чином, алгоритм передбачає збільшення подачі води за дефіциту вологи, підтримання її на рівні, близькому до проєктного, за нормальної вологості та зменшення подачі за достатнього зволоження ґрунту й значної кількості опадів (рис.1).

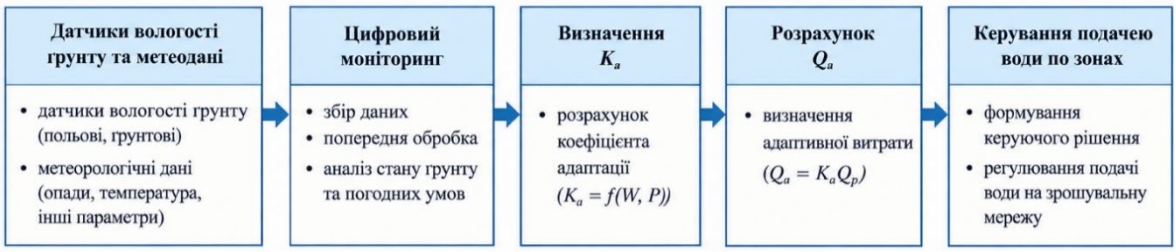


Рисунок.1. Узагальнена схема роботи системи адаптивного керування подачею води

Такий підхід відповідає загальній концепції адаптивного планування поливу, за якої погодні умови та стан ґрунту враховуються під час оперативного визначення режиму зрошення. Зокрема, у системах планування поливу можуть використовуватися метеорологічні дані, опади, характеристики ґрунту та оцінка дефіциту ґрунтової вологи [1; 3].

Для перевірки принципової працездатності запропонованого підходу виконано сценарний розрахунок для трьох умов стану ґрунту.

Таблиця 1. Сценарії адаптивного коригування подачі води

Сценарій	Стан ґрунту	W	P, мм	K_a	Режим
I	Дефіцит вологи	0,60	0	1,140	Посилений полив
II	Нормальна вологість	0,80	5	1,020	Близький до проєктного
III	Надлишкове зволоження	0,95	20	0,818	Скорочений полив

У результаті модельного експерименту коефіцієнт адаптації змінюється від 0,818 до 1,140. Отже, розрахункова подача може змінюватися приблизно від 81,8 до 114,0 % базової проєктної витрати залежно від прийнятого сценарію.

Для подальшої оцінки виконано розрахунок для трьох зон зрошувальної мережі. За базові значення прийнято проєктні витрати 1257, 1073 та 440 м³/год відповідно. Сумарна проєктна витрата становить:

$$Q\Sigma = 1257 + 1073 + 440 = 2770 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Результати сценарного моделювання наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Результати адаптивного коригування подачі води

Сценарій	K_a	Зона 1, м³/год	Зона 2, м³/год	Зона 3, м³/год	Сумарна витрата, м³/год
Проєктний режим	1,000	1257,0	1073,0	440,0	2770,0
I. Дефіцит вологи	1,140	1433,0	1223,2	501,6	3157,8
II. Нормальна вологість	1,020	1282,1	1094,5	448,8	2825,4
III. Надлишкове зволоження	0,818	1027,6	877,2	359,7	2264,5

За сценарію дефіциту вологи сумарна розрахункова подача збільшується з 2770,0 до 3157,8 м³/год. Відносна зміна становить:

$$\Delta Q = (3157{,}8 - 2770{,}0) / 2770{,}0 \cdot 100 = 14{,}0\ \%.$$

Отже, у модельному сценарії дефіциту вологи алгоритм формує рішення про збільшення розрахункової подачі приблизно на 14 % порівняно з базовим проєктним режимом.

За нормальної вологості ґрунту коефіцієнт адаптації становить 1,020, а сумарна витрата — 2825,4 м³/год. Відхилення від базового режиму є незначним, що відповідає логіці підтримання водоподачі на рівні, близькому до проєктного.

Найбільш суттєва зміна спостерігається у сценарії надлишкового зволоження. За коефіцієнта K_a = 0,818 сумарна розрахункова витрата зменшується до 2264,5 м³/год.

Відносне зменшення порівняно з проєктним режимом становить:

$$\Delta Q = (2770{,}0 - 2264{,}5) / 2770{,}0 \cdot 100 = 18{,}25\ \%.$$

Таким чином, у межах виконаного сценарного розрахунку зменшення розрахункової подачі води становило 18,25 %. Отриманий показник характеризує результат модельного сценарію і не може трактуватися як встановлена фактична економія води на реальному зрошувальному об'єкті (рис.2).



Рисунок 2. Результати сценарного розрахунку сумарної подачі води для трьох сценаріїв, м³/год (у дужках наведено відхилення від проєктного режиму)

Практична цінність запропонованого підходу полягає у можливості поєднання даних цифрового моніторингу з алгоритмом оперативного коригування режиму роботи зрошувальної мережі. Структурно система передбачає послідовне виконання моніторингу, оцінювання стану ґрунту та метеорологічних умов, розрахунок коефіцієнта адаптації K_a, визначення адаптивної витрати Q_aта формування відповідного керуючого рішення.

Для реальної експлуатації алгоритм потребує подальшої калібровки за натурними даними, зокрема з урахуванням типу ґрунту, культури, фази її розвитку, фактичної водопотреби, ефективних опадів, технічного стану мережі та допустимих гідравлічних режимів. Застосування лише одного показника вологості ґрунту не дає повної характеристики водопотреби, тому в подальшому доцільним є розширення алгоритму за рахунок метеорологічних даних та показників сумарного водного балансу. Подібні підходи використовуються у сучасних системах планування зрошення, де враховуються опади, ґрунтові характеристики, кліматичні умови та потреба культури у воді [1–4].

Висновок. Запропоновано підхід до адаптивного керування водоподачею у зрошувальній мережі на основі обліку фактичної вологості ґрунту й опадів. Сценарне моделювання для трьох зон довело ефективність переходу від фіксованого режиму до динамічного. За дефіциту вологи сумарна витрата зростає до 3157,8 м³/год, що на 14,0 % більше базового значення. За нормального зволоження витрата становить 2825,4 м³/год. За надлишкового зволоження витрата знижується до 2264,5 м³/год, або на 18,25 % порівняно з проєктним режимом. Перспективи подальших досліджень полягають у калібруванні коефіцієнта адаптації за натурними даними та апробації розробленого алгоритму на реальних об'єктах зрошувальної мережі.

Список використаних джерел

1. Bailey R. J., Spackman E. Irriguide: An irrigation scheduling system to take account of variable rainfall, soil texture and cropping pattern. *FAO*. URL: https://www.fao.org/4/W4367E/w4367e0a.htm (дата звернення: 20.09.2026).

2. Hill R. W., Allen R. G. Simple irrigation calendars: A foundation for water management. *FAO*. URL: https://www.fao.org/4/w4367e/w4367e09.htm (дата звернення: 20.09.2026).

3. Ragab R. Constraints and applicability of irrigation scheduling under limited water resources, variable rainfall and saline conditions. *FAO*. URL: https://www.fao.org/4/w4367e/w4367e0i.htm (дата звернення: 20.09.2026).

4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Irrigation management. *Land, Soil and Water*. URL: https://www.fao.org/land-water/water/agricultural-water-management/irrigation/en (дата звернення: 20.09.2026).

УДК 633.88:631.674.6

ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН ЗА КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ

Назар ПРИВЕДЕНЮК [1], Андрій ШАТКОВСЬКИЙ [2]
[1] Дослідна станція лікарських рослин НААН, Лубни, Україна,
[2] Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
privedenyuk1983@gmail.com

Abstract. *The paper presents the results of research on the efficiency of drip irrigation in the cultivation of medicinal plants in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Maintaining pre-irrigation soil moisture at 80% of field capacity made it possible to obtain high yields of dry raw material of Echinacea purpurea, Origanum vulgare, Melissa officinalis, Thymus vulgaris and Althaea officinalis, including in the first year of cultivation, and to harvest two cuttings of oregano. Phytochemical analysis confirmed that drip irrigation does not reduce the content of biologically active substances, and the raw material meets the requirements of the European Pharmacopoeia.*

Охорона здоров’я населення значною мірою ґрунтується на використанні безпечних лікарських засобів. До них належать препарати на основі лікарської рослинної сировини, які мають менше побічних ефектів порівняно із

синтетичними. Їхня популярність зростає, зокрема, через поширення здорового способу життя. Для виробництва лікарських засобів рослинну сировину заготовляють у природних умовах та отримують із культивованих рослин. Частка останніх постійно збільшується, оскільки вирощена сировина має прогнозовану якість і високий вміст біологічно активних речовин, а створені нові сорти за якісними показниками значно перевищують дикорослі рослини.

Ринок лікарської рослинної сировини в Україні є стабільнішим порівняно з ринком сільськогосподарської продукції: на окремі види сировини у 2026 р. ціни зросли на 25–40 %. Це сприяє розширенню посівних площ під лікарськими рослинами. Проте стримуючими чинниками є зміна клімату, підвищення середньодобової температури та збільшення тривалості безопадних періодів, які нерідко збігаються з критичними фазами розвитку рослин. Тому Дослідна станція лікарських рослин НААН спільно з Інститутом водних проблем і меліорації НААН проводить дослідження, спрямовані на вдосконалення та розроблення нових елементів технологій вирощування лікарських рослин із застосуванням краплинного зрошення.

Мета досліджень – оцінити ефективність краплинного зрошення при вирощуванні ехінацеї пурпурової (*Echinacea purpurea* (L.) Moench), материнки звичайної (*Origanum vulgare* L.), меліси лікарської (*Melissa officinalis* L.), чебрецю звичайного (*Thymus vulgaris* L.) та алтеї лікарської (*Althaea officinalis* L.) в умовах Лівобережного Лісостепу України, а також визначити вплив зрошення на якість сировини.

Краплинне зрошення обрано, як спосіб оптимізації водного режиму ґрунту, що передбачає локалізоване надходження поливної води безпосередньо в зону розвитку кореневої системи рослин. Такий спосіб поливу сприяє підвищенню ефективності використання водних ресурсів за рахунок зменшення непродуктивних втрат води на поверхневий стік, випаровування та зволоження незадіяної у водоспоживанні частини ґрунтового простору, водночас забезпечуючи цілеспрямоване формування оптимального водного режиму в кореневмісному шарі ґрунту.

Результати досліджень засвідчили високу ефективність краплинного зрошення (табл. 1). Підтримання передполивної вологості ґрунту на рівні 80 % НВ забезпечило отримання високих врожаїв сухої сировини ехінацеї пурпурової: 4 т/га сухого листя та 1,5 т/га сухих коренів. Без зрошення цю культуру традиційно вирощували як дворічну. Отримана сировина мала високий вміст біологічно активних речовин і відповідала вимогам Європейської Фармакопеї.

Таблиця 1. Урожайність сухої лікарської рослинної сировини за краплинного зрошення (80 % НВ)

Культура	**Термін вирощування**	**Суха трава (надземна маса), т/га**	**Сухі корені, т/га**
Ехінацея пурпурова	1-й рік	4,0	1,5
Материнка звичайна	2-й рік	понад 9,0 (2 укоси)	–
Меліса лікарська	1-й рік	понад 4,0	–
Чебрець звичайний	1-й / 2-й рік	3,0 / понад 5,0	–
Алтея лікарська	1-й / 2-й рік	10,4 / 12,6	2,9 / 4,7

Застосування краплинного зрошення на посівах материнки звичайної дозволяє отримувати два повноцінні укоси надземної маси. Без зрошення в умовах Лівобережного Лісостепу України цей вид практично не формує другого укосу, оскільки після першого збирання врожаю в липні рослини часто відчувають гостру нестачу ґрунтової вологи через відсутність опадів. Підтримання вологості ґрунту на рівні 80 % НВ упродовж вегетації забезпечило на другий рік вегетації понад 9 т/га сухої сировини за два укоси.

За традиційної технології меліса лікарська в перший рік вегетації формує низьку врожайність сухої трави – менше 1,5 т/га. Поєднання краплинного зрошення з розсадним способом вирощування дозволило вже в перший рік отримати понад 4 т/га сухої трави, тобто збільшити врожайність більш ніж у 2,5 рази.

Чебрець звичайний за краплинного зрошення та густоти висаджування 111 тис. росл./га сформував у перший рік вирощування 3 т/га сухої трави, а на другий рік – понад 5 т/га. Без зрошення в перший рік рослини чебрецю мають низьку продуктивність і незначну висоту (менше 15 см), тому врожай нерідко взагалі не збирають.

Краплинне зрошення також істотно підвищує врожайність алтеї лікарської: за підтримання вологості ґрунту на рівні 80 % НВ вже в перший рік вирощування отримано 10,4 т/га сухої трави та 2,9 т/га сухих коренів. За дворічного вирощування врожайність зросла до 12,6 т/га сухої трави та 4,7 т/га сухих коренів.

Фітохімічні дослідження сировини, отриманої впродовж дослідів, підтвердили, що краплинне зрошення не знижує вмісту біологічно активних речовин, а їхній вміст відповідає чинним вимогам Європейської Фармакопеї.

Аналіз одержаних результатів свідчить, що найбільший ефект краплинне зрошення забезпечує в перший рік вирощування, коли молоді рослини ще не сформували потужної кореневої системи і особливо чутливі до нестачі вологи. З господарського погляду це скорочує період до отримання першої продукції та підвищує економічну ефективність вирощування, що особливо актуально за нестабільних погодних умов.

Важливим результатом є те, що інтенсифікація водного режиму не погіршує якості сировини. Оскільки вимоги фармакопеї до вмісту біологічно активних речовин є обов’язковою умовою реалізації сировини фармацевтичним підприємствам, збереження показників якості за одночасного суттєвого підвищення врожайності підтверджує доцільність упровадження краплинного зрошення у виробництво лікарських рослин.

Застосування краплинного зрошення при вирощуванні лікарських рослин в умовах Лівобережного Лісостепу України дозволяє знизити ризики дефіциту ґрунтової вологи в критичні періоди росту й розвитку рослин, отримувати урожай уже в перший рік вирощування та забезпечувати стабільні врожаї сировини високої якості, що відповідає вимогам Європейської Фармакопеї.

УДК 528.94:556.16:631.6

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИРОДООРІЄНТОВАНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЛЯХ

Анна ЛЮСАК
Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна
a.v.lysak@nuwm.edu.ua

Abstract. *The paper proposes a GIS-based framework for prioritising nature-based solutions that regulate surface runoff on agricultural land. The framework combines flow accumulation, slope, soil infiltration capacity, land use, proximity to the hydrographic network and local depressions. A weighted suitability index and a functional zoning scheme are suggested to link runoff source, transfer and accumulation areas with appropriate interventions. The approach supports transparent selection of vegetated buffers, grassed waterways, retention ponds and wetland restoration sites and can be incorporated into land and water management planning.*

Зміна режиму опадів, ущільнення ґрунтового покриву, укрупнення полів і скорочення площ природних водоутримувальних елементів посилюють нерівномірність поверхневого стоку в агроландшафтах. Під час інтенсивних опадів вода швидко переміщується до понижень і водотоків, спричиняючи ерозію, винесення ґрунтових частинок та агрохімікатів. У посушливі періоди та сама територія відчуває дефіцит доступної вологи, оскільки значна частина опадів не затримується в межах водозбору. Тому управління водними ресурсами сільськогосподарських земель потребує переходу від локального усунення наслідків до просторового регулювання шляхів формування, переміщення й акумуляції стоку.

Природоорієнтовані рішення поєднують водогосподарську функцію з відновленням природних процесів. До них належать трав’яні буферні смуги, залужені водотоки, лісосмуги, контурні елементи, малі ретенційні водойми, відновлені заболочені пониження та прибережні ділянки. Їх результативність визначається не лише конструкцією, а насамперед правильністю розташування у водозборі. Однаковий захід може затримувати стік у зоні його концентрації, але бути малоефективним на вододільній поверхні. Міжнародні рекомендації наголошують на необхідності узгоджувати такі рішення з гідрологічною структурою агроландшафту та оцінювати їхні сукупні переваги для водозабезпечення, якості води й стійкості сільського господарства [1-3].

Мета дослідження - розробити геоінформаційну модель визначення пріоритетних ділянок для природоорієнтованого регулювання поверхневого стоку. Відмінність запропонованого підходу від звичайного картування водної вразливості полягає у спільному аналізі морфометричних, ґрунтово-гідрологічних і землевпорядних характеристик. Територію розглянуто як послідовність зон, у яких стік формується, переміщується або накопичується. Завдяки цьому результатом аналізу є не лише оцінка проблемності ділянки, а й вибір відповідного типу втручання.

Інформаційну основу моделі становлять цифрова модель рельєфу, контури земельних угідь, ґрунтова карта, гідрографічна мережа, меліоративні канали, польові дороги, лісосмуги та природні пониження. За цифровою моделлю рельєфу визначають ухил, напрямок і акумуляцію стоку, межі локальних водозборів та потенційні лінії концентрованого переміщення води. Контури землекористування потрібні для встановлення ділянок, де гідрологічно доцільний захід може бути реалізований без невиправданої фрагментації продуктивних угідь. Ґрунтові дані характеризують інфільтраційну здатність, механічний склад і схильність поверхні до утворення стоку.

Перед інтегруванням усі вихідні дані приводять до єдиної системи координат, просторової роздільності й шкали оцінювання. Значення критеріїв нормують у діапазоні від 0 до 1, де 0 відповідає низькій, а 1 - високій пріоритетності втручання. Інтегральний індекс придатності визначають як зважену суму: $I = 0{,}25C1 + 0{,}20C2 + 0{,}15C3 + 0{,}15C4 + 0{,}15C5 + 0{,}10C6$, де C1 - акумуляція стоку; C2 - ухил та ерозійна небезпека; C3 - інфільтраційна здатність ґрунту; C4 - близькість до водотоку або каналу; C5 - характер землекористування; C6 - наявність природного пониження чи елемента дренажної мережі. Ваги є початковими й підлягають уточненню методом аналізу ієрархій за участю фахівців із землеустрою, водного господарства та агровиробників.

Після розрахунку індексу територію поділяють на класи дуже високої, високої, середньої та низької пріоритетності. Однак індекс не слід тлумачити як автоматичний дозвіл на конкретне втручання. На етапі функціонального зонування перевіряють місце ділянки у водозборі, форму концентрації стоку, чинне цільове призначення землі, наявні обмеження та можливість обслуговування споруди. Відповідність між функціональною зоною і рекомендованим типом рішення наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Відповідність функціональних зон і природоорієнтованих рішень

Функціональна зона	**Діагностичні ознаки**	**Доцільні рішення**
Формування стоку	Орні вододіли й схили; низька інфільтрація	Покривні культури, контурний обробіток, лісосмуги
Транзит стоку	Лінії акумуляції, улоговини, польові дороги	Залужені водотоки, трав’яні смуги
Акумуляція	Замкнені пониження, гирла балок, перезволоження	Ретенційні водойми, відновлення заболочених понижень
Прибережна зона	Контакт угідь із річкою або каналом	Буферні смуги, відновлення прибережної рослинності

Зони формування стоку доцільно опрацьовувати передусім заходами, що збільшують інфільтрацію і шорсткість поверхні. У транзитних зонах головним завданням є безпечне уповільнення концентрованого потоку та перехоплення завислих речовин. В акумуляційних зонах доцільні рішення, які тимчасово утримують воду й поступово повертають її до ґрунтового або поверхневого водообміну. Прибережні ділянки повинні одночасно виконувати фільтраційну функцію та зменшувати пряме надходження наносів і поживних речовин до

водного об’єкта. Подібна диференціація узгоджується з європейським підходом, за яким природоорієнтовані рішення добирають відповідно до масштабу поля, господарства і малого водозбору [3].

Стійкість результату перевіряють аналізом чутливості до ваг критеріїв, польовим оглядом ліній стоку й перезволожених понижень, а також звірянням меж землекористувань і правових режимів. До першочергових включають ділянки, які зберігають високий пріоритет за різних наборів ваг, підтверджуються польовими ознаками та не суперечать установленому режиму використання земель.

Для практичного застосування результатів кожну відібрану ділянку доцільно описувати окремою цифровою карткою. У ній зазначають площу водозбору, тип проблеми, рекомендований захід, межі залучених земель, потребу у відведенні площі та показники подальшого моніторингу. Така картка дає громаді, водогосподарській організації й землекористувачу спільну основу для обговорення проєктного рішення.

Ефективність упровадження слід оцінювати не лише за площею створених елементів. Система моніторингу має включати зміну площі ерозійних проявів, частоту утворення концентрованого стоку, тривалість утримання води в пониженнях, стан рослинності буферних смуг, мутність води та вміст сполук азоту і фосфору нижче місця втручання. За наявності повторних спостережень ці показники дають змогу оновлювати ваги моделі та оцінювати кумулятивний ефект мережі заходів, а не кожного об’єкта окремо. Європейські дослідження також підкреслюють, що масштабне впровадження потребує врахування землеволодіння, витрат, обслуговування та прийнятності рішень для фермерів [2; 4].

Запропонований підхід не замінює детальних гідрологічних розрахунків для інженерних споруд. Його призначення - раннє просторове відсіювання територій і порівняння альтернатив до початку проєктування. Обмеженнями є якість цифрової моделі рельєфу, різночасовість землевпорядних даних та недостатня деталізація ґрунтових характеристик. На рівнинних і меліорованих територіях особливого значення набуває врахування штучного дренажу, адже напрямок фактичного водовідведення може не відповідати поверхневому рельєфу. Тому для таких умов модель необхідно доповнювати схемами каналів, гідротехнічних споруд і даними експлуатаційного моніторингу.

Після відбору ділянок варто порівняти кілька сценаріїв розміщення заходів. Базовий сценарій відображає наявний стан; мінімальний використовує смуги вздовж меж полів і чинних каналів; комплексний поєднує польові, транзитні та акумуляційні рішення в межах малого водозбору. Порівнюють охоплену площу формування стоку, довжину перехоплених шляхів його концентрації, площу вилучення продуктивних угідь, доступність обслуговування та очікуваний водоутримувальний ефект. Це дає змогу обрати просторово узгоджену комбінацію заходів із прийнятними витратами землі. Карта невизначеності додатково показує місця, де висновок найбільше залежить від ваг критеріїв або неповноти вихідних даних.

Проведений аналіз показує, що геоінформаційне обґрунтування природоорієнтованих рішень доцільно будувати за функціональною логікою водозбору: де вода формується, яким шляхом переміщується і де може бути безпечно затримана. Інтегральний індекс придатності забезпечує порівнюваність ділянок, а поділ на зони формування, транзиту, акумуляції та прибережної взаємодії пов'язує просторову діагностику з конкретними заходами. Використання моделі у землевпорядному й водогосподарському плануванні сприятиме зменшенню непродуктивних втрат води, ерозії та дифузного забруднення, водночас підвищуючи стійкість сільськогосподарських територій до чергування надмірного зволоження і посушливих періоді

Список використаних джерел

1. Sonneveld B. G. J. S., Merbis M. D., Alfarra A., Ünver O., Arnal M. A. Nature-Based Solutions for Agricultural Water Management and Food Security. FAO Land and Water Discussion Paper No. 12. Rome : FAO, 2018. 66 p. URL: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca2525en (дата звернення: 24.09.2026).

2. Pistocchi A. (ed.). Nature-based solutions for agricultural water management: Characteristics and enabling factors for a broader adoption. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022. EUR 31351 EN. DOI: 10.2760/343927.

3. EU CAP Network. Focus Group Nature-Based Solutions for Water Management under Climate Change: Final Report. October 2022. 28 p. URL: https://eu-cap-network.ec.europa.eu/publications/nature-based-solutions-water-management-under-climate-change_en (дата звернення: 24.09.2026).

4. Pistocchi A. Mapping favorability to the implementation of nature-based solutions for agricultural water management in Europe: Constraints, demand, effectiveness, costs and benefits. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022. EUR 31331 EN. DOI: 10.2760/822671.

УДК 528.94:631.6:504.064

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ДЕГРАДАЦІЇ ОСУШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Анна ЛЮСАК
Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна
a.v.lysak@nuwm.edu.ua

Abstract. *A geoinformation approach to assessing degradation risks of drained lands is proposed. It combines multispectral and radar satellite data, a digital elevation model, hydrographic information, soil data and records on drainage infrastructure. The assessment is based on indicators of surface moisture, vegetation condition, seasonal stability and terrain-controlled runoff. The result is a spatial risk map with four classes and recommendations for differentiated monitoring. The approach can support land reclamation management, field inspections and the prioritization of drainage-system restoration under limited resources.*

Осушувані землі Полісся є просторово неоднорідними системами, стан яких визначається не лише справністю каналів і гідротехнічних споруд, а й водним режимом ґрунту, рельєфом, землекористуванням та погодними умовами. Тривале недофінансування експлуатації меліоративної мережі, локальне замулення каналів, заростання, пошкодження регулювальних споруд і зміна структури посівів призводять до одночасного прояву протилежних процесів: перезволоження понижень та переосушення підвищених ділянок. Традиційні маршрутні обстеження дають точні локальні відомості, однак не забезпечують регулярного охоплення великих територій. Тому актуальним є поєднання польових спостережень із дистанційним зондуванням Землі та геоінформаційним аналізом [1; 2].

Мета роботи – обґрунтувати структуру геоінформаційної моделі оцінювання ризику деградації осушуваних земель, придатної для планування моніторингу та визначення першочергових ділянок відновлення водорегулювальної інфраструктури. Під деградацією у цьому дослідженні розуміється стійке погіршення водно-фізичних і продуктивних властивостей земель унаслідок порушення оптимального водного режиму, ерозійних процесів, мінералізації органічної речовини торфових ґрунтів або трансформації рослинного покриву.

Нормативну основу моделі становлять положення законодавства про меліорацію земель, державний моніторинг довкілля, земель і ґрунтів, а також вимоги до інтероперабельності просторових даних. Моніторинговий продукт доцільно створювати не як разову карту, а як набір версій за визначені сезони та роки. Це дає можливість відокремити короткочасну реакцію на опади від системної зміни стану угідь і забезпечує відтворюваність управлінських рішень [1; 3 - 5].

Інформаційну основу оцінювання формують п’ять взаємопов’язаних блоків. Перший блок – оптичні знімки Sentinel-2, за якими обчислюються показники стану рослинності та зволоження поверхні. Другий – радіолокаційні дані Sentinel-1, що доповнюють оптичні спостереження за умов хмарності та характеризують зміни вологості й структури поверхні. Третій блок охоплює цифрову модель рельєфу, похили, локальні пониження та топографічний індекс вологості. Четвертий містить межі земельних ділянок, угідь, ґрунтові відміни й фактичне землекористування. П’ятий відображає канали, колектори, споруди, зони їх впливу та результати польових оглядів [6 - 8].

Для кожної елементарної ділянки пропонується визначати групу індикаторів: повторюваність надмірного зволоження; тривалість аномалії після опадів; стійкість або падіння вегетаційного індексу; сезонну амплітуду радіолокаційного сигналу; положення у рельєфі; відстань до каналу чи водоприймача; тип ґрунту і характер використання. Абсолютні значення спектральних показників залежать від культури та фази розвитку, тому вирішальним є не один знімок, а часовий ряд і порівняння із сусідніми ділянками за однакових метеорологічних умов [6; 7].

Інтегральний індекс ризику доцільно розраховувати як нормовану зважену суму тематичних показників. Ваги встановлюють експертно, а надалі уточнюють за результатами наземної перевірки. Щоб уникнути хибної точності, результат поділяють на чотири класи: низький, помірний, високий і критичний ризик. Класування має супроводжуватися показником достовірності, який враховує повноту вихідних даних, кількість придатних супутникових спостережень і наявність польового підтвердження [9].

Окремою процедурою є виявлення суперечливих сигналів. Наприклад, високий вегетаційний індекс у пониженні може свідчити як про добрий стан культури, так і про поширення вологолюбної рослинності на покинутій ділянці. Так само низький індекс вологості може бути наслідком агротехнічної операції, а не переосушення. Такі об’єкти не повинні автоматично отримувати остаточний клас: вони включаються до переліку пріоритетних маршрутів наземного обстеження.

Практична схема моніторингу передбачає три рівні. На оглядовому рівні щомісяця або після значних гідрометеорологічних подій аналізуються супутникові мозаїки та виділяються осередки змін. На діагностичному рівні для них формується часовий профіль індикаторів, перевіряється зв’язок із рельєфом і меліоративною мережею. На верифікаційному рівні виконуються польові спостереження: визначення глибини ґрунтових вод, вологості, стану дренажу, складу рослинності та фотофіксація. Координовані польові дані повертаються до геобази і використовуються для калібрування моделі.

Запропонований підхід дозволяє розмежувати щонайменше три типи проблемних ситуацій. Перший тип – застійне перезволоження у замкнених пониженнях або поблизу несправних колекторів. Другий – недостатнє водоутримання і ризик переосушення органогенних ґрунтів. Третій – неоднорідне зволоження, пов’язане з порушенням роботи окремих елементів системи. Для кожного типу формується окремий набір заходів: розчищення чи ремонт, регульоване водовідведення, двобічне регулювання водного режиму, обмеження інтенсивного обробітку або відновлення лучного покриву.

Геоінформаційний результат повинен містити не лише карту ризику, а й паспорт кожного проблемного контуру: дату виявлення, динаміку показників, імовірну причину, рівень достовірності, рекомендований вид обстеження та відповідальний суб’єкт. Така структура забезпечує перехід від спостереження до управління. Вона також дає змогу ранжувати об’єкти за очікуваною екологічною та господарською ефективністю втручання, що особливо важливо за обмеженого фінансування експлуатаційних заходів.

Сумісність наборів даних забезпечується єдиною системою координат, метаданими, уніфікованими класифікаторами і стабільними ідентифікаторами об’єктів. Відкриті супутникові дані зменшують вартість спостережень, проте не замінюють відомчу інформацію про технічний стан мережі. Найбільший ефект досягається тоді, коли водогосподарська організація, територіальна громада та землекористувачі працюють із погодженою геобазою та регулярно актуалізують її.

Для практичного застосування моделі важливим є вибір просторової роздільної здатності. Піксель супутникового зображення не слід механічно ототожнювати із земельною ділянкою: вузькі канали, лісосмуги, дороги та межові смуги формують змішаний спектральний сигнал. Тому первинні індикатори доцільно узагальнювати в межах однорідних контурів, попередньо відсікаючи крайові пікселі. Мінімальна площа контуру встановлюється з урахуванням розміру поля, конфігурації дренажної мережі та точності вихідних кадастрових матеріалів [6–8].

Контроль якості повинен охоплювати геометричну сумісність знімків, маскування хмар і тіней, перевірку пропусків у часових рядах та виявлення різких змін, спричинених обробітком ґрунту або збиранням урожаю. Для кожного розрахованого індикатора необхідно зберігати дату спостереження, джерело, алгоритм обробки та версію програмного забезпечення. Це дозволяє повторити розрахунок і пояснити різницю між послідовними картами, що є принципово важливим для офіційного моніторингу [6; 7].

Польова верифікація може організовуватися за стратифікованою схемою: у кожному класі ризику випадково вибирається частина контурів, а критичні аномалії перевіряються обов’язково. У точці обстеження фіксуються координати, фото, стан посіву, ознаки застою води або пересушення, глибина води у спостережній свердловині та стан найближчого елемента мережі. Матриця розбіжностей між картою і фактичним станом дає змогу оцінити точність класифікації та скоригувати пороги.

Оновлення карти ризику доцільно здійснювати за подієвим принципом: планово у ключові фази сезону та позапланово після тривалих опадів, посухи, аварії споруди або зміни землекористування. Архів версій дає змогу оцінювати ефективність виконаних робіт. Якщо після розчищення каналу тривалість перезволоження зменшується, а стан рослинності стабілізується, захід можна вважати результативним; за відсутності змін необхідне уточнення причини й перегляд проєктного рішення.

Запропонована модель узгоджується з логікою державного моніторингу довкілля, оскільки забезпечує систематичність спостережень, просторову визначеність результатів та можливість їх повторного використання [3; 4]. Для органів управління важливо встановити регламент актуалізації: базовий цикл формування сезонних карт, перелік подій для позачергового аналізу, строки польової перевірки та порядок внесення підтверджених змін до геобази. Відкритий опис методики і метаданих забезпечить порівнянність результатів між громадами та меліоративними системами.

Отже, дистанційне зондування доцільно розглядати як інструмент просторового скринінгу, а не як самодостатню заміну польового контролю. Поєднання Sentinel-1 і Sentinel-2, рельєфу, ґрунтових даних та відомостей про меліоративну інфраструктуру підвищує стійкість оцінки і дозволяє виявляти території з різними механізмами деградації. Запропонована чотирикласова модель може бути основою оперативної карти ризику, плану наземних обстежень та програми поетапного відновлення систем. Подальші дослідження мають бути спрямовані на калібрування ваг за даними вимірювань рівня

ґрунтових вод і перевірку переносності моделі між меліоративними системами Полісся.

Список використаних джерел

1. Про меліорацію земель : Закон України від 14.01.2000 № 1389-XIV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1389-14 (дата звернення: 15.09.2026).

2. Про схвалення Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 № 688-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80 (дата звернення: 15.09.2026).

3. Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля : постанова Кабінету Міністрів України від 13.06.2024 № 684.

4. Про затвердження Положення про моніторинг земель : постанова Кабінету Міністрів України від 20.08.1993 № 661. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-93-%D0%BF (дата звернення: 15.09.2026).

5. Про національну інфраструктуру геопросторових даних : Закон України від 13.04.2020 № 554-IX.

6. Copernicus Land Monitoring Service. URL: https://land.copernicus.eu/ (accessed: 15.09.2026).

7. Sentinel-2 User Handbook. European Space Agency. 2015. URL: https://sentinels.copernicus.eu/

8. Jarrett S., Hölbling D. Application of SAR to Delineate Peatland from Other Land Cover and Assess Relative Condition in Relation to Surface Moisture. Remote Sensing. 2025. Vol. 17, No. 16. 2752. DOI: 10.3390/rs17162752.

9. Oliver M. A., Webster R. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. Catena. 2014. Vol. 113. P. 56–69. DOI: 10.1016/j.catena.2013.09.006.

УДК 626.86:556.3

АВТОНОМНА СТАНЦІЯ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД ЧЕРЕЗ ЇХ ВИМІРЮВАННЯ У ВІДКРИТИХ ОСУШУВАЛЬНИХ КАНАЛАХ: ПОЛЬОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Дмитро ДЕМЧУК
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
ddima199703@gmail.com

Abstract. *The study presents field results from an autonomous groundwater level monitoring station installed in an open drainage canal in the Rivne region, Ukraine. Continuous measurements demonstrated reliable performance of the laser sensor and identified limitations of ultrasonic measurements. A 40 mm rainfall event caused a water level rise of 14–19 cm, followed by slow drainage. The findings highlight the need for improved drainage maintenance and expanded monitoring networks.*

Для керування осушенням потрібен неперервний ряд рівня ґрунтових вод, а ручний замір рулеткою дає одну точку на відвідування ділянки. Реакція дзеркала на дощ триває години, і підйом здебільшого нічний, тому рідкі заміри його просто пропускають.

Дослід виконано з 30.08 до 28.09.2026 на ділянці Сарненської дослідної станції в Сарненському районі Рівненської області, на Поліссі. Осушений масив має торф'янисто-піщані ґрунти та мережу відкритих гідромеліоративних каналів. Рівень у каналі керований мережею, оскільки канал одночасно є дреною і місцевим базисом, до якого між дощами спадає дзеркало.

Станцію зібрано на модулі LilyGO TTGO T-Call v1.4 з ESP32 і модемом SIM800L; далекомірів два — лазерний VL53L1X як робочий канал і ультразвуковий AJ-SR04M як звірювальний. Живлення — два акумулятори 18650 і сонячна панель 5 Вт через окремий модуль заряду TP4056. Контролер живлення на платі дає 5 В для датчиків і 3,3 В для ESP32, а заряд оцінює чвертями, без дільника напруги на АЦП.

Прилад передає сиру відстань, а глибину рахує сервер як висоту монтажу мінус відстань, тому підняття приладу 20.09 на 160 мм враховано без польової перепрошивки. Буфер у флеш-пам'яті тримає 300 вимірів, і замість часу передається вік виміру, інакше вони отримали б час відновлення зв'язку.

Лазерний канал вимірював стабільно весь період, зокрема за роси на лінзі: голова датчика затінена штангою. Єдина відмова за період тривала півтори доби, і причина не в оптиці: у виносному вузлі контакт згнив від дощу, волога дала витік, який висадив акумулятор, і станція не вмикалась. Для польових станцій відмови живлення виявляються типовішою причиною втрати даних, ніж зв'язок.

Ультразвуковий AJ-SR04M давав дані лише до відстані близько 0,9 м замість паспортних 6 м, далі вимір не повертався. Прошивка приладу рахує швидкість звуку для 20 °C, тому за фактичними температурами він завищував відстань на 0–10 мм з добовим ходом. Поправка має вигляд: виміряне = справжнє × 343,4 / (331,3 + 0,606·T). Широкий конус дав помилку типу найближчої цілі: кілька діб прилад тримав стале хибне значення близько 370 мм — це була гілка, а не вода, і показання зійшлися аж коли рівень піднявся вище неї.

Глибина до дзеркала води за період змінювалась від 38 см на 06.09 до 19 см на 23.09. Злива 22–23.09 дала 40 мм за дощоміром і підйом на 14 см відносно рівня 20.09 або на 19 см відносно мінімуму. Дощі до 3–4 мм на добу не давали реакції взагалі, швидше всього їх забирає буфер зони аерації ємністю близько 4 мм і випаровування близько 2,5 мм на добу, або ж дощу не було — дощомір був поставлений лише на час зливи, інші опади під час цього періоду фіксувались тіл. Звідси водовіддача ґрунту 0,12–0,22 залежно від прийнятої амплітуди підйому. Архів прогнозу OpenWeatherMap занижує суму головної події більш ніж удвічі: 18,3 мм проти 40 мм за дощоміром. Час події брали з прогнозного архіву, а суму — з дощоміра, і для розподіленої моделі припущення про рівномірний по площі дощ є грубим.

Після піку спад виявився дуже повільним: 19,0 см 23.09 проти 20,5 см 28.09, тобто близько 0,3 см на добу. Це дає коефіцієнт резервуара близько 40 діб, що на порядок більше за норму для справного дренажу. Це вказує на

загальмований відтік із замуленого русла, тому перше практичне завдання для господарства не є новою моделлю, а розчищення русла з повторним виміром того ж показника.

Ряд однієї станції є граничною умовою задачі, а не відповіддю на неї, бо опади лягають на всю площу між каналами. Дзеркало між двома каналами не плоске: воно має максимум посередині міжканального простору, і перезволоження настає саме там, а не біля каналу з приладом. Тому на розрахункову ділянку потрібні три пункти спостережень: біля шлюза, посередині міжканалля та в дальньому кінці, бо дві крайні точки дають поздовжній ухил дзеркала, тобто швидкість і напрямок хвилі. Потрібні також власний автономний дощомір на дослідній ділянці і подієвий режим 15–30 хвилин, для якого буфер і передача віку виміру вже готові.

Ланцюг моделювання має чотири ланки. Перша переводить опади в живлення за вирахуванням буфера зони аерації та випаровування. Друга дає підйом дзеркала $\Delta h = R/\mu$, а спад описує лінеаризоване рівняння Буссінеска $h(t) = h0 \cdot \exp(-t/j)$ з коефіцієнтом резервуара $j = \mu \cdot L^2/(\pi^2 \cdot K \cdot D)$; стаціонарний випадок дає формула Хоохоудта. Третя — рух хвилі вздовж каналу в дифузійному наближенні рівнянь Сен-Венана, четверта — шлюз як гранична умова базового рівня. Звідси правило керування: щоб дзеркало посередині міжканалля не перевищило норму осушення, поріг опускають завчасно на $\Delta h = R/\mu$ мінус дренажний стік за час дощу, а в посуху той самий поріг утримує воду. Положення шлюзів і пунктів спостережень шукають за критерієм площі, помноженої на тривалість перевищення норми за сезон.

Автономна станція дає придатний ряд: робочим каналом став лазерний, а ультразвук обмежений 0,9 м і потребує поправки на температуру та вільного сектора. Одна подія 40 мм підняла рівень на 14–19 см, що дає водовіддачу 0,12–0,22. Наступний крок — три пункти спостережень, власний дощомір і подієвий режим, щоб перейти від точкового ряду до розрахунку по площі.

Список використаних джерел

1. Hooghoudt S. B. Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond. No. 7. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen, 46 (14) B. ’s-Gravenhage : Algemeene Landsdrukkerij, 1940.

2. Kraijenhoff van de Leur D. A. A study of non-steady groundwater flow with special reference to a reservoir coefficient. De Ingenieur. 1958. Vol. 70, № 19. P. B87–B94.

3. Drainage Principles and Applications / ed. by H. P. Ritzema. 2nd ed. ILRI Publication 16. Wageningen : International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1994. 1125 p.

4. Skaggs R. W. A Water Management Model for Shallow Water Table Soils. Report No. 134. Raleigh : Water Resources Research Institute, University of North Carolina, 1978.

5. Chow V. T. Open-Channel Hydraulics. New York : McGraw-Hill, 1959.

УДК 504.53:631.6:556.53

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХІМІЧНІ КРИТЕРІЇ МОНІТОРИНГУ МЕЛІОРОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ У БАСЕЙНІ РІЧКИ СЛУЧ

Петро КАХНИЧ
Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна
p.f.kahnich@nuwm.edu.ua

Abstract. *The paper substantiates landscape-geochemical criteria for monitoring reclaimed lands in the Sluch River basin. Monitoring units are proposed to be delineated by relief position, runoff pathways, soil and parent-material properties, drainage influence and land use. Particular attention is paid to eluvial, transit and accumulative landscape positions, which differ in contaminant migration and waterlogging risk. A tiered observation network combining reference sites, transects, drainage-water sampling and geospatial data is suggested. The approach supports early detection of adverse changes and links monitoring results with differentiated land and water management measures.*

Меліоровані землі в басейні річки Случ функціонують у складній системі зв'язків між водозбором, ґрунтовим покривом, осушувальною мережею та русловими екосистемами. Зміна водного режиму впливає на аерацію ґрунту, мобільність хімічних елементів, винесення завислих речовин і надходження біогенів до водоприймачів. Просте порівняння концентрацій у поодиноких пунктах не пояснює шляхів міграції речовин і може маскувати локальні зони акумуляції. Тому моніторинг має враховувати ландшафтну позицію об'єкта та напрям поверхневого і внутрішньоґрунтового стоку [1–5].

Метою роботи є обґрунтування системи ландшафтно-геохімічних критеріїв, за якими можна формувати репрезентативну мережу спостережень на меліорованих землях басейну Случі та пов'язувати отримані результати з водогосподарськими і землевпорядними рішеннями. Методичний підхід базується на басейновому принципі, аналізі морфометрії рельєфу, властивостей ґрунтів і ґрунтотворних порід, положення меліоративних каналів, структури угідь та потенційних джерел антропогенного навантаження.

До першої групи критеріїв належать умови формування стоку: площа елементарного водозбору, похил і довжина схилу, ступінь розчленування рельєфу, наявність безстічних понижень та відстань до водоприймача. Друга група охоплює геохімічні властивості середовища – гранулометричний склад, вміст органічної речовини, кислотність, окисно-відновні умови та сорбційну здатність ґрунту. Третя характеризує техногенний вплив: інтенсивність землеробства, внесення добрив, близькість доріг, населених пунктів і промислових об'єктів, а також технічний стан осушувальної мережі [6; 7].

Базовою одиницею моніторингу пропонується вважати ландшафтно-меліоративний контур – територію з відносно однорідним положенням у рельєфі, типом ґрунту, режимом дренування та використанням. У межах катени виділяються елювіальні позиції на вододілах, транзитні схилові ділянки та акумулятивні пониження й приаквальні смуги. Для кожної позиції очікується відмінний механізм трансформації речовин: у верхніх частинах переважає

вимивання, на схилах – латеральне перенесення, у пониженнях – накопичення і можливе повторне надходження мобільних форм до дренажного стоку [6; 7; 9].

Система показників повинна поєднувати стан ґрунту і води. Для ґрунтів доцільно визначати вологість, кислотність, органічну речовину, рухомі форми азоту і фосфору, а за наявності джерел забруднення – рухомі форми потенційно токсичних елементів. Для дренажних і поверхневих вод необхідні рівень або витрата, електропровідність, мінералізація, розчинений кисень, сполуки азоту та фосфору, завислі речовини. Перелік пріоритетних металів має встановлюватися за результатами скринінгу джерел, а не застосовуватися однаково до всього басейну [6; 7].

Репрезентативна мережа передбачає три типи пунктів. Фонові пункти характеризують природні або найменш трансформовані умови. Транзитні профілі закладаються поперек схилу від вододілу до каналу чи заплави і дають змогу простежити латеральну міграцію. Контрольні пункти розміщуються у гирлах колекторів, нижче меліоративних систем та поблизу потенційних джерел навантаження. Така побудова дозволяє відрізнити басейновий фон від впливу конкретної системи й уникнути висновків, заснованих на випадковому місці відбору проб.

Часова програма має охоплювати характерні фази водного режиму: весняне водопілля, літню межень, період інтенсивних опадів і осіннє перезволоження. Після екстремальних подій потрібні додаткові відбори, оскільки основна частина речовин може переноситися короткими імпульсами. Для порівняння різних років результати слід супроводжувати даними про опади, рівні води, витрату дренажного стоку та проведені агротехнічні роботи.

Ландшафтно-геохімічна інтерпретація передбачає аналіз не лише перевищень нормативів, а й просторових градієнтів. Зростання концентрації від елювіальної до акумулятивної позиції може вказувати на латеральний перенос, тоді як локальний максимум біля дороги чи виробничого майданчика – на точкове джерело. Одночасне підвищення електропровідності дренажної води та вмісту мобільних форм елементів у перезволоженому ґрунті потребує перевірки окисно-відновних умов. Причинний висновок робиться лише після зіставлення кількох показників і повторних спостережень [6; 7; 9].

Для просторового узагальнення результати вносяться до геоінформаційної бази, де кожна проба пов’язана з ландшафтно-меліоративним контуром, датою, гідрологічною фазою та способом аналізу. Цифрова модель рельєфу використовується для моделювання напрямів стоку і виділення зон потенційної акумуляції. Супутникові дані допомагають фіксувати тривале перезволоження, зміни рослинного покриву та порушення землекористування. Інтерполяція допустима лише за достатньої щільності пунктів і з обов’язковим поданням невизначеності результату [8].

За підсумками моніторингу контури можна віднести до чотирьох класів: стабільні; потенційно вразливі; такі, що зазнають локальної деградації; критичні щодо впливу на ґрунт і водоприймач. Для потенційно вразливих ділянок достатньо посиленого спостереження і профілактичного обслуговування мережі. Локальна деградація потребує регулювання водовідведення, протиерозійних

заходів або коригування агротехнологій. На критичних контурах доцільні детальне обстеження, обмеження окремих видів використання, відновлення буферних смуг чи ренатуралізація найбільш уразливих понижень.

Перевагою запропонованої системи є безпосередній зв'язок між пунктом спостереження, механізмом міграції та управлінським заходом. Водночас її впровадження потребує узгодження лабораторних методик, координованого обліку проб і спільного доступу до даних водогосподарських організацій, громад та землекористувачів. Відсутність даних про витрату води суттєво обмежує оцінку масового винесення речовин, тому гідрохімічні вимірювання мають доповнюватися гідрометричними.

Під час відбору ґрунтових проб необхідно розрізняти генетичні горизонти та фіксовані глибини. Змішування матеріалу з різними окисно-відновними умовами може нівелювати реальний профіль міграції. На торфових і оглеєних ґрунтах особливо важливо одночасно визначати вологість та кислотність, оскільки зміна водного режиму впливає на рухомість елементів. Повторні проби слід відбирати у координатно закріплених точках або в межах малого постійного майданчика.

Для водних об'єктів концентрація без урахування витрати не характеризує масу винесення. За високої водності розбавлення може знижувати концентрацію, хоча сумарний потік речовини зростає. Тому в контрольних створах поряд із лабораторним аналізом необхідне вимірювання рівня і витрати або використання надійної залежності між ними. Порівняння питомого винесення з одиниці площі дозволяє зіставляти меліоративні системи різного розміру та визначати ділянки з непропорційно високим навантаженням.

Якість аналітичних даних забезпечують холості та дублетні проби, калібрування приладів, контроль умов консервації і транспортування. Межа виявлення методу повинна бути нижчою за екологічно значущий рівень показника. Якщо результати отримані різними лабораторіями, потрібні міжлабораторні порівняння. Разом із числовим значенням у базі слід зберігати методику, одиницю вимірювання, похибку і позначку про проходження контролю якості.

Сезонні дані доцільно аналізувати окремо, а довгостроковий тренд визначати лише за зіставних гідрологічних умов. Один випадок перевищення є підставою для повторної перевірки, але не завжди свідчить про стійку деградацію. Натомість повторюваний просторовий градієнт уздовж катени, підтверджений змінами у дренажному створі, є сильнішим доказом функціонального зв'язку. Такий принцип зменшує ризик помилкового віднесення природної геохімічної аномалії до техногенного забруднення [5; 9].

Результати спостережень доцільно зіставляти із цілями Плану управління річковим басейном Дніпра на 2025–2030 роки та принципами Водної рамкової директиви ЄС [4; 5]. На рівні суббасейну це дозволяє пов'язати локальний стан осушувальної системи з навантаженням на водний масив. Пункти в гирлах колекторів можуть виконувати роль раннього попередження, тоді як катенарні профілі пояснюють походження виявленої зміни та допомагають локалізувати ділянку, на якій необхідне втручання.

Отже, моніторинг меліорованих земель у басейні Случі має будуватися за басейново-ландшафтним принципом і враховувати елювіальні, транзитні та акумулятивні позиції. Поєднання ґрунтових, гідрохімічних, гідрометричних і дистанційних спостережень дає змогу виявляти не тільки факт погіршення, а й імовірний шлях перенесення речовин. Запропоновані критерії придатні для оптимізації мережі пунктів, ранжування ризиків і вибору диференційованих заходів. Наступним етапом має бути апробація системи на репрезентативній меліоративній системі з сезонним відбором проб уздовж катен і в створах дренажного стоку.

Список використаних джерел

1. Про меліорацію земель : Закон України від 14.01.2000 № 1389-XIV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1389-14 (дата звернення: 15.09.2026).

2. Водний кодекс України : Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР.

3. Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля : постанова Кабінету Міністрів України від 13.06.2024 № 684.

4. Про затвердження планів управління річковими басейнами Дніпра та Дону на 2025–2030 роки : розпорядження Кабінету Міністрів України від 01.11.2024 № 1077-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1077-2024-%D1%80 (дата звернення: 15.09.2026).

5. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities. 2000. L 327. P. 1–73.

6. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2011. 548 p.

7. Alloway B. J. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. 3rd ed. Dordrecht : Springer, 2013. 614 p.

8. Oliver M. A., Webster R. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. Catena. 2014. Vol. 113. P. 56–69. DOI: 10.1016/j.catena.2013.09.006.

9. Кахнич П. Ф. Міграція важких металів у схилових комплексах р. Случ. Сучасні технології землеустрою, кадастру та управління земельними ресурсами : матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 26–27 березня 2026 р. Київ, 2026.

УДК 528.88: 631.41

ДАНІ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ МЕЛІОРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ

Павло ЛИХОВИД
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
pavel.likhovid@gmail.com

Abstract. *Current study evaluated long-term soil salinity dynamics within the Ingulets irrigation system (2000–2026) using remote sensing data. Soil salinity modeling and forecasting up to 2030 was performed using MODIS (MOD09A1) satellite imagery, processed in Google Earth Engine. The Normalized Difference Salinity Index (NDSI) from July 15 to October 15 was applied as a basic indicator. A statistically significant decline in NDSI occurred over 27 years ($p < 0.05$, rate: -0.00083/year). Holt's and ARIMA predictive models project continued salinity stabilization or slight decline through 2030. Remote sensing confirms an improving soil salinity regime, though localized spikes necessitate adaptive monitoring.*

Процес деградації ґрунтів і втрати їх родючості є однією з найбільших загроз продовольчій безпеці. Зрошення мінералізованою водою у поєднанні з нехтуванням меліоративними заходами, ірраціональним чергуванням культур у сівозмінах і невідповідними способами основного обробітку ґрунту є одними з головних причин вторинного засолення та осолонцювання зрошуваних ґрунтів. На півдні України Інгулецький зрошуваний масив є найбільш уразливим до меліоративної деградації внаслідок тривалого зрошення поливною водою низької якості з підвищеним вмістом водорозчинних солей і токсичних іонів (Lykhovyd & Kozlenko, 2018).

Основою раціонального землекористування є моніторинг, тобто постійний динамічний контроль стану агроекосистем. Меліоративний моніторинг є передумовою оптимізації меліоративного стану ґрунтів і попередження їх деградації. Втім, він є доволі трудомістким і вимагає великих капіталовкладень, оскільки ґрунтові зйомки, необхідні для реєстрації та відстеження показників ґрунту вимагають відбору великої кількості зразків та їх наступного аналізу в лабораторії.

Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) можуть бути інтегровані в систему меліоративного моніторингу в якості допоміжних, а за умови достатньо високої точності калібрування моделей для відображення реального стану ґрунту вони можуть бути трансформовані у сучасну альтернативу польовим зйомкам, даючи змогу суттєво зекономити витрату часу, праці та коштів (Abdulraheem et al., 2023). Станом на сьогодні, майже відсутні наукові дослідження з приводу інтеграції даних ДЗЗ та геоінформаційних систем (ГІС) для виконання меліоративного моніторингу і моделювання стану зрошуваних земель України.

Метою представленого дослідження було виконати оцінку динаміки меліоративного стану ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву за величиною супутникового нормалізованого диференційного індексу засолення (NDSI) за період 2000–2026 рр. та побудувати прогностичні моделі величини досліджуваного індикатора до 2030 року.

Методично дослідження виконували на платформі Google Earth Engine (GEE) шляхом виконання авторського скрипту на мові JavaScript ES6, який включав у себе виокремлення прямокутника, що охоплює саме землі Інгулецького зрошуваного масиву, накладання маски річок і маски суходолу, завантаження знімків MODIS (продукт MOD09A1, 500 м) та їх обробку як за весь 27-річний період за термін із 15 липня по 15 жовтня, так і по трьох 9-річних періодах із наступним картуванням середньозваженої величини NDSI. Аналіз тренду виконано за Манн-Кендалл; прогнозування часових рядів – за Хольтом і ауторегресійною моделлю ARIMA. Статистичні розрахунки та прогнози виконували в авторському скрипті на мові Python 3.

За результатами аналізу тренду встановлено наявність статистично значущого зниження величини індексу NDSI, а значить і ступеня засолення, ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву. Втім, велична річної зміни індикатора є дуже малою і становить 0,00083 одиниці NDSI на рік. Точковиц прогноз за Хольтом свідчить про можливе подальше поліпшення меліоративної ситуації і зниження ступеня засоленості ґрунтів досліджуваного масиву на 1,9% відносно середньої величини за 9-річний період 2018–2026 рр. Прогноз за моделлю ARIMA є більш стриманим, і свідчить скоріше про перспективу стабілізації засоленості ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву у найближчі роки. Картування індексу NDSI по 9-річних періодах слугувало додатковим підтвердженням поступового поліпшення меліоративного стану ґрунтів досліджуваної території.

Результати роботи свідчать, що використання платформи Google Earth Engine та супутникового нормалізованого диференційного індексу засолення (NDSI) може слугувати додатковим джерелом просторової інформації про ступінь засолення ґрунтів. Враховуючи безоплатний доступ до основного інструментарію платформи, вона може стати в нагоді під час виконання масштабних меліоративних обстежень, для картування, уточнення та співставлення даних ґрунтових і аерокосмічних зйомок.

Список використаних джерел

1.Abdulraheem, M. I., Zhang, W., Li, S., Moshayedi, A. J., Farooque, A. A., & Hu, J. (2023). Advancement of remote sensing for soil measurements and applications: A comprehensive review. *Sustainability*, *15*(21), 15444.

2.Lykhovyd, P. V., & Kozlenko, Y. V. (2018). Assessment and forecast of water quality in the River Ingulets irrigation system. *Ukrainian Journal of Ecology*, *8*(1), 350-355.

УДК 349.414

СТРАТЕГІЧНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯК ЗАСІБ ЗБЕРЕЖЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ В УКРАЇНІ

Віталій ПРАВДЮК
Інститут землекористування НААН, Київ, Україна
vitaliy.pravdyuk@gmail.com

Abstract. *The article examines strategic environmental assessment (SEA) as a tool for preserving Ukraine's water resources amid wartime destruction. Using the Kakhovka dam breach as a paradigmatic case, it argues that basin-level strategic assessment, not point-based project review, is required to prevent cumulative degradation, as earlier shown by the Great Lakes crisis. The article also identifies practical obstacles to SEA reform: overlap with environmental impact assessment, outdated spatial planning legislation, and limited environmental data under martial law, and calls for a more flexible SEA framework for post-war reconstruction.*

Обсяг та наслідки руйнувань українських міст і сел в 2022-2026 роках створили небачені досі виклики перед народом України. Очевидна необхідність гігантських зусиль на здійснення майбутньої відбудови всієї території України. Справді катастрофічних наслідків зазнає водне господарство України внаслідок військових дій.

Найпоказовішим сучасним кейсом, що ілюструє необхідність саме стратегічного, а не точково-проєктного підходу до відновлення водних об'єктів, є ситуація навколо Каховського гідровузла. Внаслідок підриву греблі Каховської ГЕС у ніч на 6 червня 2023 року було безповоротно втрачено водосховище, зупинено водопостачання чотирьох областей, іригаційні системи та рибне господарство, а збитки для одного лише гідроенергетичного обладнання оцінюються у понад 2,2 млрд доларів США [1].

Окрім катастрофи на Каховському гідровузлі, повномасштабна війна проявляється у водній сфері України ще щонайменше у двох напрямах. По-перше, зруйноване чи пошкоджене централізоване водопостачання прифронтових міст (так, Миколаїв після пошкодження водогону з квітня 2022 року був змушений тимчасово використовувати солону воду з естуарію, що спричинило корозію мереж і додаткові ризики для здоров'я населення). По-друге, і це найбільш тривожний прояв — неконтрольоване затоплення вугільних шахт Донбасу внаслідок зупинки водовідливних систем на окупованих територіях.

Завдана шкода та руйнування інфраструктурних об'єктів вимагають об'єднання зусиль державних інституцій, підприємців, громади для відбудови відповідних об'єктів, що очевидно має відбуватись виходячи з засад оперативності та на принципах екологічної безпеки та сталого розвитку.

Однією з нагальних проблем, яка при цьому потребує вирішення, є недосконаліть регулювання питань Стратегічної Екологічної Оцінки (СЕО), що є неодмінним етапом при розробці будь-якої містобудівної документації місцевого рівня.

В умовах війни можна споглядати відразу кілька взаємно конфліктуючих векторів, що впливають на реформування СЕО.

З одного боку наслідки воєнних дій вимагають оперативного відновлення зруйнованих виробничих потужностей, інфраструктурних та інших об’єктів.

З іншого боку очевидна шкода для природи та довкілля внаслідок надмірних прискорень. Навіть необхідність здійснення швидкої забудови для суспільних потреб не звільняє від обов’язку належної екологічної оцінки таких наслідків.

Екологічна поставила після підриву Каховської ГЕС поставила Україну перед стратегічною розвилкою, яка є хрестоматійним прикладом того, для чого власне призначена СЕО: чи відбудовувати греблю та відновлювати водосховище в попередніх параметрах, чи використати унікальну можливість відродити природну екосистему Великого Лугу — заплавний ландшафт, затоплений створенням водосховища ще в середині 1950-х років.

Якщо Укргідроенерго наполягає, що альтернативи, яка забезпечила б надійне водопостачання південних регіонів без відновлення водосховища, не існує, тоді як частина наукової спільноти доводить, що відродження Великого Лугу буде соціально, екологічно та економічно вигіднішим за відбудову греблі й водосховища[2].

Історичний досвід переконливо демонструє, що саме водні екосистеми одними з перших зазнали наслідків відсутності стратегічного, планувального підходу до охорони довкілля: екологічна криза озера Ері в 1950–1960-х роках, спричинена десятиліттями некоординованих промислових і комунальних скидів, стала прямим поштовхом до підписання США та Канадою Угоди про якість води Великих озер 1972 року — однієї з перших у світі міждержавних екологічних угод такого рівня [3].

Ключовий урок цієї та подібних водних катастроф полягав у тому, що точковий контроль за окремими скидами, здійснюваний post factum, не здатний відвернути кумулятивну деградацію водного об'єкта, якщо відсутня оцінка сукупного впливу на рівні басейну в цілому — саме ця логіка лягла в основу сучасної концепції басейнового управління водними ресурсами та, згодом, стратегічної екологічної оцінки як інструменту, що оцінює не окремий скид, а цілісний план діяльності в межах басейну.

Практичним втіленням цього підходу для України є плани управління річковими басейнами (ПУРБ), що розробляються на виконання Директиви 2000/60/ЄС (Водної Рамкової Директиви) відповідно до зобов'язань Угоди про асоціацію з ЄС. Кабінет Міністрів України вже затвердив перші шестирічні ПУРБ на 2025–2030 роки для басейнів Дніпра, Дністра, Дунаю, Південного Бугу, Дону, а також річок Криму та Приазов'я, і кожен із цих планів як документ державного планування прямо підлягає стратегічній екологічній оцінці в обсязі, визначеному ст. 11 Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку» [4].

Це означає, що вперше в історії вітчизняного водного законодавства оцінка впливу на довкілля здійснюється не для окремого водокористувача чи об'єкта, а для басейну як цілісної екологічної системи — до ухвалення програми заходів, а не після виявлення її наслідків. В умовах повоєнної відбудови гідротехнічної інфраструктури басейновий за охопленням механізм СЕО здатен запобігти

повторенню помилок точкового, нескоординованого відновлення, які свого часу призвели до кризи Великих озер.

Процедура розробки, погодження, обговорення та затвердження СЕО є довготривалим та жорстко регламентованим процесом. Будь-яке порушення строків оприлюднення чи розгляду на етапах СЕО робить увесь документ державного планування незаконним.

Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» встановлює обов'язкові мінімальні часові рамки для громадського обговорення звіту (не менше 30 днів) та консультацій з органами виконавчої влади (до 30 днів). Разом із підготовкою самого звіту процедура забирає мінімум кілька місяців а то і роки [5].

Ще однією з нагальних проблем є фактично наявне дублювання процедур стратегічної екологічної оцінки (СЕО) та Оцінки впливу на довкілля(ОВД).

Для підготовки звіту СЕО розробнику потрібна офіційна екологічна статистика по району/місту. В Україні ці дані часто застарілі, неповні або закриті через воєнний стан.

При цьому проблеми реформування СЕО невіддільні від загальних існуючих проблем планування і забудови в Україні.

З 2002 року майже без жодних змін діє Закон України «Про Генеральну схему планування території України» , жодних змін ані до нього ані до самої Генеральної Схеми планування території України за останні двадцять років майже не внесено [6]. При цьому вказана Генеральна Схема прямо визначена у профільному законі «Про регулювання містобудівної діяльності» як основа для розробки всього каскаду документів державного планування [7].

Наразі можна говорити не лише про втрату актуальності частини положень Генеральної Схеми планування території України, а і про повну неможливість використання такого документу в нових умовах.

Вважаємо, доцільним створення механізму, за якого Генеральна Схема планування території України могла б стати більш гнучким планувальним документом, зміни до якої могли б вноситись на підставі Постанови Кабінету Міністрів України, при цьому Закон «Про генеральну схему планування території України» має втратити чинність.

Вважаємо що необхідні істотні зміни, що мали б враховувати нове розуміння щодо рівнів планування в Україні та принципового погляду на планування, змін щодо розуміння стратегічної екологічної оцінки та вимог, які мають ставитись до розробки СЕО. Особливого значення відповідні зміни мають до відновлення екофонду України включаючи водні ресурси.

Список використаних джерел

1. Лопушинський І. П., Проніна О. В. Підрив Каховської ГЕС: наслідки для екологічної безпеки України. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2024. № 1(88). С. 372-377. DOI: https://doi.org/10.35546/ktu2078-4481.2024.1.52

2. Каховську ГЕС з водосховищем категорично не можна відновлювати: думка екологів» (2025). УНІАН (22.08.2023р). (Дата звернення 25.09.2026)

https://www.unian.ua/ecology/kahovsku-ges-z-vodoshovishchem-vidnovlyuvati-kategorichno-ne-mozhna-prichini-12368295.html

3. Bunch, K. (2022, April 19). The Great Lakes before the 1972 Water Quality Agreement. Shared Waters: International Joint Commission Newsletter. (Дата звернення 25.09.2026) https://www.ijc.org/en/great-lakes-1972-water-quality-agreement

4. Міндовкілля: Реалізація планів управління річковими басейнами — це імплементація вимог Водної Рамкової Директиви ЄС. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (31 січня 2025 року) (Дата звернення 25.09.2026) https://www.kmu.gov.ua/news/mindovkillia-realizatsiia-planiv-upravlinnia-richkovymy-baseinamy-tse-implementatsiia-vymoh-vodnoi-ramkovoi-dyrektyvy-ies

5. Про стратегічну екологічну оцінку: Закон України від 20.03.2018. (дата звернення: 25.09.2026). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19

6. Закон України «Про Генеральну схему планування території України» від 07.02.2002р № 3059-III. "Голос України", 2002, 04, 02, N 61.

7. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» від 17.02.2011р № № 3038-VI. Урядовий кур'єр, 2011, 03, 23.03.2011 № 52

УДК 639.3.043

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СТЕРЛЯДІ В УСТАНОВКАХ ЗАМКНЕНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Микола СВІТЕЛЬСЬКИЙ[1], Оксана ІЩУК[2], Ігор СОКУЛЬСЬКИЙ[3],
Микола СЛЮСАР[4], Віталій МАМЧЕНКО[5]
[1,2,4,5] Житомирський державний університет імені Івана Франка, Житомир, Україна
[3] Поліський національний університет, Житомир, Україна
[1]svitmm71@ukr.net, [2]ischuk_o@ukr.net, [3]sokulskiy_1979@ukr.net, [4]slusar_nv@ukr.net, [5]79mamchenko@gmail.com

Abstract. *The study aimed to assess the hydrochemical parameters of the aquatic environment and safety indicators of sterlet (Acipenser ruthenus L.) reared in a recirculating aquaculture system. The water was analyzed for pH, iron, nitrites, ammonia and ammonium ions, sulfates, chlorides, and permanganate oxidation. Product safety was assessed based on organoleptic, microbiological, toxicological, and radiological indicators. The investigated hydrochemical parameters remained within the established permissible levels. No pathogenic microorganisms were detected in sterlet meat, while the concentrations of toxic elements and radionuclides did not exceed the permissible limits. The findings confirm the potential of recirculating systems for rational water use and safe aquaculture production.*

Раціональне використання водних ресурсів є однією з визначальних умов сталого розвитку сучасної аквакультури [1]. Зростання потреби у продукції рибництва одночасно зі скороченням природних запасів водних біоресурсів,

погіршенням стану окремих водних екосистем та необхідністю економного використання води зумовлює пошук технологій, які дозволяють зменшити залежність виробництва від природних водойм [2, 3]. Водночас важливою складовою сталого розвитку аквакультури є отримання якісної та безпечної рибної продукції, що безпосередньо пов'язано зі станом водного середовища та дотриманням технологічних параметрів її вирощування [4]. Одним із перспективних напрямів є застосування установок замкненого водопостачання (УЗВ), у яких багаторазове використання води поєднується з можливістю регулювання основних параметрів середовища вирощування риби [5].

Раціональне використання водних ресурсів є однією з визначальних умов сталого розвитку сучасної аквакультури [6]. Зростання потреби у продукції рибництва одночасно зі скороченням природних запасів водних біоресурсів, погіршенням стану окремих водних екосистем та необхідністю економного використання води зумовлює пошук технологій, які дозволяють зменшити залежність виробництва від природних водойм [2, 6]. Одним із перспективних напрямів є застосування установок замкненого водопостачання (УЗВ), у яких багаторазове використання води поєднується з можливістю регулювання основних параметрів середовища вирощування риби [7].

Особливе значення такі технології мають для штучного вирощування цінних видів осетрових риб. Стерлядь (*Acipenser ruthenus L.*) є перспективним об'єктом інтенсивної аквакультури, водночас природні популяції цього виду потребують охорони [8]. Розвиток контрольованого вирощування стерляді може сприяти зменшенню навантаження на природні популяції та створенню стабільного джерела якісної товарної продукції. Однак ефективність функціонування УЗВ значною мірою визначається якістю води, оскільки в умовах її рециркуляції можливе накопичення продуктів метаболізму риб та компонентів корму [9]. Тому постійний контроль гідрохімічного режиму є необхідною складовою технології.

Метою дослідження було оцінити гідрохімічні параметри водного середовища та показники екологічної безпеки товарної стерляді, вирощеної в умовах установки замкненого водопостачання.

Дослідження проводили на базі ТОВ «СГФ «Інтеррибгосп». Матеріалом були проби води з басейнів УЗВ та стерлядь, вирощена в умовах замкненого водопостачання. Під час оцінювання стану водного середовища визначали pH, вміст заліза, нітритів, аміаку та іонів амонію, сульфатів і хлоридів, а також перманганатну окиснюваність. Відбір проб води та риби здійснювали відповідно до чинних нормативних документів [10, 11].

Якість вирощеної стерляді оцінювали за органолептичними та мікробіологічними показниками. Окрему увагу приділяли показникам екологічної безпеки продукції, зокрема вмісту токсичних елементів Cd, As, Hg і Pb та радіонуклідів 90Sr і 137Cs. Органолептичне оцінювання проводили з урахуванням вимог чинних стандартів [12, 13]. Визначення токсичних елементів та радіонуклідів проводили в Житомирській регіональній лабораторії Держпродспоживслужби.

Результати досліджень засвідчили, що за належного технологічного контролю в УЗВ можна підтримувати гідрохімічні характеристики водного середовища на рівні, сприятливому для вирощування стерляді. Величина pH води становила 7,2. Вміст заліза знаходився на рівні 0,09 мг/дм³, нітритів – 0,051 мг/дм³, аміаку та іонів амонію – менше 0,04 мг/дм³. Перманганатна окиснюваність становила 8,0 мг/дм³, концентрація сульфатів – 52,77 мг/дм³, хлоридів – 14,81 мг/дм³. Досліджені показники не перевищували відповідних нормативних значень.

Особливо важливим для функціонування рециркуляційної системи є контроль сполук азоту. Накопичення аміаку та нітритів може негативно впливати на фізіологічний стан риб, тому їх концентрація є одним з інформативних показників стабільності роботи УЗВ [2, 6]. За результатами наших досліджень вміст аміаку та іонів амонію не перевищував 0,04 мг/дм³, а нітритів становив 0,051 мг/дм³. Це свідчить про можливість підтримання належної якості води за дотримання технологічного режиму вирощування.

Оцінювання органолептичних показників підтвердило належний стан товарної стерляді. Поверхня тіла риб була чистою, із природним забарвленням та незначним шаром слизу. Стерлядь проявляла характерні ознаки життєдіяльності, природні рухи тіла та зябрових кришок. Механічних ушкоджень та візуальних ознак захворювань не встановлено. Очі були світлими і прозорими, забарвлення зябер відповідало природному стану риби. Отримані результати відповідали вимогам нормативних документів щодо якості живої риби [12, 13].

Важливою складовою дослідження було визначення вмісту токсичних елементів. Концентрація кадмію у м'ясі стерляді становила 0,04 мг/кг, ртуті – 0,004 мг/кг, свинцю – 0,01 мг/кг, а миш'яку – менше 0,1 мг/кг. За всіма дослідженими елементами встановлені концентрації не перевищували гранично допустимих рівнів. Отримані дані узгоджуються з необхідністю комплексного контролю безпечності продукції аквакультури [14].

Мікробіологічні дослідження також підтвердили безпечність отриманої продукції. У досліджуваних зразках не виявлено *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, бактерій групи кишкової палички та патогенних мікроорганізмів, у тому числі сальмонел. Таким чином, за дослідженими мікробіологічними показниками м'ясо стерляді відповідало встановленим нормативним вимогам.

Результати радіологічного контролю показали, що активність 90Sr у м'ясі стерляді становила 3,5 Бк/кг за допустимого рівня 100 Бк/кг. Для 137Cs отримано значення 3,8 Бк/кг за допустимого рівня 130 Бк/кг. Отже, фактичний вміст досліджених радіонуклідів був значно нижчим від встановлених допустимих рівнів.

Отримані результати показують, що застосування установок замкненого водопостачання дає можливість поєднати інтенсивне вирощування цінних видів риб із контрольованим використанням водних ресурсів. Водночас ефективність таких систем безпосередньо залежить від дотримання технологічних параметрів,

насамперед постійного контролю гідрохімічного режиму та роботи систем очищення і рециркуляції води.

Використання УЗВ може розглядатися як перспективний напрям розвитку водоощадної аквакультури. Зменшення потреби у постійному залученні нових об'ємів води та можливість контролю її якості набувають особливої актуальності за умов зростання антропогенного навантаження на природні водні об'єкти та необхідності раціонального використання водних ресурсів.

Таким чином, досліджені гідрохімічні показники води в УЗВ при вирощуванні стерляді знаходилися в межах нормативних значень. Товарна риба відповідала нормативним вимогам за органолептичними та дослідженими мікробіологічними показниками, а концентрації токсичних елементів і радіонуклідів не перевищували допустимих рівнів. Отримані результати підтверджують перспективність використання рециркуляційних систем для вирощування стерляді та одержання безпечної продукції аквакультури за умови належного контролю якості водного середовища.

Список використаних джерел

1. Pytulyak, M., & Pytulyak, M. (2019). Modern state and peculiarities of using water resources of khmelnytskyi region. The scientific issues of ternopil volodymyr hnatiuk national pedagogical university. Series: geography, 47(2), 156–163. https://doi.org/10.25128/2519-4577.19.3.19

2. Андрющенко, А. І., & Вовк, Н. І. (2014). Індустріальна аквакультура. Наука.

3. Sakharnatskyi, V. (2023). Ecological and economic assessment of the use of water resources of Ukraine in the context of sustainable development. Journal Balanced Nature Using, 3, 76 – 83. DoI: 10.33730/2310-4678.3.2023.287819

4. Prylipko, T. M. (2023). Main principles of regulatory regulation of the safety of fish products in the trade process. Herald of LUTE. Technical Sciences, 34, 55–59. https://doi.org/10.32782/2522-1221-2023-34-07

5. Fruscella, L., Passantino, A., & Kotzen, B. (2026). Fish Welfare in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): The Imperative for Environmental Enrichment (EE). Animals : an open access journal from MDPI, 16(4), 635. https://doi.org/10.3390/ani16040635

6. Андрющенко, А. І., Вовк, Н. І., & Кондратюк, В. М. (2017). Технології прісноводної аквакультури. Т. ІІІ. Індустріальна прісноводна аквакультура. ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ».

7. Qiu, J., Shen, F., Zhang, Y., Zong, C., Guo, H., Zhang, D., & Chen, H. (2026). In Situ Recirculating Aquaculture System Improves the Growth Performance of Shrimp (Penaeus vannamei) via Shaping Diverse Bacterial Communities. Microorganisms, 14(2), 401. https://doi.org/10.3390/microorganisms14020401

8. Шевченко, В. Ю., & Чемодуров, О. В. (2020). Стерлядь та ленський осетер як об'єкти вирощування в УЗВ. У Інноваційні підходи до формування та управління антропогенними і природними екосистемами півдня України: матеріали науково-практичної інтернет-конференції (с. 24–25). ХДАУ.

9. Jafari Pastaki, N., Abdollahpour, H., & Falahatkar, B. (2025). Developmental responses of sterlet (Acipenser ruthenus) to temperature modulation with insights into

intestinal and morphological traits. Scientific reports, 15(1), 18170. https://doi.org/10.1038/s41598-025-02566-y

10. Державний стандарт України. (2003). ДСТУ ISO 5667-2:2003. Якість води. Відбирання проб. Частина 2. Настанови щодо методів відбирання проб.

11. Державний стандарт України. (2015). ДСТУ 7972:2015. Риба та рибні продукти. Правила приймання, методи відбирання проб.

12. Державний стандарт України. (2016). ДСТУ 8451:2015. Риба та рибні продукти. Методи визначення органолептичних показників. ДП «УкрНДНЦ».

13. Державний стандарт України. (2010). ДСТУ 2284:2010. Риба жива. Загальні технічні вимоги.

14. Димань, Т., Гриневич, Н., & Мазур, Т. (2022). Безпека харчових гідробіонтів. ВЦ «Академія».

УДК 504.06:628.3

КОМПЛЕКСНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ЯК СКЛАДОВА РЕАЛІЗАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЗЕЛЕНОГО КУРСУ У СЛОБОЖАНСЬКІЙ ГРОМАДІ

Тетяна МАКАРОВА, Леся ПІКІНЕР
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна
makarova.t.k@dsau.dp.ua

Abstract. *This study substantiates a set of technological solutions for domestic wastewater treatment and surface runoff regulation within the Slobozhanska territorial community, Dnipro District, Dnipropetrovsk Oblast. The relevance of the research stems from the absence of local stormwater treatment facilities, high groundwater levels, anthropogenic pressure from transport routes, and the deteriorating hydrochemical status of the Samara River. The implementation of a local treatment system based on membrane bioreactors is proposed, alongside nature-based solutions for rainwater storage, post-treatment, and reuse. The proposed measures will reduce pollutant input into surface and groundwater, enhance community flood resilience, and contribute to the European Green Deal implementation.*

Європейський зелений курс визначає перехід до ресурсоефективної, низьковуглецевої та екологічно безпечної моделі розвитку. Одним із його ключових напрямів є досягнення нульового забруднення води, повітря і ґрунтів. Для територіальних громад України ця концепція має особливе практичне значення, оскільки саме на локальному рівні формуються системи водовідведення, очищення стічних вод, поводження з поверхневим стоком і захисту водних об’єктів.

Слобожанська територіальна громада розташована в умовах значного техногенного навантаження. Її територія межує з великим промисловим центром — містом Дніпро, а через селище та прилеглі території проходять інтенсивні транспортні магістралі. Автомобільний транспорт, функціонування АЗС, складських об’єктів, ущільнення забудови та недостатній розвиток комунальної

інфраструктури зумовлюють надходження до поверхневих вод нафтопродуктів, завислих речовин, важких металів, мікропластику та інших забруднювачів.

Особливо гострою проблемою є відсутність повноцінних очисних споруд зливової каналізації. Поверхневий стік із дорожнього покриття, автостоянок, прибудинкових територій і промислово-складських зон потрапляє у водні об'єкти без належного очищення. За таких умов дощові та талі води стають переносниками забруднювальних речовин у річки, ґрунти та водоносні горизонти. Ситуація ускладнюється високим рівнем залягання ґрунтових вод — до 3 м від поверхні, що створює ризики підтоплення територій і швидкого поширення забруднення у підземному середовищі.

Метою дослідження є обґрунтування комплексної системи очищення господарсько-побутових і поверхневих стічних вод, адаптованої до природних та техногенних умов Слобожанської громади. Для досягнення мети проведено оцінку стану водних ресурсів, ідентифіковано основні джерела забруднення, розроблено технологічні рішення щодо локального очищення стоків та запропоновано природоорієнтовані заходи для управління зливовими водами.

Оцінювання якості води річки Самара виконано на основі польових досліджень, проведених у грудні 2025 року із застосуванням мультипараметрового аналізатора Hanna HI98194. Вимірювання проводилися у межах селища Слобожанське та в районі села Олександрівка. Результати підтвердили просторову неоднорідність гідрохімічного стану водотоку. У межах Слобожанського значення розчиненого кисню становило 4,31 мг/л, що перевищує мінімально допустимий рівень 4,0 мг/л. Водночас у районі Олександрівки його концентрація знизилася до 3,07 мг/л, що свідчить про дефіцит кисню та погіршення здатності водойми до природного самоочищення.

Додатково в районі села Олександрівка встановлено лужну реакцію водного середовища: показник pH становив 8,60 за нормативного інтервалу 6,5–8,5. Поєднання підвищеного pH і низького вмісту розчиненого кисню є індикатором несприятливих умов для гідробіонтів та може бути пов'язане з надходженням забрудненого поверхневого стоку, евтрофікаційними процесами або локальним антропогенним впливом. Отримані дані підтверджують необхідність запобігання скиданню неочищених вод і створення локальних об'єктів водоохоронної інфраструктури.

Для очищення господарсько-побутових стічних вод у роботі запропоновано застосування мембранних біореакторів — MBR-технології. Така система поєднує біологічне очищення в аеротенку з мембранним розділенням очищеної води та активного мулу. На відміну від традиційних вторинних відстійників, мембрани затримують завислі речовини, значну частину мікроорганізмів і активний мул, що забезпечує стабільно високу якість очищеної води та зменшує площу, необхідну для розміщення очисних споруд.

Запропонована технологічна схема передбачає кілька послідовних етапів: механічне очищення на решітках, вилучення піску, первинне освітлення стоків, біологічне очищення в аеротенку, мембранну фільтрацію, знезараження та відведення або повторне використання очищеної води. Розрахункова продуктивність локальної системи становить близько 122,2 м³/добу. Для

механічного очищення передбачено встановлення двох робочих решіток із шириною прозорів 16,4 мм, що дає змогу затримувати великі включення та захищати насосне й мембранне обладнання від пошкодження.

У біологічному блоці передбачено видалення органічних забруднювачів, сполук азоту та фосфору. Аерація забезпечує необхідну концентрацію кисню для життєдіяльності активного мулу та стабільного перебігу процесів окиснення органічних речовин. За розрахунками, необхідна площа аеротенка становить 87,2 м², а витрата повітря для аераційної системи — близько 4398 м³/год. Використання MBR-технології забезпечує компактність споруд, знижує ризик винесення мулу з очищеною водою та дозволяє отримати стік, придатний для технічного використання після доочищення і знезараження.

Важливою перевагою мембранних біореакторів є можливість їх розміщення в умовах обмежених земельних ресурсів. Для Слобожанської громади це є суттєвим фактором, оскільки ущільнення забудови та високий рівень ґрунтових вод обмежують можливості будівництва великих традиційних очисних споруд. Локальний MBR-комплекс може використовуватися для окремих житлових кварталів, громадських будівель, освітніх закладів, підприємств комунальної сфери або нових об’єктів забудови.

Другим складником комплексного підходу є впровадження природоорієнтованих рішень — Nature-Based Solutions. Їх сутність полягає у використанні природних процесів інфільтрації, фільтрації, випаровування та біологічного очищення для зменшення обсягу забрудненого поверхневого стоку. До таких рішень належать дощові сади, біофільтраційні смуги, інфільтраційні траншеї, водопроникні покриття, штучні водойми-накопичувачі, фітоочисні споруди та системи збору дощової води.

Для території громади запропоновано створення локальної системи акумулювання поверхневого стоку із водозбірної площі близько 3000 м². За розрахункової інтенсивності опадів 0,55 л/(с·га), коефіцієнта стоку 0,9 та тривалості розрахункового дощу 1,5 години необхідний об’єм накопичувального резервуара становить 1485 м³. Така споруда дасть змогу перехоплювати значну частину зливового стоку, знижувати навантаження на прилеглі водні об’єкти та зменшувати ризики локального підтоплення.

Перед надходженням до резервуара дощова вода має проходити попереднє очищення у біофільтраційній зоні. До її складу можуть входити піщано-гравійний фільтрувальний шар, геотекстиль, дренажна система та рослини, стійкі до періодичного затоплення. Рослинний покрив виконує кілька функцій: затримує завислі речовини, сприяє фільтрації води, акумулює частину біогенних речовин, покращує мікроклімат території та формує зелену інфраструктуру громади. Застосування таких рішень особливо важливе для очищення стоку з територій, де можливе надходження нафтопродуктів, пилу, важких металів і продуктів зносу автомобільних шин.

Окремо опрацьовано рішення для Слобожанського ліцею. Водозбірна площа покрівлі будівлі становить 2322 м². За розрахункової інтенсивності дощу 0,01 л/(с·м²) та коефіцієнта стоку 0,9 витрата дощових вод становить 20,9 л/с. Для перехоплення та акумулювання стоку запропоновано резервуар місткістю

134 м³. Зібрану воду доцільно використовувати для підземного зрошення озеленених територій закладу освіти.

Для подачі накопиченої дощової води в систему підземного краплинного зрошення передбачено продуктивність близько 3,78 м³/год. Орієнтовний діаметр трубопроводу становить 16–20 мм, а глибина залягання труб — 10–15 см. Такий підхід забезпечує економне використання води, зменшує витрати на полив зелених насаджень, знижує випаровування порівняно з поверхневим зрошенням і сприяє формуванню комфортного мікроклімату на території ліцею.

Запропонована система має не лише екологічне, а й кліматичне значення. Використання накопиченої дощової води для поливу дозволяє скоротити споживання централізованої води. Збільшення площі озеленення та впровадження дощових садів сприяють послабленню ефекту «міського острова тепла», зменшенню запиленості повітря та підвищенню рекреаційної цінності території. У поєднанні з MBR-очищенням природоорієнтовані рішення утворюють єдину систему, у якій вода розглядається не як відхід, а як ресурс для повторного використання.

Таким чином, комплексне очищення господарсько-побутових і поверхневих стічних вод є необхідною умовою екологічної модернізації Слобожанської громади. Результати дослідження річки Самара засвідчили наявність проблемних ділянок із дефіцитом розчиненого кисню та порушенням кислотно-лужного балансу води. Основним шляхом зниження негативного антропогенного впливу є запобігання прямому надходженню неочищених стоків у водні об’єкти.

Впровадження мембранних біореакторів забезпечить глибоке очищення господарсько-побутових вод на локальному рівні, а природоорієнтовані рішення дадуть можливість акумулювати, очищувати та повторно використовувати поверхневий стік. Поєднання технічних споруд із зеленою інфраструктурою відповідає принципам концепції Zero Pollution, сприяє адаптації громади до кліматичних змін і формує практичну основу для реалізації Європейського зеленого курсу в умовах повоєнного відновлення України.

Список використаних джерел

1. European Commission. EU Action Plan: Towards a Zero Pollution for Air, Water and Soil. Brussels, 2021. https://surl.li/mzwrhu

2. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування.

3. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій.

4. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text

УДК 631.6:001.895

ПРОБЛЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙВОДОКОРИСТУВАЧІВ (ОВК) ТА ПОТРЕБА В ІННОВАЦІЙНИХ РІШЕННЯХ

Віталій ПОЛІЩУК, Тетяна МАТЯШ,
Анастасія САРДАК, Ігор КОВАЛЕНКО
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна
vitaliypolishchuk@ukr.net

Abstract. *The main problems affecting the functioning of water user organizations (WUOs) in irrigated agriculture were examined, and the need for implementing modern innovative solutions was substantiated. Key challenges related to water supply, energy supply, the technical condition of irrigation infrastructure, human resources and institutional issues, as well as war-related and climate-related risks, were systematized. A knowledge base structure for innovative solutions was developed covering technical, technological, energy, information, and organizational components. The developed knowledge can be used to substantiate scenarios for the innovative development of irrigation at the WUO level.*

Ефективне функціонування організацій водокористувачів (ОВК) та забезпечення сталого ведення зрошуваного землеробства потребують впровадження сучасних технічних, технологічних, інформаційних і організаційних рішень. На основі аналізу наукових та інформаційно-аналітичних джерел, а також узагальнення вітчизняного досвіду було визначено, що впровадження інновацій при веденні зрошуваного землеробства на основі лише експертного оцінювання та за довідковими даними з розрізнених джерел інформації не забезпечує необхідну обізнаність при прийнятті управлінських рішень щодо їх впровадження, оскільки не дозволяє врахувати різноманіття впливів (як позитивних, так і негативних), особливо у контексті адаптації до конкретних умов ведення аграрного виробництва на зрошуваних землях (технічний стан зрошувальної інфраструктури; наявність та стан земельних та водних ресурсів; тип управління; кадровий потенціал та ін.), а також потребують оцінки щодо можливих економічних та управлінських переваг.

Метою роботи є систематизація сучасних інноваційних рішень у сфері зрошуваного землеробства на рівні ОВК та формування структури бази знань для обґрунтування можливих сценаріїв інноваційного розвитку зрошення з урахуванням технічних, технологічних, економічних, екологічних та організаційних чинників.

Дослідження базувалося на аналізі наукових та інформаційно-аналітичних джерел, узагальненні міжнародного і вітчизняного досвіду функціонування ОВК, а також на результатах комунікації з представниками водокористувачів. Визначення перспективних напрямів інновацій здійснювалося за критеріями їх технічної, технологічної, економічної, організаційної та екологічної доцільності.

За результатами проведених досліджень та комунікації з водокористувачами визначено наступні основні проблеми, що впливають на функціонування ОВК:

1. *Водопостачання та управління водними ресурсами*. Дефіцит води під час пікових періодів зрошення; втрати води через фільтрацію та випаровування в каналах (15–25% за сезон); невідповідність між установленими лімітами водорозподілу та фактичними потребами водокористувачів; відсутність або недостатня ємність резервуарів для накопичення води; погіршення якості води (зокрема внаслідок підвищеного вмісту наносів і замулення).

2. *Енергопостачання та вартість ресурсів.* Висока вартість та нестабільне постачання електроенергії; застаріле електрообладнання на насосних станціях; обмежені можливості для використання резервних генераторів та альтернативних джерел енергії; недостатність резервних потужностей на окремих насосних станціях.

3. *Технічний стан зрошувальної інфраструктури*. Значний фізичний знос трубопроводів (до 90 %); застаріле насосне обладнання та відсутність резервних насосних агрегатів; незадовільний технічний стан будівель насосних станцій; дефіцит спеціалізованого обладнання для експлуатації та технічного обслуговування зрошувальної інфраструктури.

4. *Земельні та інституційні питання.* Фрагментація земельних ділянок та складність їх консолідації; короткострокові договори оренди землі (від 1 до 20 років), що можуть стримувати довгострокові інвестиції; конфлікти та ризики, пов’язані з процесами консолідації земель; недостатня розвиненість інструментів обов’язкової або добровільної консолідації земель для відновлення і розвитку зрошення.

5. *Кадрові ресурси*. Дефіцит кваліфікованого персоналу, зокрема гідравлічних інженерів, енергетиків та операторів насосних станцій; недостатня кількість молодих спеціалістів; потреба у структурованій системі підготовки та підвищенні кваліфікації персоналу, відповідального за експлуатацію та технічне обслуговування зрошувальних систем.

6. *Військові та зовнішні ризики*. Підвищені військові ризики для об'єктів критичної інфраструктури (насосних станцій, трансформаторних підстанцій); обмеження можливостей довгострокового інвестиційного планування в умовах безпекової нестабільності; ускладнення логістики, технічного обслуговування, постачання обладнання та забезпечення трудовими ресурсами.

7. *Агрономічні та кліматичні виклики*. Невідповідність окремих традиційних агрономічних стандартів (норм посіву, методів удобрення) сучасним кліматичним умовам; зростання мінливості клімату, що ускладнює планування виробництва; необхідність у диверсифікації сівозміни та ін.

Для подолання зазначених проблем сформовано основні напрямки впровадження інноваційних на рівні ОВК: *заміна насосно-силового обладнання* на насосних станціях (із системами плавного пуску, частотними перетворювачами та автоматизованого керування); *реконструкція магістральних та розподільчих каналів (МК та РК)* (відновлення облицювання плит, облаштування протифільтраційним матеріалом каналу – геомембраними плівками); *впровадження рентабельних сівозмін; встановлення систем накопичення енергії; створення акумулюючих ємностей* для підвищення надійності водозабезпечення в період зменшення річного річкового стоку, яка

буде заповнюватися самопливом; *створення сонячної електростанції (СЕС)* на акумулюючих ємностях та вздовж каналів.

Запропоновані напрями впровадження інновації можливо використати для формування сценаріїв інноваційного розвитку зрошення на рівні ОВК, залежно від умов господарювання, та виконання економічної оцінки їх доцільності на прикладі пілотної території.

Впровадження інновацій на рівні ОВК також супроводжується низкою викликів, основні з яких: організаційні питання (налагодження взаємодії та обміну інформацією між розробниками інноваційних рішень та їх споживачами); вирішення технічних проблем на новітньому технологічному та технічному рівні (технічне переоснащення та модернізація дощувальних машин, насосних станцій та інших елементів зрошувальної інфраструктури, використання альтернативних джерел енергії та ін.); людський фактор (підготовка і навчання персоналу, зміна системи мислення спеціалістів господарств); потреба в постійному удосконаленні системи (адаптація технологій до екстремальних умов експлуатації, тощо); доповнення систем сучасними продуктами (дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), інформаційних систем моніторингу та технологій підтримки управлінських рішень тощо) та ін.

За результатами досліджень розроблено структуру бази знань сучасних інноваційних рішень для зрошення на рівні ОВК (табл. 1), що включає технічні, технологічні та організаційні заходи й технології.

Сформована база може використовуватися як своєрідний посібник та довідник різносторонньої інформації щодо існуючих інновацій в зрошуваному землеробстві, в якому буде представлено аналіз позитивних та слабких сторін, необхідні ресурси для впровадження та ін., що дозволить користувачам розглядати різні варіанти впровадження інновацій, провести комплексний всебічний аналіз ефективності різних сценаріїв розвитку ОВК при зрошенні.

Систематизація інноваційних рішень та формування відповідної бази знань створюють інформаційне підґрунтя для обґрунтування сценаріїв розвитку та модернізації зрошення на рівні ОВК, з урахуванням конкретних технічних, ресурсних, економічних, екологічних та організаційних умов.

Таблиця 1. Структура бази знань сучасних інноваційних рішень для зрошенні на рівні ОВК

Напрямки інновацій	Інноваційні рішення / технології					
	А	**Б**	**В**	**Г**	**Д**	**Е**
	Зрошуване землеробство	**Зрошувальна інфраструктура та технології поливу**	**Системи енергозбереження, альтернативної енергетики**	**Інформаційні системи**	**Організаційні заходи**	**Сценарне моделювання**
1.	А.1. Системи точного землеробства	Б.1 Насосно-силове обладнання	В.1. Системи зберігання енергії	Г.1 Засоби наземного та дистанційного моніторингу	Д.1.Проведення інвентаризації стану меліоративної інфраструктури	Е.1 Аналіз зацікавлених сторін
2.	А.2. Системи низьковуглецевого землеробства	Б.2. Водопровідна мережа	В.2 Сонячні електростанції (СЕС)	Г.2. Інформаційні системи планування водопотреби	Д.2 Організація діалогу зацікавлених сторін	Е.2.SWOT-аналіз (сильні та слабкі сторони, можливості та загрози)
3.	А.3. Сівозміни на зрошенні	Б.3. Дощувальні машини	В.3. Вітрова енергетика	Г.3. Інформаційні системи оперативного планування зрошенням	Д.3.Моніторинг землекористування та нормативно-грошова оцінка земельних ділянок	Е.3. Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) сценаріїв
4.	А.4 Стимулятори росту	Б. 4. Системи краплинного зрошення та мікродощування	В.4. Агровольтаїка	Г.4. Інформаційні системи в землеробстві	Д.4.Інтегрована консолідація земель для відновлення та будівництва систем зрошення	Е.4 Оцінка сценаріїв за комплексом екологічних, економічних та соціальних індикаторів
5.	А.5 . Система удобрення	Б.5. Акумулюючі ємності	-	-	-	Е.5. Стратегічне та річне планування

Висновок. Встановлено, що основними перспективними інноваціями при веденні зрошення та зрошуваного землеробства на рівні ОВК є модернізація технічних засобів зрошувальної інфраструктури та технологій поливу; підвищення енергоефективності й упровадження систем накопичення енергії та альтернативних джерел енергопостачання; застосування засобів наземного і дистанційного моніторингу; розвиток технологій точного та низьковуглецевого землеробства; удосконалення інформаційних систем підтримки прийняття управлінських рішень; підвищення надійності експлуатації зрошувальної інфраструктури; розвиток організаційних механізмів координації водокористувачів; а також підготовка та підвищення кваліфікації фахівців.

УДК 332.3:631.4:338.43

СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ ЗАСАДИ ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Лілія СКРИПНИК
Інститут землекористування НААН України
Національний університет «Київський авіаційний інститут»
Київ, Україна
liliia.skrypnyk@npp.kai.edu.ua

Abstract. *The paper examines the socio-economic aspects of restoring agricultural land damaged by military activities in Ukraine. The relationship between war-induced soil degradation, restrictions on agricultural land use, production losses and the resilience of rural areas is considered. Particular attention is paid to the spatial differentiation of restoration measures, support for agricultural producers, compensation mechanisms and innovative financing. An integrated approach combining environmental assessment, spatial planning and socio-economic instruments is proposed. Its implementation is aimed at returning damaged land to safe productive use, reducing economic losses and strengthening the resilience of agricultural producers and rural communities.*

Повномасштабна війна в Україні спричинила масштабні трансформації земельно-ресурсного потенціалу сільського господарства. Воєнно-техногенний вплив проявляється у механічному порушенні ґрунтового покриву, утворенні вирв, перемішуванні ґрунтових горизонтів, ущільненні ґрунту важкою військовою технікою, локальному хімічному забрудненні, а також мінуванні та наявності вибухонебезпечних речовин. Дослідження, проведене на території Харківської області, засвідчило значні масштаби фізичного порушення ґрунтів та підтвердило доцільність поєднання дистанційного зондування, ґрунтового картографування, польових і лабораторних досліджень для оцінювання воєнного впливу на подальші особливості використання земель сільськогосподарського призначення (Bonchkovskyi et al., 2025).

Водночас наслідки пошкодження земель виходять за межі екологічної проблематики. Обмеження доступу до сільськогосподарських угідь, неможливість їх безпечного використання, погіршення властивостей ґрунтів та необхідність додаткових витрат на обстеження, розмінування і відновлення формують безпосередні економічні втрати агровиробників. На рівні сільських територій це позначається на зайнятості населення, доходах землевласників і землекористувачів, господарській активності та фінансовій спроможності територіальних громад.

Просторовий аналіз наслідків війни для аграрного виробництва у п'яти високоризикових регіонах України показав, що у 2022 р. близько 18,11±2,47 % досліджуваних площ сільськогосподарських культур залишилися незасіяними. На оброблюваних площах скорочення виробництва пшениці, соняшнику та ріпаку порівняно із середнім рівнем 2019–2021 рр. оцінено у межах 36,39–37,19 %. При цьому розраховані авторами непрямі економічні втрати від скорочення виробництва перевищували прямі втрати, пов'язані з незасіяними площами, у 1,31–2,16 раза (Chen et al., 2024).

Значний масштаб економічних наслідків підтверджують і результати Fourth Rapid Damage and Needs Assessment. Станом на 31 грудня 2024 р. прямі збитки аграрного сектору України оцінювалися у 11,2 млрд дол. США, а сукупні економічні втрати – у 72,7 млрд дол. США (Government of Ukraine et al., 2025). Це свідчить, що відновлення пошкоджених земель необхідно розглядати не лише як природоохоронне завдання, а як складову відновлення виробничого потенціалу аграрного сектору та забезпечення соціально-економічної стійкості сільських територій.

Особливої актуальності проблема набуває для сільськогосподарських підприємств, діяльність яких безпосередньо залежить від доступності та якості земельних ресурсів. За результатами дослідження FAO, що охопило 2612 аграрних підприємств у 23 областях України, серед ключових проблем виробників визначено зростання виробничих витрат, дефіцит робочої сили, забруднення земель та перебої в енергопостачанні (FAO, 2025). Зокрема, понад 86 % опитаних виробників зазначали негативний вплив високих виробничих витрат, тоді як про забруднення полів мінами та вибухонебезпечними залишками повідомили 18 % рослинницьких підприємств загалом по країні та 38 % у прифронтових областях (FAO, 2025).

За таких умов доцільним є формування організаційно-просторового підходу до відновлення пошкоджених земель, який поєднуватиме екологічні, просторові та соціально-економічні критерії. Його основою має стати диференціація територій за характером і ступенем пошкодження, рівнем небезпеки, потенційною продуктивністю земель та соціально-економічною доцільністю їх повернення до сільськогосподарського використання. Такий підхід дозволить спрямовувати фінансові та матеріальні ресурси насамперед на території, відновлення яких забезпечуватиме найбільший ефект для аграрного виробництва та життєздатності сільських громад. Основні взаємозв'язки між наслідками пошкодження земель та напрямами їх відновлення систематизовано в табл. 1.

Таблиця 1. Соціально-економічні аспекти відновлення пошкоджених сільськогосподарських земель

Проблема	**Соціально-економічний наслідок**	**Напрям відновлення**
Мінування та воєнне забруднення	Обмеження землекористування, втрати виробництва і доходів	Розмінування, оцінювання та зонування
Деградація ґрунтів	Зниження продуктивності, зростання витрат	Рекультивація, ремедіація, моніторинг
Вилучення земель з обігу	Втрати землевласників і виробників	Компенсації, державна та грантова підтримка
Скорочення агровиробництва	Зниження зайнятості та спроможності громад	Пріоритетне відновлення, державно-приватне партнерство, інвестиційна підтримка

Джерело: сформовано автором на основі Bonchkovskyi et al., 2025; Chen et al., 2024; FAO, 2025.

Наведена систематизація показує, що вибір способу відновлення земель повинен визначатися не лише екологічним станом ділянки. До системи критеріїв доцільно включати її господарське значення, потенціал відновлення агровиробництва, очікувані витрати, кількість землекористувачів, залежних від відповідної території, та потенційний вплив на економічну активність громади. Відповідно, для земель із різним ступенем пошкодження мають застосовуватися диференційовані управлінські рішення – від прискореного повернення до продуктивного використання після обстеження та розмінування до рекультивації, тимчасової консервації або зміни режиму використання.

На національному рівні запропонований підхід має передбачати формування єдиних методичних засад оцінювання пошкоджених земель, інтеграцію результатів моніторингу до державної геоінформаційної системи та встановлення критеріїв черговості фінансування відновлювальних заходів. Геоінформаційна складова при цьому виконує не лише інформаційну, а й економічну функцію, оскільки просторове зіставлення характеру пошкоджень, землекористування, мінної небезпеки та потенційної продуктивності дає змогу обґрунтовувати пріоритетність інвестицій у відновлення. Можливості використання високоточних супутникових даних для ідентифікації воєнних порушень ґрунтового покриву підтверджуються сучасними дослідженнями (Bonchkovskyi et al., 2025).

На регіональному та місцевому рівнях пріоритетність відновлення доцільно визначати з урахуванням специфіки агроландшафтів і потреб територіальних громад. Саме на цьому рівні можливе поєднання результатів інвентаризації земель із даними щодо структури місцевого агровиробництва, зайнятості та потреб землекористувачів. Відповідно, органи місцевого самоврядування мають бути залучені не лише до фіксації пошкоджень, але й до визначення черговості відновлення та контролю за подальшим використанням земель.

Окремим елементом запропонованого підходу є формування фінансово-компенсаційного механізму. Тимчасова неможливість використання земель через мінування, забруднення, рекультивацію або консервацію означає втрату потенційного доходу для власника чи землекористувача. Тому система відновлення має передбачати прозорі механізми компенсації, державні та грантові програми, пільгове фінансування відновлювальних заходів, а також залучення приватного капіталу.

Перспективним у цьому контексті є застосування інноваційних фінансових інструментів. У дослідженні UNDP щодо фінансування протимінної діяльності в Україні розглядаються, зокрема, облігації, пов'язані з досягненням цілей сталого розвитку (*Sustainability-Linked Bonds*), та державно-приватне партнерство, орієнтоване на результат (*Outcome-Based Public-Private Partnership*) (UNDP, 2024). Поєднання фінансування розмінування з подальшим економічним використанням очищених територій створює можливості для переходу від моделі фінансування окремих відновлювальних робіт до комплексного відновлення економічної функції земель.

Отже, соціально-економічна результативність відновлення пошкоджених сільськогосподарських земель має визначатися не лише кількістю обстежених,

розмінованих або рекультивованих гектарів. Кінцевим результатом повинно бути безпечне повернення земель до економічно доцільного використання, відновлення виробничої діяльності аграрних підприємств, скорочення втрат землевласників і землекористувачів, підтримка зайнятості та зміцнення економічної спроможності сіл

Поєднання просторової оцінки пошкоджених територій із соціально-економічними критеріями пріоритетності дозволить підвищити адресність відновлювальних заходів та ефективність використання обмежених фінансових ресурсів.

Список використаних джерел

1. Bonchkovskyi, O., Ostapenko, P., Bonchkovskyi, A. and Shvaiko, V. (2025) 'War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change', *Science of the Total Environment*, 964, 178594. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969725002281

2. Chen, B., Tu, Y., An, J., Wu, S., Lin, C. and Gong, P. (2024) 'Quantification of losses in agriculture production in eastern Ukraine due to the Russia-Ukraine war', *Communications Earth & Environment*, 5, 336. doi: 10.1038/s43247-024-01488-3. https://www.nature.com/articles/s43247-024-01488-3

3. FAO (2025) *Ukraine: Impact of the war on agricultural enterprises: Findings of a nationwide survey, October–November 2024*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://openknowledge.fao.org/items/1fe3c0a0-a41e-4d12-a414-d86be17c0187

4. Government of Ukraine, World Bank Group, European Commission and United Nations (2025) *Ukraine: Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4), February 2022–December 2024*. Washington, DC: World Bank. https://documents1.worldbank.org/curated/en/099022025114040022/pdf/P180174-ca39eccd-ea67-4bd8-b537-ff73a675a0a8.pdf

5. UNDP (2024) *Enhancing Mine Action Finance in Ukraine: Feasibility Report*. United Nations Development Programme. https://www.undp.org/ukraine/publications/enhancing-mine-action-finance-ukraine

УДК 332.3:330.34:351:341.24(4)

ІНСТИТУЦІЙНІ ЗМІНИ В ЗЕМЛЕУСТРОЇ УКРАЇНИ: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ РЕФОРМУВАННЯ В УМОВАХ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ІНТЕГРАЦІЇ

Оксана САКАЛЬ[1], Роман ХАРИТОНЕНКО [2], Олексій КУЛАКОВСЬКИЙ[3]
Інститут землекористування НААН, Київ, Україна
Національний університет біоресурсів і природокористування, Київ, Україна
[1]o_sakal@ukr.net, [2]kharytonenkor@gmail.com, [3]oleksii.kulakovskyi@gmail.com

Abstract. *The paper substantiates the theoretical and methodological foundations of institutional change in Ukrainian land management under European integration. It argues for a shift from a transactional parcel-formation service towards a public-law institution of ecosystem regulation and sustainable spatial development. Enemark's Land Management Paradigm is extended with the value criteria of the New European Bauhaus - aesthetics, sustainability, inclusiveness - within specific functions. A comparative legal analysis identifies key institutional gaps between Ukrainian legislation and the EU acquis: conditionality, soil sealing, spatial data interoperability, SEA/EIA integration, and policy orientation. Recommendations for harmonisation are formulated.*

На сьогодні в Україна має значні соціальні та економічні перетворення, у зв'язку із набуттям статусу кандидата на членство в Європейському Союзі (далі - ЄС), впливом воєнних дій та повоєнного відновлення, що обумовлюють необхідність перегляду концептуальних засад функціонування земельно-ресурсного потенціалу держави. Поряд з тим земельні ресурси є базовим простором і матеріальним базисом національної економіки, а система землекористування безпосередньо визначає рівень продовольчої, екологічної та просторової безпеки [13]. Таким чином актуальність дослідження збільшується поточною динамікою переговорного процесу вступу України до ЄС. У свою чергу це формує обмежене «вікно підготовки», протягом якого необхідно сформулювати методологічне обґрунтування інституційних змін у землеустрої. Земельні ресурси - це такі ресурси, які вміщують в собі весь склад земель та земельних ділянок в тому числі ресурси. Сучасний вітчизняний землеустрій тривалий час функціонував переважно у так званому звуженому трансакційному форматі який можна охарактеризувати техніко-юридичним інструментом формування земельних ділянок і фіксації суб'єктних прав. Натомість вимоги гармонізації національного законодавства з *acquis* ЄС зумовлюють імператив його трансформації у публічно-правовий механізм екосистемного регулювання, а також просторової організації території та формування балансу щодо приватних і суспільних інтересів [13].

Теоретичні та прикладні аспекти трансформації земельних відносин і землеустрою в Україні висвітлено у публікаціях вітчизняних вчених [2,3], в яких обґрунтовано зв'язок між економічною модернізацією та інституційним середовищем землекористування. Закордонний доробок спирається на праці С. Енемарка, який сформулював парадигму управління земельними ресурсами (Land Management Paradigm) [7], розвинену в концепції Fit-For-Purpose Land Administration [7] та в рамковій моделі FELA [13]. Водночас питання інтеграції новітніх європейських ціннісних орієнтирів, зокрема Нового європейського

Баухаусу [8], та адаптації вітчизняної землевпорядної науки до імперативів Європейського зеленого курсу [10] залишаються недостатньо опрацьованими.

Метою дослідження є обґрунтування теоретико-методологічних засад системних інституційних змін у землеустрої України через виявлення не співпадінь між національним законодавством і правом ЄС. Методологічну основу становлять інституційний, системно-функціональний та порівняльно-правовий аналіз. Емпіричну базу утворюють акти земельного, містобудівного й природоохоронного законодавства України та акти вторинного права ЄС станом на вересень 2026 року. Зіставлення здійснено у форматі матричної систематизації за двома вимірами: функції адміністрування земель за парадигмою С. Енемарка [7] та рівні інституційного аналізу за чотирирівневою схемою О. Вільямсона [14]. Критеріями ідентифікації інституційного розриву визначено: а) відсутність нормативного аналога; б) наявність аналога за відсутності механізму примусу до виконання; в) семантичну або технологічну неінтероперабельність даних. Варто наголосити, що концептуальним фундаментом сучасного адміністрування земель виступає парадигма С. Енемарка, яка розглядає землю як неподільний просторово-екологічний ресурс, а адміністрування – це система взаємопов'язаних функцій: регулювання прав і ринку, оцінку й оподаткування, просторове планування й контроль) та розвиток територій і інфраструктури [7].

Виклики кліматичних змін, деградації ґрунтів і втрати біорізноманіття зумовлюють потребу ціннісного доповнення цієї моделі. Слід ураховувати, що парадигма С. Енемарка є функціонально-операційною конструкцією, тоді як Новий європейський Баухаус має статус ціннісно-програмної ініціативи без прямої нормативної сили [8]. Тому інтеграція здійснюється не шляхом додавання «п'ятого елемента», а через введення ціннісних критеріїв відбору проєктних рішень у межах функцій: естетика – формування ландшафтно-збалансованих територіальних систем і збереження культурної та ландшафтної спадщини; сталість – забезпечення кліматичної нейтральності, відтворення біорізноманіття, впровадження природоорієнтованих рішень; інклюзивність – гарантування просторової справедливості та співпроєктування за участі територіальних громад. У запропонованій моделі Державний земельний кадастр розглядається як геопросторове ядро, а Національна інфраструктура геопросторових даних – як механізм інтеграції відомостей про права, вартість та екологічні обмеження (рис. 1).



Рисунок 1. Парадигма управління земельними ресурсами за С. Енемарком (складено на основі [7], ціннісний контур (естетика, сталість, інклюзивність) додано авторами із використанням [8])

Систематизацію управлінських моделей країн ЄС здійснено на вибірці 14 держав-членів за матеріалами порівняльних досліджень систем просторового планування та національного законодавства. Застосовано два незалежні класифікаційні критерії, у зв'язку з чим одна держава може належати до різних груп у різних класифікаціях.

За режимом інституційного регулювання виокремлено: соціоекологічну модель (Німеччина, Нідерланди, Данія, Швеція), у якій землеустрій є провідним публічним інструментом екологічної політики, а стандарти GAEC, вимоги Директиви INSPIRE та Водної рамкової директиви інтегровані в земельний менеджмент; галузево-протекціоністську модель (Франція, Італія, Іспанія), орієнтовану на захист аграрного простору через інституції регулювання ринку (зокрема SAFER); посттрансформаційну модель (Польща, Чехія, Словаччина, держави Балтії) з високою динамікою інституційних змін і залученням структурних фондів ЄС.

За характером взаємодії кадастру та просторового планування виділено: інтегровану модель (Німеччина, Австрія, Фінляндія), де зміна функціональної зони автоматично породжує публічно-правове обтяження в кадастрі; координовану модель (Франція, Бельгія, Іспанія), де кадастр і планування функціонують автономно та взаємодіють через платформи інфраструктури геопросторових даних; транзитивну модель (Польща, Чехія, держави Балтії), що перебуває у стадії формування цифрової інтероперабельності під впливом Директиви INSPIRE [5].

Проведений порівняльно-правовий аналіз дав змогу виявити такі критичні інституційні розриви:

1) дивергенція цільової орієнтації: обслуговування обігу прав в Україні проти екосистемного регулювання та формування суспільних благ у ЄС [10].

2) фрагментарність регулювання щодо запечатування ґрунтів і приросту забудованих земель. Якщо до 2025 року ціль «нульового чистого приросту зайнятих земель» мала характер програмної настанови [9], то з набуттям чинності Директиви (ЄС) 2025/2360 про моніторинг і резильєнтність ґрунтів принципи пом'якшення приросту забудованих земель, зокрема щодо запечатування ґрунтів і знімання родючого шару, набули обов'язкового характеру з трирічним строком транспозиції [3]. У законодавстві України часткові функціональні аналоги існують (інститут зміни цільового призначення, режим особливо цінних земель), однак системний механізм і механізм примусу до виконання відсутні.

3) відсутність інституту екологічної обумовленості, що пов'язує доступ до державної підтримки зі стандартами належного сільськогосподарського та екологічного стану земель (GAEC) і законодавчо встановленими вимогами до управління (SMR) відповідно до Регламенту (ЄС) 2021/2115 [12].

4) інформаційна та семантична ізольованість Державного земельного кадастру, Державного аграрного реєстру й містобудівної документації громад, на противагу гармонізації просторових даних за Директивою INSPIRE [5] та функціонуванню Системи ідентифікації земельних ділянок (LPIS) у складі

інтегрованої системи адміністрування та контролю згідно із Регламентом (ЄС) 2021/2116 [11].

5) дезінтегрованість інструментів превентивної екологічної оцінки (СЕО та ОВД) від процедур землевпорядного проєктування, тоді як директиви 2001/42/ЄС і 2011/92/ЄС передбачають їх вбудовування в процедуру ухвалення планувальних рішень [4; 6].

Таким чином дослідження підтверджує необхідність концептуального переходу від технічного сервісу формування земельних ділянок до публічно-правового інституту екосистемного регулювання та сталого просторового розвитку. Практична реалізація такого переходу передбачає такі етапи, зокрема, як імплементацію функціональних аналогів стандартів GAEC у частині національних програм державної підтримки, транспозицію принципів пом'якшення приросту забудованих земель, інтеграцію ціннісних критеріїв Нового європейського Баухаусу до складу й змісту землевпорядної документації, забезпечення технологічної та семантичної інтероперабельності Державного земельного кадастру, Державного аграрного реєстру й містобудівних кадастрів громад на засадах Директиви INSPIRE. Індикатором результативності інституційних змін у землеустрої слід вважати відтворення відповідних вимог у складі землевпорядної документації.

Виявлені інституційні розриви визначають два напрями подальших досліджень. Перший зумовлений розривом щодо деградації ґрунтів і передбачає розроблення методологічних засад оцінки й компенсації шкоди від воєнних дій як доповнення до моніторингу стійкості ґрунтів. Другий передбачає організаційно-економічні механізми консолідації земель на територіях повоєнного відновлення, узгоджені з цінностями Нового європейського Баухаусу і плануванням громад.

Список використаних джерел

1. Дорош Й. М., Ібатуллін Ш. І., Тарнопольський А. В., Сакаль О. В., Харитоненко Р. А. Роль землеустрою у процесі економічної модернізації України. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель.* 2023. № 2. С. 15–25. DOI: http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2023.02.02

2. Дорош Й., Ібатуллін Ш., Дорош О., Сакаль О., Тарнопольський А. Землеустрій як наука та його значення в умовах сучасних земельних відносин в Україні. *Вісник аграрної науки.* 2026. № 6 (879). С. 15–25. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202606-02

3. Directive (EU) 2025/2360 of the European Parliament and of the Council of 12 November 2025 on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law). URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2025/2360/oj/eng

4. Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2001/42/oj/eng

5. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/2/oj/eng

6. Directive 2011/92/EU of the European Parliament and of the Council of 13 December 2011 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment (codification) (Text with EEA relevance). URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02011L0092-20140515

7. Enemark, S., Bell, K. C., Lemmen, C. H. J., & McLaren, R. Fit-for-purpose land administration. (2nd ed.). FIG-Publication. 2014. Vol. 60. International Federation of Surveyors (FIG). URL: https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub60/figpub60.asp

8. European Commission. *New European Bauhaus: Beautiful, Sustainable, Together*. COM(2021) 573 final. Brussels, 2021. URL: https://new-european-bauhaus.europa.eu/system/files/2021-09/COM(2021)_573_EN_ACT.pdf

9. European Commission. *Roadmap to a Resource Efficient Europe*. COM(2011) 571 final. Brussels, 2011. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52011DC0571

10. European Commission. *The European Green Deal*. COM(2019) 640 final. Brussels, 2019. URL: https://commission.europa.eu/publications/communication-european-green-deal_en

11. Newman P., Thornley A. *Urban Planning in Europe: International Competition, National Systems and Planning Projects*. London: Routledge, 1996. 304 p.

12. Regulation (EU) 2021/2115 of the European Parliament and of the Council of 2 December 2021 establishing rules on support for strategic plans to be drawn up by Member States under the common agricultural policy (CAP Strategic Plans) and financed by the European Agricultural Guarantee Fund (EAGF) and by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and repealing Regulations (EU) No 1305/2013 and (EU) No 1307/2013. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/2115/oj/eng

13. UN-GGIM. *Framework for Effective Land Administration (FELA)*. E/C.20/2020/29/Add.2. New York : United Nations, 2020. URL: https://ggim.un.org/meetings/GGIM-committee/10th-Session/documents/E-C.20-2020-29-Add_2-Framework-for-Effective-Land-Administration.pdf

14. Williamson O. E. The New Institutional Economics: Taking Stock, Looking Ahead. *Journal of Economic Literature*. 2000. Vol. 38, No. 3. P. 595–613. URL: https://www.aeaweb.org/articles/pdf/doi/10.1257/jel.38.3.595

УДК 631.6:349.42

ТЕНДЕНЦІЇ ВІДНОВЛЕННЯ МЕЛІОРАТИВНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ ОРГАНІЗАЦІЯМИ ВОДОКОРИСТУВАЧІВ

Тарас ЖОЛОС
Київський аграрний університет НААН, Київ, Україна
taras.zholos@kaunaas.com

Abstract. *Using a sample of 167 projects from Ukraine's construction register for 2020–2026, we show that restoration of irrigation and drainage systems has outpaced new construction since 2024 and that founders of water users' organizations restore their organizations' systems before the infrastructure is formally transferred. As the register is incomplete, a full inventory of these systems is a priority for monitoring the reform.*

Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 688-р, передбачає розподілення відповідальності за різні ланки меліоративної інфраструктури між державою і недержавними суб'єктами. Магістральна частина міжгосподарських систем залишається у державній власності. Для управління, експлуатації та утримання внутрішньогосподарських систем і низової частини міжгосподарських систем створюються нові управлінські структури – організації водокористувачів (ОВК) [1]. Закон України «Про організації водокористувачів та стимулювання гідротехнічної меліорації земель» від 17 лютого 2022 р. № 2079-IX надає ОВК право безоплатно набути у власність державні, комунальні чи безхазяйні об'єкти інженерної інфраструктури меліоративних систем [2]. Довгостроковий план розвитку іригаційного комплексу України до 2050 року, затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 березня 2025 р. № 280-р, передбачає до 2030 р. передати у власність ОВК не менше ніж 95% гідромеліоративного майна, внесеного до Державного земельного кадастру, крім об'єктів приватної власності і каналів державного значення [3].

Метою дослідження є здійснити аналіз проєктів нового будівництва, реконструкції і капітального ремонту меліоративних систем у 2020–2026 рр., складу їхніх замовників і зіставити строки будівництва з передачею гідромеліоративних об'єктів у власність ОВК. Для цього було використано джерела даних з Реєстру будівельної діяльності Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (ЄДЕССБ) [4], до якого замовники подають документи про початок і завершення будівництва. За класом 2153 ДК 018-2000 або назвою відібрано 167 проєктів зрошувальних і осушувальних систем на сільськогосподарських угіддях із чинними документами протягом липня 2020 – липня 2026 рр. Обмеженням цього реєстру є те, що величину площі, яку обслуговує система, у документах зазначено не завжди, а ланку системи здебільшого не вказано. Дати заснування ОВК і підписання актів приймання-передачі отримано з переліку ОВК, який веде Держрибагентство України, станом на 1 липня 2026 р. Засновників ОВК визначено за Єдиним державним

реєстром юридичних осіб, фізичних осіб-підприємців та громадських формувань.

Починаючи з 2024 р. реконструкція і капітальний ремонт переважають над новим будівництвом (рисунок 1). Так, у 2020–2021 рр. на нове будівництво припадало 54 з 76 проєктів, а у 2024–2026 рр. – лише 26 з 66. Змінився і територіальний розподіл проєктів. У 2020–2021 рр. у Херсонській, Миколаївській, Запорізькій і Дніпропетровській областях розпочато 56 проєктів, серед яких 46 були об'єктами нового будівництва. У 2024–2026 рр. у цих областях розпочато лише один проєкт нового будівництва. У решті областей частка нового будівництва майже не змінилася – 8 з 20 проєктів у 2020–2021 рр. та 25 з 61 у 2024–2026 рр.

Змінився і склад замовників відновлення об'єктів меліоративної інфраструктури. У період до створення перших ОВК (2020–2021 рр.) державні й комунальні замовники розпочали 16 з 22 проєктів відновлення, а у 2024–2026 рр. – лише 7 з 40 (рис. 1). Із решти 33 проєктів 22 розпочали ОВК та їхні засновники. Тим не менш, за весь період державні й комунальні замовники розпочали 13 з 14 проєктів, документи яких безпосередньо найменовують магістральні канали, трубопроводи і споруди на них.

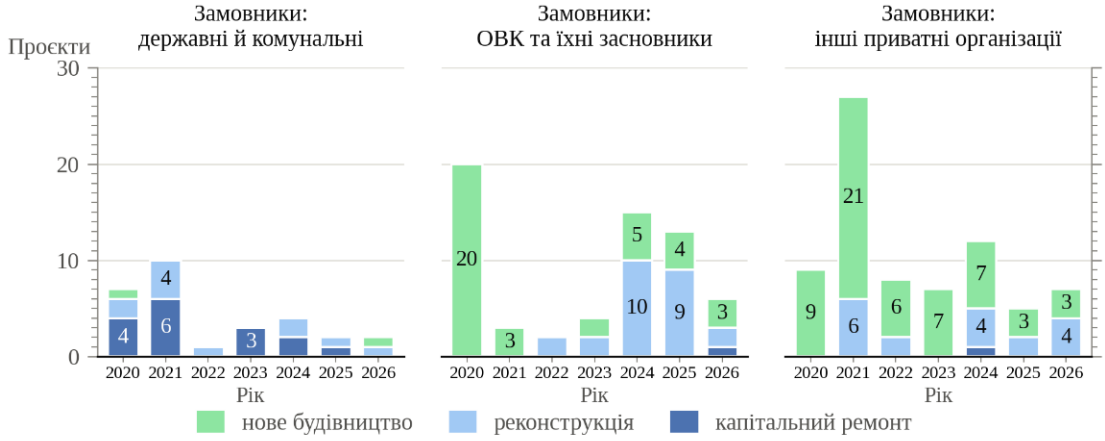


Рисунок 1 – Проєкти реконструкції, капітального ремонту та нового будівництва меліоративних систем (липень 2020 – липень 2026 рр.)

Примітка. До ОВК та їхніх засновників нами віднесено також проєкти, розпочаті засновниками до створення відповідних ОВК.

Джерело: складено автором за даними ЄДЕССБ [4].

На меліоративних системах, названих у повідомленнях про установчі збори ОВК, 17 проєктів у вибірці розпочали засновники ОВК і лише 2 – самі ОВК (рис. 2). П'ять проєктів розпочато до реєстрації ОВК, зокрема всі три на Бортницькій зрошувальній системі, де ОВК «Сила Дніпра» зареєстровано 19 грудня 2025 р. Лише один проєкт розпочато після акта приймання-передачі об'єктів інженерної інфраструктури меліоративної системи, передбаченого Законом України № 2079-IX. Це капітальний ремонт зрошувальної системи острова Степового, який ОВК «Перемога-1» розпочала в червні 2026 р., після акта від 24 лютого 2026 р.

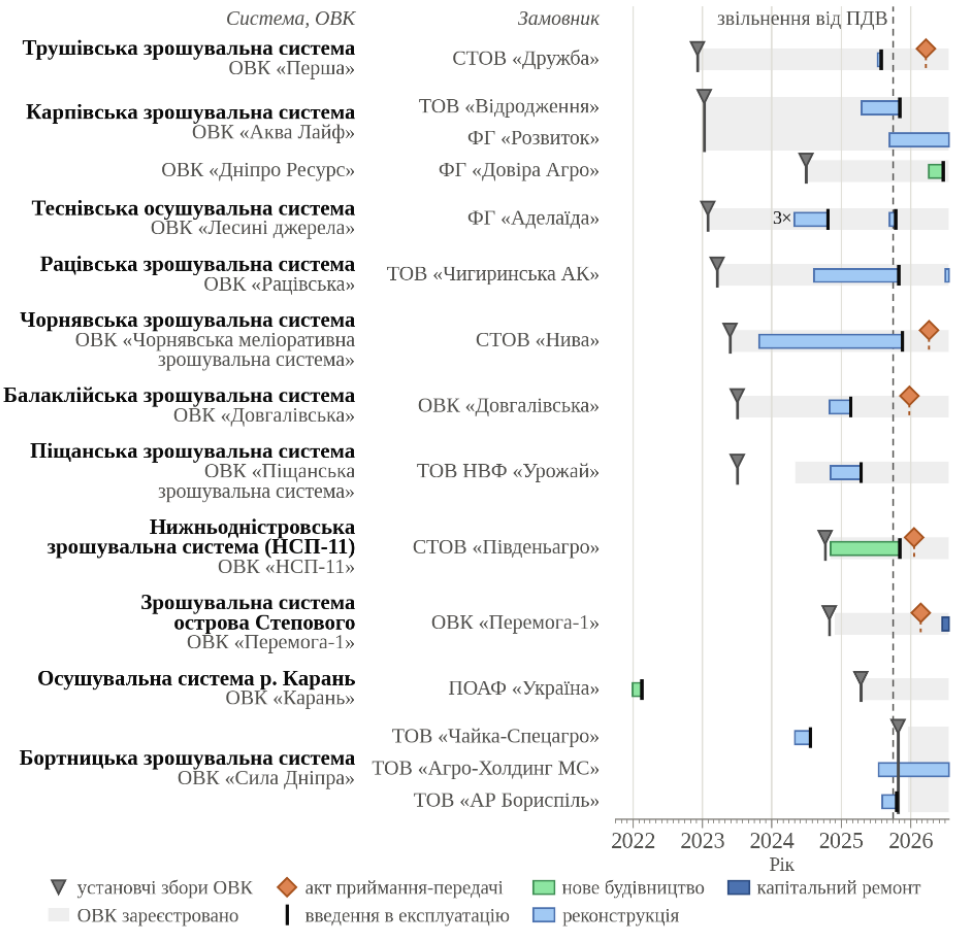


Рисунок 2 – Хронологія виконання проєктів ОВК та їхніх засновників на меліоративних системах, грудень 2021 – липень 2026 рр.

Джерело: складено автором за даними ЄДЕССБ [4], переліку ОВК і повідомлень про проведення установчих зборів.

Як зазначають автори [5], без зареєстрованого права власності ОВК не можуть здійснювати реконструкцію навіть за власні кошти, а передачі заважала «відсутність механізму та джерел сплати ПДВ за інфраструктуру, що передається у власність ОВК». Так, за словами голови ОВК «Топилівська» М.М. Сухих, відновлення системи засновники розпочали у 2020 р., коли «ця система ще не була у нашій власності, але нам доводилося вже витрачати величезні кошти для того, щоб вона працювала» [6]. Фактично, поки передачу гідромеліоративних об’єктів обмежує необхідність дотримання вимог законодавства, завдання, яке реформа покладає на ОВК, виконують засновники цих ОВК.

Передача гідромеліоративних об’єктів у власність ОВК пожвавилася після її звільнення від ПДВ з 1 жовтня 2025 р. згідно із Законом України «Про внесення змін до Податкового кодексу України та інших законодавчих актів України у зв’язку з прийняттям Закону України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» та з метою удосконалення окремих положень податкового законодавства» від 16 липня 2025 р. № 4536-IX [7]. Станом на 1 липня 2026 р. акт приймання-передачі у власність об’єктів інфраструктури мали 19 з 79 ОВК, і лише 4 з цих актів підписано до звільнення від ПДВ.

Таким чином, дослідження декларацій ЄДЕССБ дає змогу простежити тенденцію переходу від нового будівництва до реконструкції і капітального ремонту меліоративних систем, зміну складу замовників цих проєктів і відновлення систем ОВК їхніми засновниками до передачі гідромеліоративних об’єктів.

Першочерговим завданням, передбаченим довгостроковим планом розвитку іригаційного комплексу України до 2050 року, є проведення інвентаризації меліоративних систем, без чого неможливо повноцінно здійснювати та виконувати щорічний моніторинг досягнутих результатів з нового будівництва і відновлення меліоративної інфраструктури організаціями водокористувачів.

Список використаних джерел

1. Про схвалення Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 р. № 688-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-р

2. Про організації водокористувачів та стимулювання гідротехнічної меліорації земель : Закон України від 17.02.2022 р. № 2079-IX. Відомості Верховної Ради України. 2023. № 16. Ст. 55.

3. Про затвердження довгострокового плану розвитку іригаційного комплексу України до 2050 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.03.2025 р. № 280-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280-2025-р

4. Дані про декларативні документи з Реєстру будівельної діяльності : набір даних / Міністерство розвитку громад та територій України. Єдиний державний вебпортал відкритих даних. URL: https://data.gov.ua/dataset/5255ea7e-6f94-41e4-86eb-ad578aea853c

5. Стан і перспективи відновлення та модернізації меліоративних систем в сучасних умовах / М. І. Ромащенко та ін. Меліорація і водне господарство. 2025. № 1. С. 5–16. DOI: 10.31073/mivg202501-414

6. Ткач І., Гончарук В. «Поле не поливали з 97-го»: як працює реформа меліорації на Черкащині. Суспільне Черкаси. 2026. 1 серп. URL: https://suspilne.media/cherkasy/1367606-pole-ne-polivali-z-97-go-ak-pracue-reforma-melioracii-na-cerkasini/

7. Про внесення змін до Податкового кодексу України та інших законодавчих актів України у зв’язку з прийняттям Закону України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» та з метою удосконалення окремих положень податкового законодавства : Закон України від 16.07.2025 р. № 4536-IX. Відомості Верховної Ради України. 2025. № 47. Ст. 200.

ЗМІСТ

Вступне слово…….. 3

СТАН, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ, ОХОРОНА ТА УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ

Андрій МАКАРОВ, Тарас ДУБОВ
Реконструкція зрошувального масиву як засіб підвищення ефективності використання водних ресурсів…… 4

Вікторія САЛЮТА
Механізми регулювання сільськогосподарського землекористування в контексті сталого управління водними ресурсами……..... 7

Сергій ЗІМЕНКО
Методологічні засади сценарного оцінювання потреби у зрошенні та ризиків водозабезпечення……..... 10

Світлана КОЗІШКУРТ, Антон ШЕВЧУК
Необхідність експрес-оцінки водних ресурсів територіальних громад: апробація на прикладі Клесівської громади……... 13

Олексій ХАРЛАМОВ, Галина ВОРОПАЙ, Ігор КОТИКОВИЧ, Олександр КИСІЛЬ
Економічна оцінка збитків планування заходів з управління паводковими ризиками……. 16

ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Андрій ГРИНЕВИЧ, Лариса САБЛІЙ
Моделювання кінетики очищення стічних вод від амонійних сполук у біореакторі з іммобілізованими мікроорганізмами…… 19

Андрій МОСІЙЧУК, Михайло ЯЦЮК
Критерії придатності існуючих аеробних мінералізаторів до функціонального зонування при модернізації споруд оброблення осадів стічних вод…… 22

Віктор КОВАЛЬЧУК, Сергій КОГУТ
Метод інтенсифікації роботи аеротенків.....…….. 25

Кирил КИРИЧЕНКО, Лариса САБЛІЙ
Аналіз параметрів та критеріїв оптимізації комбінованого видалення фосфору зі стічних вод ……..…… 28

Каріна ЛІВІНСЬКА, Лариса САБЛІЙ
Переваги застосування іммобілізованих носіїв у біологічних процесах очищення стічних вод……... 32

Олена ОРЛО, Лариса САБЛІЙ
Використання біотехнологій для очищення стічних вод м'ясопереробної галузі …….. 34

Світлана КОЗІШКУРТ, Мішель ЛИПА
Стан та проблеми систем водопостачання і водовідведення Клесівської територіальної громади……..... 37

Софія ПРОКОПЕНКО, Лариса САБЛІЙ
Нові комбіновані технології очищення висококонцентрованих стічних вод кондитерських підприємств……. 40
Ярослава МОСІЙЧУК, Анатолій ШЕВЧЕНКО
Вплив утворення стічних вод та функціонування каналізаційних систем забудованих територій на стан природних і штучних водойм…….. 43

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Василь ТУРЧЕНЮК, Владислав МАРЧУК
Інноваційні конструктивно-технологічні рішення модернізації рисових меліоративних систем……..... 47
Роман НОВІЦЬКИЙ, Дмитро КОБЯКОВ, Геннадій ГАПІЧ, Володимир КОВАЛЕНКО
Біологічна меліорація як інструмент підвищення екологічної безпеки та енергоефективності гідротехнічного каналу Дніпро–Донбас……... 50
Степан КУЗЬМИЧ
Оцінка довговічності бетонних елементів інженерної інфраструктури гідромеліоративних систем приладом “NOVOTEST ІПСМ”……..…….. 52

АГРОНОМІЯ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЯ

Артем ДИНЯ, Федір МЕЛЬНИЧУК, Андрій ШАТКОВСЬКИЙ
Водний режим ґрунту і евапотранспірація овочевих культур в умовах зрошення Правобережного Лісостепу України…….. 56
Дмитро СТЬОЖКА
Вплив сільськогосподарської техніки на водно-фізичний стан осушуваних ґрунтів…….. 58
Микола ЗОСИМЧУК, Оксана ЗОСИМЧУК, Василь ХОДНЕВИЧ, Олексій ПОЛІЩУК
Вплив попередника на урожайність сої в зоні Західного Полісся……. 62
Олександр ВЛАСЕНКО, Федір МЕЛЬНИЧУК, Андрій ШАТКОВСЬКИЙ
Особливості формування продуктивності кукурудзи в посушливих умовах вегетаційного періоду 2026 р…….. 64
Олександр ЖУЙКОВ, Михайло РЕТЬМАН, Терентій ЖУЙКОВ
Метод ПЛР-скринінгу ранніх стадій грибкових захворювань в агроценозах зернових колосових культур як передумова екологізації технологій вирощування…….. 66
Олександр УГРІН, Ірина БІДНИНА
Обґрунтований добір мікробних композицій для сортів сої в умовах південного регіону України…….. 70
Олександр ХУДЕНКО, Сергій КОЗАР
Ефективність внесення azotobacter chroococcum 2.1 з поливною водою за вирощування капусти білоголової……... 73

ЗРОШУВАЛЬНІ ТА ОСУШУВАЛЬНІ МЕЛІОРАЦІЇ

Валерій КАРУНА Андрій ШАТКОВСЬКИЙ
Удосконалення управління водним режимом лохини щиткової за краплинного зрошення…….. 76
Валерій ЛЮБІЦЬКИЙ, Андрій ШАТКОВСЬКИЙ
Ефективність вирощування кукурудзи на насіння в зрошуваних умовах Полісся України……. 79
Ірина БІДНИНА, Павло ЛИХОВИД, Валерій КОЗИРЄВ, Анатолій ТОМНИЦЬКИЙ, Надія ЯСІНСЬКА, Наталія КЛІМЧЕНКО
Критерії оцінювання відновлення темно-каштанового ґрунту після тривалого зрошення…….. 81
Ірина ЧУШКІНА Денис ШВЕЦЬ Назар ХОМЕНКО
Адаптивне керування подачею води у зрошувальній мережі…… 85
Назар ПРИВЕДЕНЮК, Андрій ШАТКОВСЬКИЙ
Особливості вирощування лікарських рослин за краплинного зрошення……..... 88

МОНІТОРИНГ ВОД І МЕЛІОРОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ

Анна ЛЮСАК
Геоінформаційне обґрунтування природоорієнтованих рішень для регулювання поверхневого стоку на сільськогосподарських землях…… 91
Анна ЛЮСАК
Геоінформаційне оцінювання ризику деградації осушуваних земель за даними дистанційного зондування Землі……..... 94
Дмитро ДЕМЧУК
Автономна станція моніторингу рівня ґрунтових вод через їх вимірювання у відкритих осушувальних каналах: польові результати……. 98
Петро КАХНИЧ
Ландшафтно-геохімічні критерії моніторингу меліорованих земель у басейні річки Случ……..... 101
Павло ЛИХОВИД
Дані дистанційного зондування Землі для меліоративного моніторингу сільськогосподарських земель……. 105

ЕКОЛОГІЯ

Віталій ПРАВДЮК
Стратегічна екологічна оцінка як засіб збереження водних ресурсів в Україні……..... 107
Микола СВІТЕЛЬСЬКИЙ, Оксана ІЩУК, Ігор СОКУЛЬСЬКИЙ, Микола СЛЮСАР, Віталій МАМЧЕНКО
Екологічна безпека та раціональне використання водних ресурсів при вирощуванні стерляді в установках замкненого водопостачання……..... 110
Тетяна МАКАРОВА, Леся ПІКІНЕР
Комплексне очищення стічних і поверхневих вод як складова реалізації Європейського зеленого курсу у Слобожанській громаді……. 114

СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ СКЛАДОВІ ВЕДЕННЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Віталій ПОЛІЩУК, Тетяна МАТЯШ, Анастасія САРДАК, Ігор КОВАЛЕНКО
Проблеми функціонування організацій водокористувачів (ОВК) та потреба в інноваційних рішеннях…… 118
Лілія СКРИПНИК
Соціально-економічні засади відновлення пошкоджених земель сільськогосподарського призначення…….. 122
Оксана САКАЛЬ, Роман ХАРИТОНЕНКО, Олексій КУЛАКОВСЬКИЙ
Інституційні зміни в землеустрої України: теоретико-методологічні засади реформування в умовах європейської інтеграції……. 126
Тарас ЖОЛОС
Тенденції відновлення меліоративної інфраструктури України організаціями водокористувачів……... 131

Наукове видання

РОЛЬ МЕЛІОРАЦІЇ ТА ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Матеріали
VII міжнародної науково-практичної конференції
молодих вчених

Виконавчі редактори: І.О. Коваленко, О.І. Харламов, Я.Б. Мосійчук

Підписано до друку 22.10.2026 р.
Формат 60x90/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний. Цифровий друк.

Тел.: +38 (044) 257-40-30
E-mail: iwpim.naan@gmail.com