

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-199>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/199>

УДК 631.674.6

## НАУКОВА ШКОЛА МІКРОЗРОШЕННЯ: ДОСЯГНЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

М.І. Ромащенко<sup>1</sup>, докт. техн. наук, А.П. Шатковський<sup>2</sup>, докт. с.-г. наук, В.В. Васюта<sup>3</sup>, докт.с.-г.наук, С.В. Усатий<sup>4</sup>, Л.Г. Усата<sup>5</sup>, С.В. Рябков<sup>6</sup>, канд. с.-г. наук, О.В. Журавльов<sup>7</sup>, канд. с.-г. наук, Р.А. Купедінова<sup>8</sup>, канд. техн. наук, В.В. Безрук<sup>9</sup>, Ю.О. Черевичний<sup>10</sup>

<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-9997-1346>; e-mail: [mi.romashchenko@gmail.com](mailto:mi.romashchenko@gmail.com)

<sup>2</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-4366-0397>; e-mail: [andriy-1804@ukr.net](mailto:andriy-1804@ukr.net)

<sup>3</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-7786-1843>; e-mail: [v.vladvirl@gmail.com](mailto:v.vladvirl@gmail.com)

<sup>4</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-8784-4078>; e-mail: [s\\_usatyi@ukr.net](mailto:s_usatyi@ukr.net)

<sup>5</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-3265-9024>; e-mail: [usataya\\_l@ukr.net](mailto:usataya_l@ukr.net)

<sup>6</sup> ДП «Проектно-технологічне бюро» ІВПіМ НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-8219-9065>; e-mail: [srabkov@gmail.com](mailto:srabkov@gmail.com)

<sup>7</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-7035-219X>; e-mail: [zhuravlov\\_olexandr@ukr.net](mailto:zhuravlov_olexandr@ukr.net)

<sup>8</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-6264-0586>; e-mail: [kupedinova@gmail.com](mailto:kupedinova@gmail.com)

<sup>9</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-9683-4218>; e-mail: [start18@gmail.com](mailto:start18@gmail.com)

<sup>10</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-9959-8297>; e-mail: [yurecgp@gmail.com](mailto:yurecgp@gmail.com)

**Анотація.** У статті розглянуто основні етапи становлення та розвитку досліджень із питань мікрозрошення сільськогосподарських культур, виконано всебічний аналіз основних фундаментальних і прикладних результатів досліджень наукової школи з мікрозрошення в Інституті водних проблем і меліорації НААН України (ІВПіМ НААН) на початку XXI ст. Із застосуванням теоретичних методів наукового дослідження (аналіз і синтез, порівняння, класифікація та узагальнення) авторами систематизовано найбільш значимі наукові результати за нормативною, методичною, технічною та технологічною складовими. Наведено перелік підготовлених ІВПіМ НААН нормативних та методичних документів за напрямом мікрозрошення. Результати розробок за технологічною складовою деталізовано за об'єктами дослідження: водний режим і процеси водоспоживання сільськогосподарських культур, фертигація, пестигація, вплив локального зволоження, удобрення та води різної якості на систему «грунт-рослина-технічні засоби мікрозрошення», формування зон зволоження ґрунтів, методи призначення строків вегетаційних поливів та системи керування поливами. Висвітлено ключові наукові результати діяльності лабораторії випробування засобів зрошення. Наведено перелік розроблених і впроваджених ІВПіМ НААН технічних засобів систем мікрозрошення. Обґрунтовано стратегічні напрями подальших наукових досліджень, які мають відповідати загальносвітовому тренду щодо екологічно безпечної зрошення, а також ресурсо- та енергозбереження. Визначено потребу України в системах мікрозрошення сільськогосподарських культур на період до 2030 року, роль нинішніх і майбутніх напрацювань наукової школи мікрозрошення ІВПіМ НААН з їх впровадження.

**Ключові слова:** системи і способи мікрозрошення, нормативно-методична база, режими зрошення і водоспоживання, системи керування поливами, технічні засоби мікрозрошення, стратегічні напрями досліджень.

**Актуальність дослідження.** Відомо, що способи мікрозрошення (від грецького *μικρος* – малий) є на сьогодні найбільш високотехнологічними, екологічно безпечними, ресурсо- та енергоощадними способами поливу, ефективність яких досягає

92–98% [1]. У цьому аспекті згадана ефективність обумовлюється отриманням високих рівнів урожайності за рахунок підтримання оптимальних водного, поживного і повітряного режимів ґрунту за одночасної економії витрат води на формування одиниці врожаю

та мінімізації непродуктивних втрат вологи. Зважаючи на це закономірно, що світові площі сільськогосподарських угідь, які зрошують за допомогою систем мікрозрошення, постійно зростають та згідно з даними Міжнародної комісії з іригації і дренажу становлять на сьогодні понад 20 млн. га [2] (рисунок 1).

Подальший розвиток способів мікрозрошення визначено як один із стратегічних напрямів державної політики галузі схваленою Урядом України «Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» [3].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Україна історично належить до держав, де дослідження і розробки з питань мікрозрошення було розпочато ще в кінці 60-х на початку 70-х років минулого століття, а однією із перших наукових установ з цього напрямку досліджень був Український науково-дослідний інститут гідротехніки і меліорації – УкрНДІГІМ (нині – Інститут водних проблем і меліорації НААН, ІВПіМ) [4].

Історичний аспект розвитку досліджень за напрямом «мікрозрошення сільськогосподарських культур» як в Україні [5], так і безпосередньо ІВПіМ та установами його мережі [5–9] ґрунтовно висвітлено у попередніх наукових роботах.

Отже, **мета дослідження** – всебічний аналіз основних фундаментальних і прикладних результатів досліджень наукової школи з мікрозрошення ІВПіМ на початку ХХІ ст. та обґрунтування перспективних напрямів їх розвитку.

**Матеріали і методи дослідження.** Використано теоретичні методи наукового

дослідження: аналіз і синтез, порівняння, класифікація та узагальнення.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Базовим документом, яким було визначено концептуальні засади розвитку локальних способів поливу в Україні, основні проблеми та шляхи їхнього вирішення, стала «Концепція розвитку мікрозрошення в Україні до 2020 року» [6], підготовлена науковцями ІВПіМ за участю профільних наукових установ НААН, працівників міністерств та відомств.

Відповідно до положень «Концепції...» результати і розробки за напрямом мікрозрошення розділено на чотири складові: нормативну, методичну, технічну та технологічну.

У частині нормативного забезпечення напрямку науковцями ІВПіМ розроблено весь комплекс національних стандартів, яким унормовано термінологію та класифікацію систем мікрозрошення, проектування систем, визначено вимоги до якості поливної води, процесів фільтрації, фертигації і пестигації, режимів зрошення, технологій вирощування, а також усіх технічних засобів і вузлів систем мікрозрошення тощо. За станом на сьогодні в Україні чинними є 14 ДСТУ з мікрозрошення [10] та «Посібник до ДБН В.2.4–1–99 «Меліоративні системи і споруди» «Системи краплинного зрошення. Загальні технічні вимоги та методи визначення технологічних параметрів» [11].

Щодо другої – методичної складової, вченими ІВПіМ на основі експериментальних досліджень удосконалено методику проведення польових дослідів в умовах краплинного

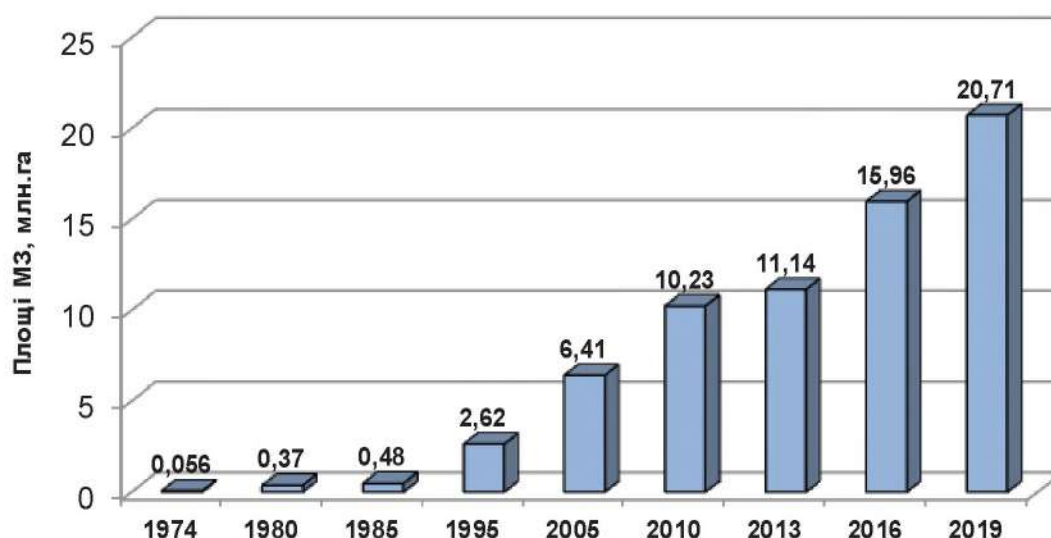


Рис. 1. Динаміка площ сільськогосподарських угідь у світі, які поливають способами мікрозрошення, млн. га

зрошення та розроблено принципово нові методичні підходи до побудови схем дослідів з вивчення режимів краплинного зрошення та процесів водоспоживання культур, рекомендовано площі облікових ділянок для різних сільськогосподарських культур в умовах краплинного способу поливу [12]. З метою унормування моніторингових досліджень науковцями ІВПіМ та ННЦ «ІГА» розроблено відповідний методичний посібник з організації системи режимних спостережень [13]. Документом визначено об'єкти режимних спостережень, розроблено систему основних і спеціальних параметрів контролю, методику проведення моніторингу стану ґрунтів в умовах мікрозрошення. З метою уніфікації досліджень з розроблення і вдосконалення технічних засобів науковцями розроблено «Методику випробувань технічних засобів мікрозрошення» як допоміжний документ, який узагальнив вимоги чинних міжнародних і вітчизняних стандартів [14].

Дослідницькою базою ІВПіМ для розробки технологій мікрозрошення є науково-дослідні полігони, оснащені сучасним інструментарієм – цифровими інтернет-метеостанціями, автоматичними вологомірами різних типів і конструкцій, необхідним лабораторним обладнанням тощо.

За технологічним напрямом основними об'єктами дослідження є режими краплинного зрошення та процеси водоспоживання культур, процеси внесення добрив, пестицидів, регуляторів росту та хімічних реагентів з поливною

водою, вплив локального зволоження, удобрення та води різної якості на систему «ґрунт-рослина-технічні засоби мікрозрошення», формування зон зволоження ґрунтів, методи призначення строків вегетаційних поливів та системи управління поливами тощо.

З метою оптимізації водного режиму вченими експериментально встановлено статистичні залежності «Водоспоживання-Врожайність» за умов краплинного зрошення (рисунк 2).

Новим фундаментальним результатом цієї роботи є висновок про те, що оптимальним діапазоном зволоження ґрунтів за мікрозрошення є досить вузький інтервал від 85 до 90–95% від НВ, підтримання вологості ґрунту в межах якого вимагає проведення поливів відносно невеликими нормами за одночасного скорочення міжполивних періодів. За аналітичними розрахунками саме за такого вузького діапазону вологості співвідношення фактичної транспірації ( $T$ ) до потенційно можливої ( $T_0$ ) наближається до 1 ( $\approx 0,83-0,87$ ), що характеризує вологозабезпечення рослин як близьке до оптимального [15]. Цей результат формує практично нові вимоги до самих систем мікрозрошення, згідно з якими ці системи технічно мають забезпечувати водоподачу синхронно водоспоживанню культур у добовому циклі, а також до методів управління водним режимом загалом. У цьому аспекті ІВПіМ має вагомий науково-практичний напрацювання щодо методів управління поливами за краплинного зрошення. Зокрема,

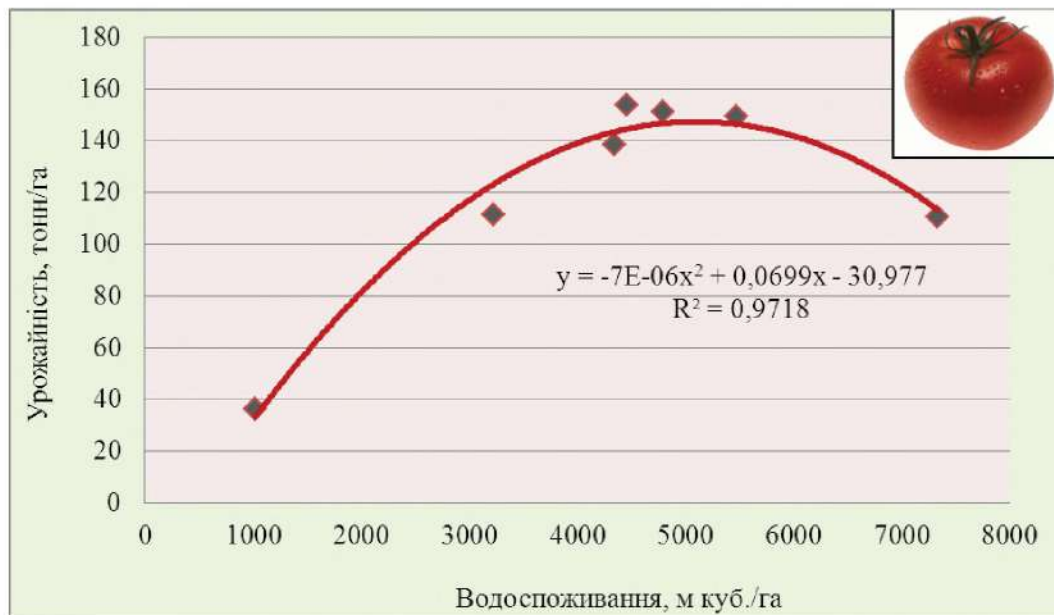


Рис. 2. Залежність «Водоспоживання – Врожайність» за краплинного зрошення томата розсадного

нами науково обґрунтовано методики призначення поливів інструментальними методами з використанням різних датчиків, у т.ч. і конструкції ІВПіМ, інтернет-станції вологості ґрунту [16], розрахунковим методом Penman-Monteith [17], а також діагностування поливів методами фітомоніторингу [18].

Підсумковим нормативним документом досліджень із водоспоживання сільськогосподарських культур є *«Тимчасові норми водопотреби для краплинного зрошення»*, які використовують при розрахунках річного та довгострокового планування зрошення, а також проектні організації для обґрунтування параметрів систем мікрозрошення [19].

У частині вивчення формування зон зволоження ґрунту встановлено їх параметри залежно від гранулометричного складу ґрунту та норми поливу, експериментально для легкого, середнього суглинків та супіщаного ґрунтів встановлено співвідношення глибини до ширини ( $h/d$ ) зон зволоження, лінійні залежності  $h$  і  $d$  від тривалості поливу, обраховано фактичні площі зон зволоження ґрунтів залежно від норми поливу. Розроблено математичну модель плоско-вертикального профільного вологоперенесення за краплинного зрошення просапних культур в умовах неповного насичення. Модель використано для чисельного моделювання процесу вологоперенесення у випадку трьох заглиблених точкових джерел [20].

Дослідження змін у ґрунтах під впливом зрошення залишаються одними з пріоритетних та найбільш затребуваних при впровадженні способів мікрозрошення. Безпечність способів зрошення розглядається через «призму» ґрунтових процесів, які в умовах додаткового зволоження починають розвиватися по-іншому, а в деяких випадках супроводжуються набуттям у ґрунтах нових ознак та властивостей, що стають визначальними у виконанні технологічного процесу зрошення, у тому числі й в управлінні водним режимом ґрунтів [21; 22]. Краплинне зрошення кваліфіковано як найбільш екологічнобезпечний спосіб мікрозрошення з точки зору впливу на стан та властивості ґрунтів, що дозволило рекомендувати його для поливу ґрунтів різних кваліфікаційних одиниць.

На основі оцінки засолення ґрунтів із використанням ґрунтових порових розчинів за методом вакуумних витяжок розроблено та апробовано інноваційну технологію застосування прямого вилуговування солей, яка дозволяє залучати до зрошення засолені ґрунти і покращувати їхні екологічні і продук-

тивні функції [23–25]. Цю технологію визнано однією з найпростіших і найефективніших у практиці управління сольовим режимом ґрунтів, що має перспективу використання для різних умов зрошення, особливо за дефіциту якісних водних ресурсів, яка у комплексі з технологіями ГС може бути використана для цілей моніторингу і прогнозування вторинного засолення.

Багаторічними дослідженнями встановлено закономірності змін властивостей ґрунтів під впливом краплинного зрошення та визначено його роль у формуванні просторової неоднорідності ґрунтів [26; 27], пов'язаної з технологічною особливістю локального зволоження, яку рекомендовано враховувати під час прийняття рішень на проведення меліоративних, удобрювальних та ґрунтозахисних заходів. Суттєві зміни у властивостях ґрунтів різних типів науковцям вдалося помітити через 15–20 років використання краплинного зрошення у промислових насадженнях плодкових культур [28], що дозволило створити і наповнити базу даних довгими рядами, які стали основою для розроблення аналітично-інформаційної системи управління ґрунтовими процесами [29]. Шляхом просторового моделювання стала можливою побудова розподілу будь-яких показників ґрунту у часі і просторі та створення концептуальної моделі, яка визначить небезпеку краплинного зрошення залежно від кількісного сполучення факторів впливу (рис. 3). Це дозволить більш детально аналізувати та встановлювати тісні взаємозв'язки з характеристиками ґрунтів в умовах зрошення, які утворилися за участі сучасних процесів засолення – розсолення, підлучення – підкислення, ущільнення – розущільнення і т.д.

Одним із напрямів, пов'язаним із забезпечення систем мікрозрошення водою високої якості та якісними технічними засобами, є нормування якості води, розроблення й удосконалення технологій і технічних засобів водопідготовки, розроблення та випробування технічних засобів зрошення [30–33]. Дослідження одночасно виконуються в польових і лабораторних умовах на основі методичних підходів, що дозволяють дослідити якість поливної води, пропускну здатність поливних трубопроводів, засобів водопідготовки і стабільність витрат водовипусків в ланцюзі «джерело зрошення – засіб водопідготовки – поливна мережа». Це у 2–3 рази пришвидшує роботу і забезпечує комплексність робіт з оцінки роботоздатності елементів систем краплинного зрошення, встановлення причини порушення їх стабільності

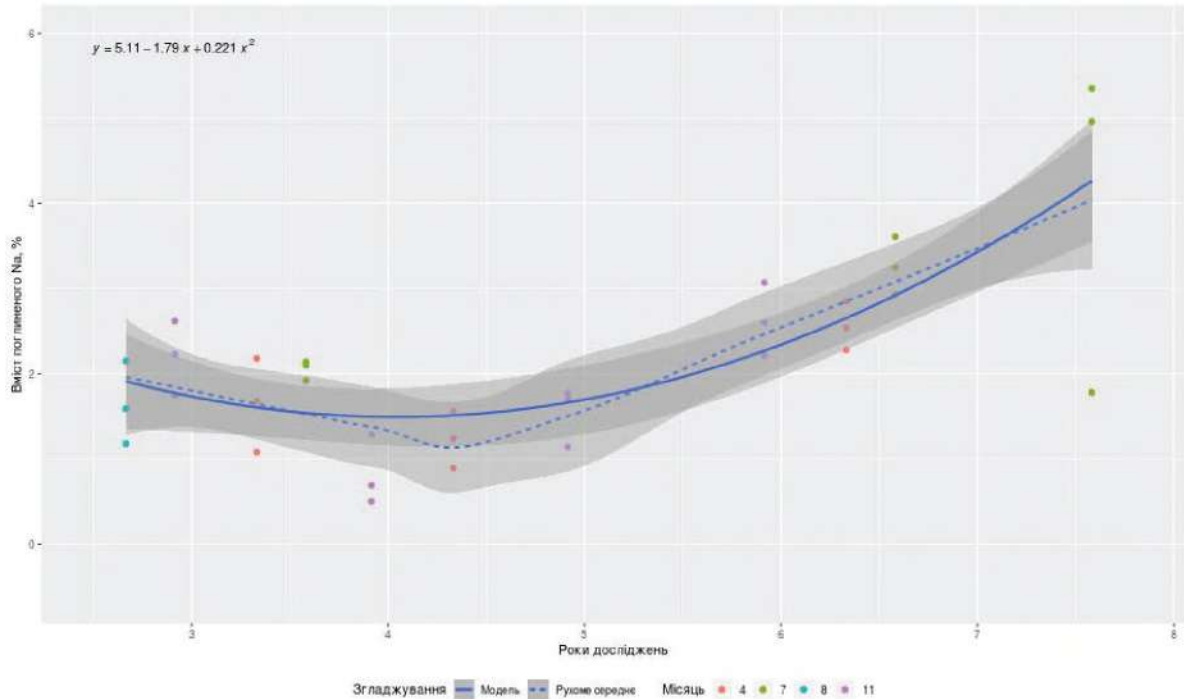


Рис. 3. Фактична і прогнозна модель поглинання натрію ГПК чорнозему південного важкосуглинкового у шарі 0–60 см в умовах використання краплинного зрошення, мінеральної системи удобрення та води II класу якості

та своєчасного впровадження заходів з їх відновлення. Дослідження за цим напрямом виконують науковці лабораторії випробувань, яку було створено в ІВПіМ у 2007 р. та агестовано ДП «Укрметртестстандарт» (свідоцтво № ПТ-405/10) на проведення випробувань, експертизу та перевірку технічних засобів зрошення на відповідність національним і міжнародним стандартам. Лабораторія надає послуги з перевірки конструкцій та якості виготовлення мікродощувачів, краплинних водовипусків, поливних трубопроводів за розмірами прохідного каналу, товщиною стінки, внутрішнім діаметром, інтервалом між водовипусками. Також виконує механічні випробування на міцність технічних засобів зрошення на розтяг, міцність під час гідростатичного тиску, міцність на розтяг за підвищеної температури, міцність на розрив з'єднань фітингів та трубопроводів. Випробування функційних характеристик мікродощувачів, поливних трубопроводів і краплинних водовипусків проводяться з визначенням рівномірності витрат води, витратно-напірної характеристики, витрати води як функції вхідного тиску, стабільності витрат води. Наданими лабораторією послугами вже скористалися компанії ПрАТ «Пайплайф Україна», ПСП «Агрофірма «Роднічок», ПП «Органік Системс», ТОВ «Ірригатор Україна», ТОВ НВП «Ірригаційні системи».

Також є вагомим напрацюванням наукової школи ІВПіМ і в частині розробки **технічних засобів мікрозрошення**. Серед найбільш відомих можна згадати: краплинний водовипуск імпульсної дії (патент України на винахід № І18726) [34], автоматичний датчик вологості ґрунту, програматор автоматизованого управління процесом поливу, контролер промивання фільтрів, метод передачі інформації по лінії зв'язку із застосуванням частоти мережі 50 Гц/24В, піщано-гравійні фільтри типу ФНГ, комплект з'єднувальних деталей, укладач поливних трубопроводів (ПТ), пристрій для збирання ПТ та ін.

Результати досліджень із мікрозрошення стали основою для підготовки і захисту 3 докторських та понад 20 кандидатських дисертацій, монографій, навчальних посібників, науково-практичних рекомендацій, фахових статей у виданнях Scopus і Web of Science, проведення міжнародних тематичних конференцій, семінарів, днів поля тощо.

**Перспективи подальших досліджень** мають відповідати загальносвітовому тренду щодо екологічно безпечного зрошення, а також ресурсо- та енергозбереження. Пріоритетними будуть розробки:

– технологій підґрунтового краплинного зрошення у системі землеробства no-till та системі органічного землеробства;

– нових методів управління поливом та фертигацією в абсолютно синхронних системах краплинного зрошення, у тому числі – з імпульсним режимом водоподачі;

– екологобезпечних технологій пестицидів;  
– із впровадження відновлювальних джерел енергії для функціонування систем мікрозрошення тощо.

**Висновки.** Глобальні зміни клімату, продовольча криза на фоні зростаючого дефіциту водних ресурсів є передумовами для

значного розширення використання способів мікрозрошення для поливу всіх сільськогосподарських культур. Згідно з положеннями «Стратегії...» [3] потенційна потреба України в системах мікрозрошення становить не менше 250 тис. га до 2030 року. У цьому аспекті нинішні та майбутні напрацювання наукової школи мікрозрошення ІВПіМ є своєрідним «фундаментом», ключовою ланкою в частині наукового обґрунтування реалізації державної політики з цих питань.

### Бібліографія

1. Ayare B.L., Mane M.S., Magar S.S. Principles of Drip Irrigation System. New Delhi: Jain Brothers, 2014. 224 p.
2. Agricultural Water Management for Sustainable Rural Development: Annual Report 2016–2017. New Delhi: ICID. 2018. 92 p.
3. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 р. № 688-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80> (дата звернення: 21.09.2019).
4. Исследование основных параметров капельного орошения: отчет о НИР (промежуточный, 1973): инв. № А-120 / УкрНИИГиМ. Киев, 1973. 88 с.
5. Мікрозрошення сільськогосподарських культур / Ромащенко М.І. та ін. // Меліорація і водне господарство. 2004. Вип. 90. С. 63–86.
6. Концепція розвитку мікрозрошення в Україні до 2020 року / Ромащенко М.І. та ін. Київ: ДІА, 2012. 20 с.
7. Гоголев А.І. Крапельне зрошення як ключовий елемент технологій в овочівництві // Агроогляд. 2004. № 12 (39). С. 24–25.
8. Щоткін В.М. Крапельні системи – найбільш прогресивний спосіб поливу // Пропозиція. 2001. № 6. С. 48–50.
9. Кисляченко М.Ф. Ефективність крапельного зрошення картоплі та овочевих культур в Україні // Продуктивність агропромислового виробництва. Економічні науки. 2014. № 25. С. 102–107.
10. Перелік Національних стандартів України, які розроблено ТК 145 «Меліорація і водне господарство». Київ: ІВПіМ НААН, 2017. 18 с.
11. Системи краплинного зрошення. Загальні технічні вимоги та методи визначення технологічних параметрів: Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи і споруди». Каленіков А.Т. та ін. Київ: ДІА, 2015. 200 с.
12. Методичні рекомендації з проведення польових досліджень за краплинного зрошення. Ромащенко М.І. та ін. Київ: ДІА, 2014. 46 с.
13. Організація системи режимних спостережень для оцінки стану земель в умовах мікрозрошення: методичний посібник. Ромащенко М.І. та ін. Київ: ДІА, 2014. 42 с.
14. Методика випробувань технічних засобів мікрозрошення. Ромащенко М.І. та ін. Київ: ДІА, 2014. 46 с.
15. Особливості режимів краплинного зрошення просапних культур / Ромащенко М.І. та ін. // Вісник аграрної науки. 2015. № 2. С. 51–56.
16. Шатковський А.П., Журавльов О.В. Управління краплинним зрошенням на основі використання інтернет-метеостанцій iMetos® // Наукові доповіді НУБіП України: електронне наукове фахове видання – Електронні дані. – Київ: НУБіП, 2016. № 2(59). Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/6489/6373> (дата звернення: 23.09.2019).
17. Romashchenko M., Shatkovski A., Zhuravlev O. Features of application of the «Penman-Monteith» method for conditions of a drip irrigation of the Steppe of Ukraine (on example of grain corn) // Journal of Water and Land Development, Raszyn, Poland, Wydawnictwo ITR. 2016. № 31. P. 123–127.
18. Measurement of the cell sap concentration of plant's leaves for irrigation's scheduling / Shatkovskiy A. et al. // Modern Phytomorphology. 2019. № 13. P. 54–57. <https://zenodo.org/record/3518881#.XbrdHdSLT4Y> (дата звернення: 21.09.2019)
19. Тимчасові норми водопотреби для краплинного зрошення сільськогосподарських культур в умовах Степу України / Ромащенко М.І. та ін. Київ: Компрінт, 2015. 20 с.

20. Romashchenko M.I., Shatkovsky A.P., Onotsky V.V. Mathematical model of flat-vertical moisture transfer in soil profil from drip irrigation in the conditions of partial saturation // *Agricultural Science and Practice*. – The National Academy Agrarian Sciences of Ukraine. 2016. № 3. p. 35–40. <https://doi.org/10.15407/agrisp3.03.035>.
21. Рябков С.В., Усата Л.Г. Засолення і вторинна солонцюватість локально зволжених ґрунтів // *Меліорація і водне господарство*. 2013. Вип. 100. Том I. С. 33–44.
22. Ромащенко М.І. Вплив краплинного зрошення на сольовий режим і властивості ґрунтів // *Вісник аграрної науки*. 1997. № 9. С. 68–72.
23. Ромащенко М.І. Исследование влагопереноса с целью регулирования режима капельного орошения садов: дис. ... кандидата техн. наук: 06.01.02. Киев: УкрНИИГиМ, 1981. 226 с.
24. Муромцев Н.Н., Ромащенко М.И., Корж А.М. Изучение химического состава поровых растворов в условиях капельного орошения // *Мелиорация и водное хозяйство*. 1982. № 12. С. 23–28.
25. Рябков С.В. Обґрунтування технології мікрозрошення розсадника та саду мінералізованими водами в умовах півдня Одеської області: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації». Київ, 2005. 18 с.
26. Усата Л.Г., Рябков С.В. Просторова неоднорідність властивостей ґрунтів у насадженнях плодових культур за краплинного зрошення // *Агрохімія і ґрунтознавство*. Спецвипуск – книга 2. Меліорація, рекультивация, охорона ґрунтів, агрохімія, гумусовий стан, біологія ґрунтів, органічне землеробство. 2018. С. 60–63.
27. Usata L.G., Ryabkov S.V. Effect of water quality on the formation of spatial variability of soil under drip irrigation // *Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution*. transactions of the 23<sup>rd</sup> ICID Congress on Irrigation and Drainage – Abstract Volume, Question 60 and 61: Mexico City: ICID, 2017. p. 303–304.
28. Зміни ґрунтових показників під впливом краплинного зрошення плодових насаджень водою різної якості / Рябков С.В. та ін. // *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2011. Вип. 1(53). С. 67–77.
29. Аналітично-інформаційна система управління ґрунтовими режимами за краплинного зрошення / Рябков С.В. та ін. Київ: КОМПРИНТ, 2015. 48 с.
30. Усатий С.В., Усата Л.Г. Біологічне забруднення води в системах краплинного зрошення // *Меліорація і водне господарство*. 2016. Вип. 104. С. 57–66.
31. Усатий С.В. Купедінова Р.А. Випробування технічних засобів мікрозрошення в Україні // *Меліорація і водне господарство*. 2011. Вип. 99. С. 44–53.
32. Усатий С.В., Усата Л.Г. Дослідження трубопроводів з інтегрованими водовипусками вітчизняного та закордонного виробництва // *Меліорація і водне господарство*. 2013. Вип. 100. С. 147–156.
33. Usaty S.V., Usata L.G. Assessment of water quality for drip irrigation in Ukraine // *Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution*. transactions of the 23<sup>rd</sup> ICID Congress on Irrigation and Drainage – Abstract Volume, Question 60 and 61: Mexico City: ICID, 2017. P. 299–300.
34. Краплинний водовипуск: пат. 118726 Україна. № a201707077; заявл. 05.07.2017; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4.

#### References

1. Ayare, B.L., Mane, M.S., & Magar, S.S. (2014). *Principles of Drip Irrigation System*. New Delhi: Jain Brothers.
2. *Agricultural Water Management for Sustainable Rural Development: Annual Report 2016–2017*. (2018). New Delhi: ICID.
3. *Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku [Irrigation and drainage strategy in Ukraine until 2030]: Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy № 688-p.* (2019, August 14). *Uriadovi kurier*, 170. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80> [In Ukrainian].
4. УкрНИИГиМ. (1973). *Issledovanie osnovnykh parametrov kapelnogo orosheniya [The study of the main parameters of drip irrigation]. Otchet o NIR (promezhutochnyi, 1973): inv. № A-120*. Kiev. [in Russian].
5. Romashchenko, M.I., Koriunencko, V.M., Kalenikov, A.T., & Storchous, V.M. (2004). *Mikrozroshennia silskohospodarskykh kultur [Microirrigation of crops]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 90, 63–86. [in Ukrainian].

6. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., Ryabkov, S.V., Koriunenko, V.M., Kalenikov, A.T., & Usaty, S.V. et al. (2012). Kontsepsiia rozvytku mikrozroshennia v Ukraini do 2020 roku [The concept of development of microirrigation in Ukraine until 2020]. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
7. Hoholiev, A.I. (2004). Krapelne zroshennia yak kliuchovyi element tekhnologii v ovochivnytstvi [Drip irrigation as a key element of technology in vegetable growing]. *Ahroohliad*, 12(39), 24–25. [in Ukrainian].
8. Shchotkin, V.M. (2001). Krapelni systemy – naibilsh prohresyvnyi sposib polyvu [Drip irrigation systems are the most advanced way of watering]. *Propozytsiia*, 6, 48–50. [in Ukrainian].
9. Kysliachenko, M.F. (2014) Efektyvnist krapelnogo zroshennia kartopli ta ovochevykh kultur v Ukraini [Efficiency of drip irrigation of potatoes and vegetables in Ukraine]. *Produktyvnist ahroprymysloвого vyrobnytstva. Ekonomichni nauky*, 25, 102–107. [in Ukrainian].
10. Perelik Natsionalnykh standartiv Ukrainy, yaki rozrobleno TK 145 «Melioratsiia i vodne hospodarstvo» [List of National Standards of Ukraine developed by TC 145 “Reclamation and Water Management”]. (2017). Kyiv: IWPLR. [in Ukrainian].
11. Kalenikov, A.T., Zhanov, V.V., Koriunenko, V.M., Kupiedinova, R.A., Maidanovych, V.S., & Melnychuk, F.S. et al. (2015). Systemy kraplynnoho zroshennia. Zahalni tekhnichni vymohy ta metody vyznachennia tekhnolohichnykh parametriv: Posibnyk do DBN V.2.4-1-99 «Melioratyvni systemy i sporudy» [Drip irrigation systems. General technical requirements and methods for determining technological parameters: Guide to SBC B.2.4-1-99 “Reclamation systems and structures”]. A.T. Kalenikov (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
12. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., Usata, L.G., Ryabkov, S.V., Koriunenko, V.M., & Cherevychnyi, Yu.O. et al. (2014). Metodychni rekomendatsii z provedennia pol'ovykh doslidzhen za kraplynnoho zroshennia [Methodical recommendations for field studies on drip irrigation]. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
13. Romashchenko, M.I., Ryabkov, S.V., Usata, L.G., Shatkovskiy, A.P., Usaty, S.V., & Koriunenko, V.M. et al. (2014). Orhanizatsiia systemy rezhymnykh sposterezhen dla otsinky stanu zemel v umovakh mikrozroshennia: metodychnyi posibnyk [Organization of a regime of regime observations for the assessment of the state of land in microirrigation conditions: a manual]. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
14. Romashchenko, M.I., Usaty, S.V., Usata, L.G., Kalenikov, A.T., Prysiashniuk, V.V., & Kupiedinova, R.A. et al. (2014). Metodyka vyprobuvan tekhnichnykh zasobiv mikrozroshennia [Testing technique of micro irrigation equipment]. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
15. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., Zhuravlov, O.V., & Cherevychnyi, Yu.O. (2015). Osoblyvosti rezhymiv kraplynnoho zroshennia prosapnykh kultur [Features of tilled crops drip irrigation regimes]. Kyiv: *Visnyk ahrarnoi nauky*, 2, 51–56. [in Ukrainian].
16. Shatkovskiy, A.P., & Zhuravlov, O.V. (2016). Upravlinnia kraplynnyim zroshenniam na osnovi vykorystannia internet-meteostantsii iMetos® [Drip irrigation management on basis of the use of internet weather stations iMetos®]. Kyiv: NUBIP scientific reports. Retrieved from <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/6489/6373> [in Ukrainian].
17. Romashchenko, M., Shatkowski, A., & Zhuravlev, O. (2016). Features of application of the Penman–Monteith method for conditions of a drip irrigation of the steppe of Ukraine (on example of grain corn). *Journal of Water and Land Development*, 31, 123–127.
18. Shatkovskiy, A.P., Romashchenko, M.I., Vasyuta, V.V., Zhuravlov, O.V. Melnychuk, F.S., & Cherevychnyi, Yu.O. et al. (2019). Measurement of the cell sap concentration of plant's leaves for irrigation's scheduling. *Modern Phytomorphology*, 13, 54–57. Retrieved from: <https://zenodo.org/record/3518881#XbrdHdSLT4Y>.
19. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., Ryabkov, S.V., Koriunenko, V.M., Kapeliukha, T.A., & Krucheniuk, V.D. et al. (2015). Tymchasovi normy vodopotreby dla kraplynnoho zroshennia silskohospodarskykh kultur v umovakh Stepu Ukrainy [Temporary water requirements for drip irrigation of crops in the conditions of the Steppe of Ukraine]. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
20. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., & Onotsky, V.V. (2016) Mathematical model of flat-vertical moisture transfer in soil profil from drip irrigation in the conditions of partial saturation. *Agricultural Science and Practice. – The National Academy Agrarian Sciences of Ukraine*, 3, 35–40. <https://doi.org/10.15407/agrisp3.03.035> [in Ukrainian].
21. Ryabkov, S.V., & Usata, L.G. (2013). Zasolennia i vtorynna solontsiuvatist lokalno zvolozhenykh gruntiv [Salinization and secondary salinity of locally moistened soils]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 100 (I), 33–44. [in Ukrainian].



22. Romashchenko, M.I. (1997). Vplyv kraplynnoho zroshennia na solovyi rezhym i vlastyvoli gruntiv [Influence of drip irrigation on salt regime and soil properties]. Kyiv: Visnyk ahramoi nauky, 9, 68–72. [in Ukrainian].
23. Romashchenko, M.I. (1981). Issledovanie vlahoperenosa s tseliu rehulyrovaniya rezhyma kapelnogo orosheniya sadov [Moisture transfer study to regulate drip irrigation of gardens]. Extended abstract of candidate's thesis. Kiev: UkrNIIGiM [in Russian].
24. Muromtsev, N.N., Romashchenko, M.I., & Korzh, A.M. (1982). Izuchenie khymycheskoho sostava porovykh rastvorov v usloviyakh kapelnogo orosheniya [Study of the chemical composition of pore solutions under drip irrigation]. Melioratsiia i vodnoe khoziaistvo, 12, 23–28. [in Russian].
25. Ryabkov, S.V. (2005). Obgruntuvannia tekhnolohii mikrozhroshennia rozsadnyka ta sadu mineralizovanyimi vodamy v umovakh pivdnia Odeskoi oblasti [Substantiation of technology of micro irrigation of nursery and garden with mineralized waters in the conditions of the south of Odessa region]. Extended abstract of candidate's thesis. Kiev: IGiM [in Ukrainian].
26. Usata, L.G., & Ryabkov, S.V. (2018). Prostorova neodnorodnist vlastyvolei gruntiv u nasadzheniakh plodovykh kultur za kraplynnoho zroshennia [Spatial heterogeneity of soil properties in fruit plantations with drip irrigation]. Ahrokhimiia i gruntoznavstvo. Spetsvypusk knyha 2. Melioratsiia, rekultyvatsiia, okhorona gruntiv, ahrokhimiia, humusovi stan, biolohiia gruntiv, orhanichne zemlerobstvo, 60–63. [in Ukrainian].
27. Usata, L.G., & Ryabkov, S.V. (2017). Effect of water quality on the formation of spatial variability of soil under drip irrigation. Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution. transactions of the 23<sup>rd</sup> ICID Congress on Irrigation and Drainage – Abstract Volume, Question 60 and 61: Mexico City: ICID, 303–304.
28. Ryabkov, S.V., Usata, L.G., Usaty, S.V., Tetorkina, O.Ye., & Pavelkivskiy, O.V. (2011). Zminy gruntovykh pokaznykiv pid vplyvom kraplynnoho zroshennia plodovykh nasadzen vodoiu riznoi yakosti [Changes of soil indicators under the influence of drip irrigation of fruit plantations with water of different quality]. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia, 1(53), 67–77. [in Ukrainian].
29. Ryabkov, S.V., Usata, L.G., Novachok, O.M., Shyian, O.A. (2015). Analitychno-informatsiina systema upravlinnia gruntovymi rezhymamy za kraplynnoho zroshennia [Analytical and information system of soil management in drip irrigation]. Kyiv: KOMPRYNT. [in Ukrainian].
30. Usaty, S.V., & Usata, L.G. (2016). Biolohichne zabrudnennia vody v systemakh kraplynnoho zroshennia [Biological contamination of water in drip irrigation systems]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 104, 57–66. [in Ukrainian].
31. Usaty, S.V., & Kupiedinova, R.A. (2011). Vyprobuvannia tekhnichnykh zasobiv mikrozhroshennia v Ukraini [Testing of microirrigation equipment in Ukraine]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 99, 44–53. [in Ukrainian].
32. Usaty, S.V., & Usata, L.G. (2013). Doslidzhennia truboprovodiv z intehrovanyimi vodovypuskamy vitchyznianoho ta zakordonnoho vyrobnytstva [Investigation of pipelines with integrated water outlets of domestic and foreign production]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 100, 147–156. [in Ukrainian].
33. Usaty, S.V., & Usata, L.G. (2017). Assessment of water quality for drip irrigation in Ukraine. Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution. transactions of the 23<sup>rd</sup> ICID Congress on Irrigation and Drainage. Mexico City: ICID, 299–300.
34. Romashchenko, M.I., & Bezruk, V.V. (2019). Kraplynniy vodovypusk [Dropper]. Patent of Ukraine. № 118726. [in Ukrainian].

**М.И. Ромащенко, А.П. Шатковский, В.В. Васюта, С.В. Усатый, Л.Г. Усатая, С.В. Рябков, А.В. Журавлев, Р.А. Купединова, В.В. Безрук, Ю.А. Черевичный**

**Научная школа микроорошения: достижения и перспективы развития**

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные этапы становления и развития исследований по вопросам микроорошения сельскохозяйственных культур, выполнен всесторонний анализ основных фундаментальных и прикладных результатов исследований научной школы по микроорошению в Институте водных проблем и мелиорации НААН Украины (ИВПиМ НААН) в начале XXI века. С применением теоретических методов научного исследования (анализ и синтез, сравнение, классификация и обобщение) авторами систематизированы наиболее значимые научные результаты по нормативной, методической, технической и технологической составляющим. Приведен перечень подготовленных ИВПиМ НААН нормативных и методических документов по направлению

микроорошения. Результаты разработок по технологической составляющей детализировано по объектам исследования: водный режим и процессы водопотребления сельскохозяйственных культур, фертигация, пестигация, влияние локального увлажнения, удобрения и воды разного качества на систему «почва-растение-технические средства микроорошения», формирование зон увлажнения почв, методы назначения сроков вегетационных поливов и системы управления поливами. Освещены ключевые научные результаты деятельности лаборатории испытания средств орошения. Приведен перечень разработанных и внедренных ИВПиМ НААН технических средств систем микроорошения. Обоснованы стратегические направления дальнейших научных исследований, которые должны отвечать общемировому тренду по экологически безопасному орошению, а также ресурсо- и энергосбережения. Определена потребность Украины в системах микроорошения сельскохозяйственных культур на период до 2030 года, роль нынешних и будущих наработок научной школы микроорошения ИВПиМ НААН по их внедрению.

**Ключевые слова:** системы и способы микроорошения, нормативно-методическая база, режимы орошения и водопотребление, системы управления поливами, технические средства микроорошения, стратегические направления исследований.

**M.I. Romashchenko, A.P. Shatkovskiy, V.V. Vasiuta, S.V. Usatyi, L.G. Usata, S.V. Riabkov, O.V. Zhuravlov, R.A. Kupiedinova, V.V. Bezruk, Yu.O. Cherevychnyi**

#### **Scientific school of microirrigation: achievements and development prospects**

**Abstract.** The article discusses the main stages of the formation and development of research on crop irrigation, carried out a comprehensive analysis of the basic fundamental and applied research results of a scientific school on microirrigation at the Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Sciences of Ukraine (IWPaLR NAAS) at the beginning of the 21st century. The most significant scientific results were systematized by the authors according to the normative, methodological, technical and technological components using theoretical methods of scientific research (analysis and synthesis, comparison, classification and generalization). The list of normative and methodological documents prepared by IWPLR NAAS in the direction of microirrigation is given. The results of developments in the technological component are detailed according to the research objects: water regime and processes of water consumption of crops, fertigation, pestigation, the influence of local moistening, fertilizers and water of different quality on the soil-plant-technical means of irrigation system, the formation of soil moisture zones, methods of appointment of vegetation irrigation timing and irrigation management systems. The key scientific results of the irrigation facilities' testing laboratory are highlighted. The list of developed and implemented by the IWPLR NAAS technical means of microirrigation systems is given. The strategic directions of further scientific research are substantiated, which should meet the global trend for environmentally friendly irrigation, as well as resource and energy conservation. The need of Ukraine in the systems of micro irrigation of agricultural crops for the period up to 2030, the role of current and future developments of the scientific school of micro irrigation IWPLR NAAS on their implementation are determined.

**Key words:** microirrigation systems and methods, regulatory framework, irrigation regimes and water consumption, irrigation management systems, micro irrigation equipment, strategic research areas.