

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202102-291>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/291>

УДК 631.811.982

## ЕЛЕКТРОХІМІЧНО АКТИВОВАНА ВОДА (ЕХАВ): ІСТОРІЯ ВІДКРИТТЯ, СПЕЦИФІКА ПРОЦЕСУ, СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ЗРОШЕННІ

М.І. Ромащенко<sup>1</sup>, докт. техн. наук, Б.І. Конаков<sup>2</sup>, канд. техн. наук, В.В. Поліщук<sup>3</sup>, канд. с.-г. наук, С.В. Усатий<sup>4</sup>, канд. техн. наук

<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/0000-0003-3065-4745>; e-mail: [crony@meta.ua](mailto:crony@meta.ua);

<sup>3</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0003-0429-7406>; e-mail: [vitaliypolishchuk@ukr.net](mailto:vitaliypolishchuk@ukr.net);

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

**Анотація.** Проаналізовано історію відкриття, специфіку процесу і сучасного стану використання електрохімічно активованої води (ЕХАВ) у різних галузях господарювання та визначені можливості її застосування при зрошенні. Встановлено, що найбільш перспективним напрямком застосування ЕХАВ в зрошуваному землеробстві є системи краплинного зрошення. Додавання аноліту у воду за краплинного зрошення дозволяє суттєво зменшити (або взагалі виключити) необхідність використання засобів захисту рослин, а додавання католіту – суттєво пришвидшує розвиток і збільшує врожайність сільськогосподарських культур на фоні підвищення якості продукції. Екологічними наслідками цього є зменшення антропогенного навантаження на зрошувані землі шляхом повної або часткової заміни хімічних засобів захисту рослин анолітом, який є екологічно безпечною рідиною; економічними – підвищення рентабельності і скорочення строків окупності проектів зі зрошення земель. Визначено, що перспективність використання ЕХАВ у системах краплинного зрошення обумовлена тим, що технологія водоподачі в них дозволяє подавати католіт і аноліт на поле з мінімальними втратами активаційного потенціалу. Сприятливим чинником використання ЕХАВ у системах краплинного зрошення є створення за модульним принципом, що сприяє можливості обладнання вузлів водопідготовки систем модулями ЕХАВ. Водночас проектування систем слід проводити з врахуванням не тільки необхідності забезпечення рівномірності розподілу крапельницями води по полю, а і зі збереженням активаційного потенціалу електрохімічно активованих компонентів зрошувальної води. На підставі викладеного можна вважати, що розробка засобів електрохімічної активації води для потреб зрошення, а також технологій застосування такої води при вирощуванні сільськогосподарських культур є актуальною та своєчасною. Розгортання фундаментальних і прикладних досліджень щодо цього сприятиме створенню вітчизняного обладнання для промислового виробництва ЕХАВ і дозволить адаптувати світові технології їх використання до умов і потреб українського виробника та споживача. Особливо ефективним може бути застосування електрохімічно активованої води на системах краплинного зрошення.

**Ключові слова:** електрохімічно активована вода (ЕХАВ), аноліт, католіт, окисно-відновний потенціал (ОВП), зрошення активованою водою, системи краплинного зрошення

**Актуальність дослідження.** Аналіз доступної світової науково-технічної інформації свідчить, що сьогодні одним із важливих напрямків підвищення ефективності виробничих технологій в медицині, хімічній і будівельній промисловості, сільському господарстві та ін., є застосування електрохімічно активованих рідин. Значна увага приділяється електрохімічно активованій воді – аноліту і католіту – як речовинам, які мають надзвичайно суттєвий вплив на розчини різного складу, біологічні системи і організми. Попередньо

можна припустити, що застосування електрохімічно активованої води при вирощуванні сільськогосподарських культур дозволить забезпечити підвищення врожайності та якості товарної продукції при зрошенні католітом, а також покращити їх стійкість до шкідників і хвороб за рахунок повної або часткової заміни анолітом засобів захисту.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Зважаючи на гостру актуальність тематики, в останні десятиліття за кордоном і в Україні проведено значний комплекс

різнопланових досліджень у різних галузях господарювання. Системні дослідження за цією тематикою за кордоном виконано такими вченими як В.М. Бахір, [6], С.Я. Семененко [32], John P. Shanahan, Remigio Benavides Gonzalez [5] та іншими науковцями. В Україні цим питанням присвячувались роботи вчених НУ «Львівська політехніка» [21], Рівненського ДГУ [22], НТУ «Харківський політехнічний інститут» [23], Херсонського державного аграрно-економічного університету [24] та інших ВУЗів і науково-дослідних організацій країни. Однак розробка засобів електрохімічної активації води для потреб зрошення, а також технологій застосування такої води при вирощуванні сільськогосподарських культур є недостатньо вивченою.

**Мета дослідження** – всебічний аналіз сучасного стану застосування електрохімічно активованої води (ЕХАВ) в різних галузях та визначення перспективи її застосування при зрошенні.

**Матеріали і методи дослідження.** Застосовано теоретичні методи наукового дослідження: аналіз і синтез, індукція, дедукція та порівняння.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Стрімкий розвиток науки і техніки наприкінці ХІХ століття, поряд з багатьма іншими винаходами і відкриттями, призвів до створення в 1799 р. італійським фізиком і фізіологом Алессандро Джузеппе Вольта батарей гальванічних елементів, які виробляли постійний електричний струм. А приблизно через рік, в 1800 р., використовуючи такі батареї, англійські дослідники Нікольсон і Карлейль відкрили явище *електролізу* у вигляді розкладання води на водень і кисень під час проходження через неї постійного електричного струму. В 1833 р. на підставі аналізу розробок попередників і власних ґрунтовних досліджень англійський хімік і фізик Майкл Фарадей сформулював 2 основних закони електролізу (розкладу речовин постійним електричним струмом), які сьогодні відомі як закони Фарадея. Подальші дослідження і розробки в галузі електролізу багатьох вчених і інженерів різних країн світу призвели до створення технологій отримання за допомогою електролізу таких речовин як хлор, кисень, водень та інших, добування з природних руд і речовин легких, кольорових і благородних металів, синтезу складних речовин, гальванічного покриття поверхонь тощо.

Водночас слід зазначити, що практично усі розчини електролітів в традиційних

електролітичних процесах мають високу концентрацію і високу електропровідність, що суттєво відрізняє їх від прісної або слабо мінералізованої води. Через те, що прісна вода або слабомінералізовані розчини різних речовин не знаходили практичного застосування в прикладній електрохімії в якості розчинів електролітів, то «за більш ніж вікову історію її розвитку сформувалося уявлення про те, що електроліз прісної води неможливий у зв'язку з малою кількістю іонів, що містяться в ній» [1]. Таке уявлення ґрунтувалось на тому, що в промислових електролізерах напруга на електродах становить декілька вольт, а сила струму – декілька сотень ампер. Насправді електроліз прісної і навіть дистильованої води може протікати при низькій щільності струму за умови створення високої напруги між електродами.

Початком робіт у галузі електрохімічної активації води можна вважати 1972 р., коли В.М. Бахір, проводячи дослідження з регулювання властивостей бурових розчинів і води в технологічних процесах буріння нафтових і газових свердловин у Середньоазіатському НДІ газу в Ташкенті, звернув увагу на те, що процес електролізу слабомінералізованої води за наявності діафрагми, яка відокремлює зону розташування аноду від зони розташування катоду, суттєво відрізняється від традиційних процесів, які протікають відповідно до класичних законів електролізу. Водночас властивості води, що зазнала електрохімічної обробки, визначаються як початковою кількістю та складом мінеральних солей, так і параметрами електрохімічного впливу. В.М. Бахір запропонував називати це явище «електрохімічною активацією води» [2].

За існуючими в Україні і ЄС нормативами мінералізація питної води може становити до 1 г/л. Дистильована вода може містити до 5 мг/л розчинених солей. Переважними компонентами в питній воді є іони  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , а також  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , гази  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  та інші речовини. При протіканні постійного електричного струму через воду в ємності, яка має відокремлені напівпроникною перегородкою зони аноду і катоду, відбувається надходження електронів у воду навколо катоду і видалення електронів із води навколо аноду, що супроводжується реакціями на їхній поверхні, у результаті яких утворюються нові речовини (рис. 1) [3].

На відміну від класичного електролізу, при електрохімічній активації прісних або слабомінералізованих вод утворюються католіти і аноліти, властивості яких є нестабільними

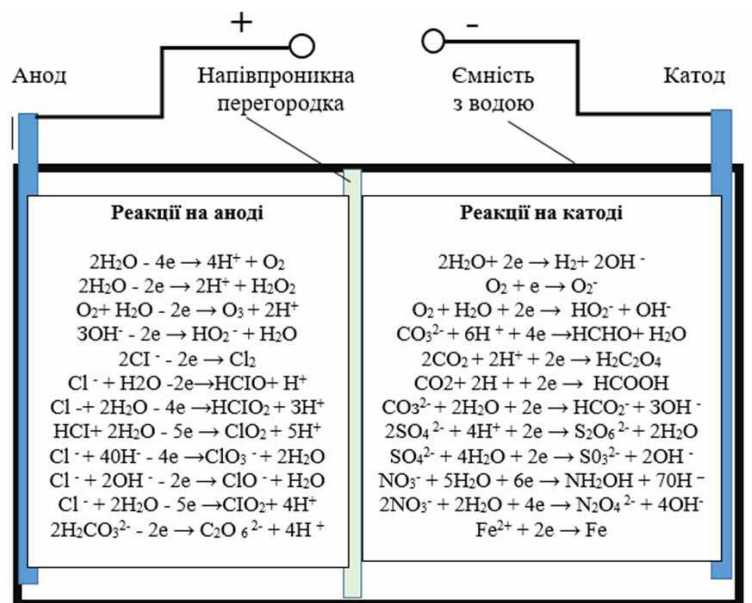


Рис. 1. Принципова схема електрохімічного активатора води і деякі хімічні реакції, притаманні процесу такої активації

в часі і мають термін релаксації – деякий час, за який їх характеристики змінюються і починають відповідати загальновідомим законам електролізу.

Цей час релаксації може становити від десятків хвилин до десятків і навіть сотень годин. Наявність часу релаксації дала підставу назвати аноліт і католіт під час їх релаксації *активованими* або, інакше кажучи, електрохімічними розчинами, і сформулювати основні принципи технології електрохімічної активації [2, 3, 4]. В.М. Бахір також сформулював технологічне призначення електрохімічної активації води як для її очищення від небажаних компонентів, так і в різних технологічних процесах із метою управління фізико-хімічними реакціями для підвищення ефективності виробництва.

Загальноживим став також запропонований ним у 1975 р. термін «*електрохімічна активація води – ЕХАВ*», який означає релаксаційні зміни параметрів розбавлених розчинів в результаті попередньої уніполярної електрохімічної обробки, а дослідження і розробки в цьому напрямку набули надзвичайного розвитку. Протягом наступного десятиліття багатьма вченими (перш за все колективом дослідників під керівництвом В.М. Бахіра) було виконано значний обсяг робіт з обґрунтування параметрів і створення різноманітних промислових засобів ЕХАВ і водних розчинів. Це привернуло увагу дослідників із різних галузей і сприяло поширенню вивчення феномену ЕХАВ не тільки в колишньому СРСР,

але й за кордоном, включаючи такі розвинуті країни як США, Японія і Німеччина. Коло застосування і обсяг питань, пов'язаних з ЕХАВ, настільки широкі, що дослідження в цьому напрямку продовжуються й сьогодні, що підтверджується патентом США 2021 р., який охоплює цілий комплекс технічних рішень, щодо цього [5].

Одним із феноменів ЕХАВ є те, що в катодній зоні вода, навіть дистильована, набуває лужну реакцію за рахунок перетворення деякої частини розчинених солей в гідроксиди (рис. 2) [3].

Водночас окисно-відновний потенціал (ОВП) католіту знижується, зменшується вільний об'єм води та електропровідність,

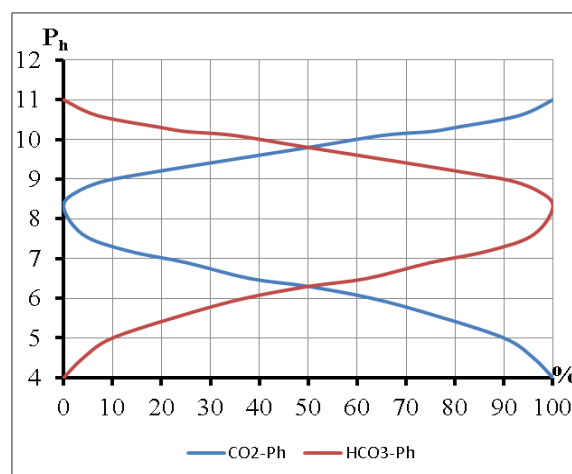


Рис. 2. Залежність рН води від вмісту солей карбонної кислоти

а концентрація водню і вільних гідроксильних груп – навпаки, зростають. Внаслідок підвищення рН іони металів переходять у важкорозчинні і нерозчинні гідроксиди.

В анодній зоні кислотність води підвищується, ОВП зростає завдяки утворенню стійких і нестабільних кислот (сірчаної, соляної, хлорнуватої, надсірчаної), а також пероксиду водню, пероксосульфатів, пероксикарбонатів, кисневмісних сполук хлору й інших речовин. Дещо збільшуються електропровідність, вміст розчинених хлору і кисню, зменшується концентрація водню і азоту (рис. 1).

Загальновідомо, що кількісною характеристикою кислотності або лужності води є водневий показник рН, який визначається активністю іонів водню ( $aH^+$ ) або, інакше, співвідношенням концентрації іонів гідроксонію  $H_3O^+$  і гідроксиду  $OH^-$ . У нейтральної води  $pH = 7$ , що відповідає рівності концентрацій цих іонів. При додаванні у воду кислоти рН стає менше 7, при додаванні лугу – більше 7. Іншим важливим показником властивостей води і її розчинів є ОВП – окисно-відновний потенціал (або редокс-потенціал), який вимірюється в мВ і характеризує здатність рідини приєднувати чи віддавати іони. Якщо ОВП речовини позитивний, вона – окиснювач, якщо негативний – відновник.

Переважна частина біологічних рідин тварин і людини має від'ємний ОВП (від  $-100$  до  $-200$  мВ), так само, як і соки живих рослин. Природна та бутильована вода має позитивний ОВП в межах від  $+70$  до  $+700$  мВ. Незважаючи на те, що ОВП сьогодні не нормується існуючими стандартами, за результатами досліджень вчених різних країн світу він суттєво впливає на властивості водних розчинів

щодо їх дії на біологічні організми і процеси, в яких ці водні розчини використовуються. Вода з від'ємним ОВП має антиоксидантні властивості, з позитивним – знезаражуючі. Відповідно в широкій пресі католіт часто називають «живою» водою, аноліт – «мертвою».

Величину ОВП водних розчинів можна змінювати насичуючи їх кислотами або лугами. Так, наприклад, збільшуючи вміст соляної кислот ( $HCl$ ) від 0 до 0,36 г/л, ОВП змінимо від  $+350$  мВ до  $+650$  мВ. Водночас рН зменшиться з 7 до 2. Насичення води гідроксидом натрію ( $NaOH$ ) від 0 до 0,4 г/л навпаки зменшить ОВП з  $+350$  мВ до  $+60$  мВ, а рН при цьому зросте з 7 до 12. Зв'язок між ОВП і рН при внесенні гідроксиду натрію або соляної кислоти полягає в тому, що при зміні рН води на 1 ОВП відповідно збільшується або зменшується на 59 мВ. Можна також підвищити ОВП шляхом насичення розчинів киснем (шляхом барботування) і знизити, пропускаючи через нього водень [3].

Сфера значень рН і ОВП при хімічній зміні рН питної води відповідає теоретичним уявленням. При електрохімічній активації води значення рН і ОВП католіту і аноліту питної води виходять далеко за межі сфери хімічного регулювання. Досит показовим є експеримент, проведений В.М. Бахіром на водопровідній воді, результати якого нами для наочності відображено у вигляді таблиці 1.

Водопровідна питна вода із загальною мінералізацією 0,17 г/л і вихідними значеннями  $pH = 7,3$  і  $ОВП = +270$  мВ в одному досліді піддавалася активації в електрохімічному реакторі РПЕ-6, в другому досліді – активувалась за допомогою кислоти  $HCl$  і лугу  $NaOH$ . Узагальнення результатів експерименту для кожного з досліджуваних об'єктів наведено

### 1. Порівняння динаміки змін у часі параметрів електрохімічно і хімічно активованої води

Початкові значення	Час після активації	ЕХАВ						Хімічна активація					
		аноліт			католіт			HCL			NaOH		
		рН	ОВП, мВ		рН	ОВП, мВ		рН	ОВП, мВ		рН	ОВП, мВ	
			Теор.	Експер.		Теор.	Експер.		Теор.	Експер.		Теор.	Експер.
рН= 7,3 ОВП=+270мВ	0 год	3,03	+545	+1040	11,8	+18	-830	3,02	+545	+595	11,8	+18	+25
	24 год	3,1		+1010	10,2		-650	3,01		+590	11,7		+20
	168 год	3,3		+590	9,5		0	3,02		+585	11,8		+20
Зміна параметрів		0,27		<b>450</b>	<b>2,3</b>		<b>830</b>	<b>0</b>		<b>10</b>	<b>0</b>		<b>2</b>

в рядку «Зміна параметрів». Як видно з наведених даних, для анолізу і католіту мають місце значні релаксаційні зміни рН і ОВП, тоді як для їх хімічних моделей такі зміни відсутні. Для хімічних моделей анолізу і католіту спостерігається практично повний збіг вимірних і теоретично розрахованих значень ОВП. З даних таблиці видно, що теоретично розрахований ОВП анолізу майже у 2 рази менший за експериментально встановлений, теоретично розрахований ОВП католіту більш, на понад 800 разів більший за експериментально встановлений. Аналіз можливостей зміни ОВП водних розчинів хімічними реагентами порівнянню з електрохімічною активацією свідчить про їх обмеженість і значно меншу ефективність порівнянню з ЕХАВ, а також неможливість досягнення результатів ЕХАВ суто хімічними методами [3].

Значний обсяг науково-технічних досліджень щодо електрохімічної активації, що були виконані за період з 70-х років минулого століття донині в Росії, вивели її на перші позиції серед країн світу. За твердженнями російських вчених (Бахір В.М. та ін.) в 1990 р. Росія випереджала США і Японію по розробках, що стосуються виробництва і застосування електрохімічно активованих розчинів на 40-50 років, в 2010 – на 10-15 років [6]. Технічні засоби електрохімічної активації Росія постачає багатьом країнам, включаючи високо розвинуті: США, Японію і Німеччину. Водночас стверджується, що використання цих технологій забезпечує багатомільярдні прибутки в розрізі країни. Сьогодні технології використання ЕХАВ застосовуються в різних сферах людської діяльності. Подальші дослід-

ження і популяризація властивостей електрохімічно активованих розчинів призвели до виникнення, перш за все в Росії, цілої галузі науки і техніки, пов'язаної з цією тематикою, включаючи спеціалізовані науково-дослідні заклади. Сьогодні в багатьох російських ВУЗах існують курси дисциплін, присвячених електрохімічним технологіям, мають розділи, присвячені ЕХА [7, 8, 9], для широкого кола студентів і школярів пропонується інфоурок «Технология электрохимической активации (ЭХА)» [8], виконуються дипломні роботи з підготовки і застосування таких рідин [9].

Було створено низку різновидів технічних конструкцій для отримання ЕХАВ, які почали використовувати у медицині і аграрному комплексі [6]. Наприкінці 70-х років минулого століття справжній бум із розробки і впровадження засобів виробництва ЕХАВ відбувся і за межами Росії. Так, тільки в Японії в 1979 р. було вироблено 600 тисяч апаратів активації води [10].

Сьогодні установки і апарати для електрохімічної активації води присутні і на вітчизняному ринку. Практично всі вони ввезені з закордону, включаючи Росію і Білорусь. Промислові установки – переважно для виробництва анолізу і його складових, побутові – для отримання анолізу і католіту. Основними складовими переважної більшості промислових установок (рис. 3) є «модулі Бахіра» або їх аналоги – електрохімічні модульні елементи, кожен з яких є окремою компактною установкою активації води і які складаються з коаксіально розташованих і виповнених у формі циліндрів із платинованого титану анодів, напівпроникних керамічних мембран і катодів із нержавіючої сталі (рис. 4) [6].



Рис. 3. Реактори МБ-26-37-00 і МБ-26-04 установок «Екохлор» з модулями Бахіра



Рис. 4. Прототип модуля Бахіра – проточний модульний електрохімічний елемент ПЕМ

Найбільш активно сьогодні використовуються різновиди аноліту. Це пов'язане, з одного боку, з його властивостями як потужного екологічно чистого антисептичного засобу, з іншого – із спроможністю довго зберігатись, не змінюючи своїх властивостей.

Найважливішими складовими сучасних анолітів, які широко застосовуються в різних галузях багатьох країн, наприклад російського нейтрального Аноліту (АНК), – є хлорнуватиста кислота, кисневі сполуки хлору та пероксидні сполуки, які безпечні для людей і тварин і після використання перетворюються на воду.

В медичних закладах Росії, Швейцарії, Бельгії, Туреччини, США, Кореї, Японії та інших країн цей та аналогічні препарати використовують для дезінфекції і стерилізації поверхонь, обладнання, посуду, білизни, у стоматологічній практиці, при лікуванні захворювань внутрішніх органів, при особливо небезпечних інфекціях тощо [11, 12, 13, 14]. По ефективності аноліти значно разів перевищують розчини гіпохлориту або хлорної води, які еквівалентні за вмістом активного хлору і одночасно мають значно меншу корозійну активність, а патогенна мікрофлора не здатна ставати до них резистентною [15]. В аграрному секторі аноліти можуть використовуватись у рослинництві, комплексах для зберігання сільгосппродукції, кормовиробництві і тваринницьких комплексах, м'ясо- і молокопереробних підприємствах тощо [16, 17, 18, 19].

На відміну від аноліту, час релаксації католіту набагато менший, ніж аноліту, що суттєво

ускладнює його застосування (рис. 5) [20] і залежить від умов зберігання компонентів електрохімічно активованої води: у відкритих ємностях він на 15–25% менший, ніж у герметично закритих. Але саме привабливість католіту як універсального антиоксидантного і оздоровлюючого засобу призвела до сплеску на терені минулого СРСР у 70-ті, 80-ті роки минулого століття уваги до ЕХАВ. З початку робіт з ЕХАВ дослідників цікавив вплив аноліту і католіту на біологічні об'єкти. Наявність цього впливу проявлялась вже на початку робіт, коли бурильники, які працювали з активованими розчинами, помічали, що такі розчини сприяють і пришвидшують загоєння ран і подразнень на руках. Відповідно це привернуло увагу розробників технологій ЕХАВ і науковців різних спеціальностей: медиків, ветеринарів, біологів, аграріїв тощо [2, 4, 6].

**Подальший розвиток ЕХАВ при зрошенні.** Українська наукова спільнота також проявляє значний інтерес до питань, пов'язаних з ЕХАВ. За останнє десятиріччя окремі міністерства і відомства (МОН України, МОЗ України та ін.) профінансували декілька науково-дослідних тем, у складі яких розроблялись технології виробництва і застосування ЕХАВ. Періодично на електронних ресурсах, а також у друкованому вигляді з'являються матеріали, присвячені цій тематиці. Науковцями і викладачами НУ «Львівська політехніка» [21], Рівненського ДГУ [22], НТУ «Харківський політехнічний інститут» [23], Херсонського державного

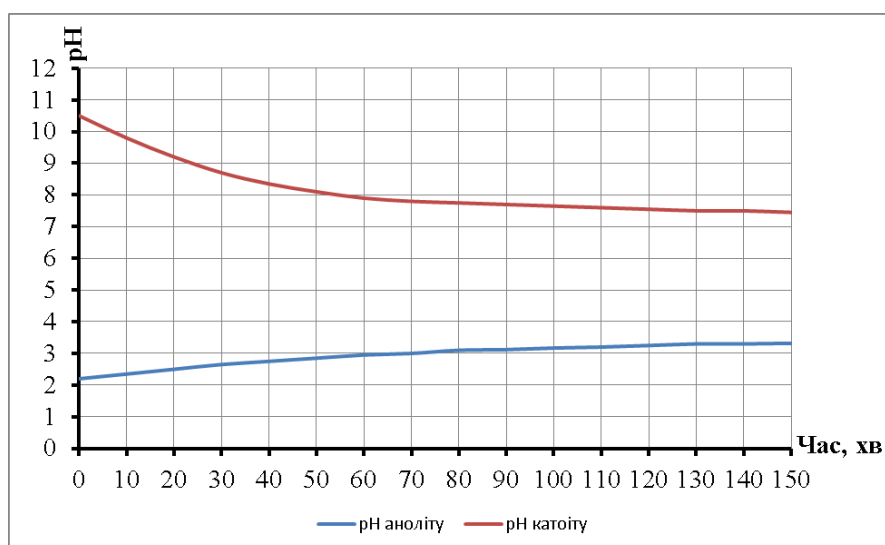


Рис. 5. Характер протікання релаксаційних процесів аноліту і католіту, які зберігались у відкритих ємностях після електрохімічної активації питної води з загальною мінералізацією 0,52 г/л

аграрно-економічного університету [24] та інших ВУЗів і науково-дослідних організацій країни проведено дослідження, підготовлено звіти і, навіть, декілька дисертацій, присвячених ЕХАВ [25]. Але обсяг цих досліджень, порівняно з прогнозованим значенням широкого впровадження технологій ЕХАВ у різні галузі промисловості, медицини і сільського господарства, поки що є недостатнім.

В сільському господарстві одним із перспективних напрямків використання ЕХАВ за кордоном розглядається зрошувальне землеробство. Дослідниками відзначається, що додавання аноліту в зрошувальну воду дозволяє суттєво зменшити (або взагалі виключити) необхідність використання засобів захисту рослин, а додавання католіту – суттєво пришвидшує розвиток і збільшує врожайність сільськогосподарських культур на фоні підвищення якості продукції [26, 27, 28, 29, 30, 31]. Відзначається, що ефект дії електрохімічно активованої води відслідковується як під час проростання насіння, так і протягом усього періоду вегетації рослин і, переважно, залежить від таких основних показників води як кислотність (або лужність) – рН та окислювально-відновлювальний потенціал (ОВП) [31].

Найбільш ґрунтовні дослідження щодо застосування ЕХАВ в зрошувальному землеробстві проведені і продовжують виконуватись у Росії. Перші спроби застосування активованої води при зрошенні дощуванням виявили деякі особливості поведінки католіту при проходженні через сопла дощувальних апаратів: термін релаксації ОВП водночас інтенсивно зменшується і вода, що потрапляє на поле, відновлює значення ОВП до активації. Зовсім інший характер релаксації ОВП католіту в системах краплинного зрошення – майже такий самий, як у закритих ємностях (декілька годин). Це дає можливість подати його з водою на поле з майже незмінними після електрохімічної активації характеристиками [32].

Дослідження застосування ЕХАВ на системах краплинного зрошення засвідчили високу ефективність таких технологій. Так, згідно з [33], після замочування і наступного зрошення католітом, польова схожість насіння цукрової кукурудзи зростає до 90–100%; кількість повноцінних стебел від одного насіння, в середньому, становить 3г; середня маса одного качана – 270–290 г; врожайність – на 68,7% більша, ніж на контролі. Вміст загального цукру у такому разі підвищується на 30,9%, моноцукру – на 40,1%, діцукрів – на

26,3%. Використання ЕХАВ для поливу при краплинному зрошенні дозволяє суттєво активізувати фотосинтетичну активність овочевих культур, насамперед, завдяки збільшенню фотосинтетичного потенціалу посіву. При краплинному зрошенні томатів [31] застосування ЕХАВ забезпечує можливість сукупного вирішення завдань ресурсозбереження, екологічної безпеки виробництва, підвищення якості плодів для формування врожайності на рівні 100 т/га. Використання ЕХАВ за краплинного зрошення томатів також дозволяє стримувати поширення хвороб та інгібує їх розвиток на вже заражених рослинах. Ці дослідження [31] свідчать, що застосування аноліту в рівній пропорції з природною зрошувальною водою може бути найкращою альтернативою хімічним методам стримування поширення фітофтори та септоріозів. Поширення хвороб у дослідках не перевищувало 0,3–1,5%, що співставно з показниками, які забезпечуються стандартними засобами хімічного захисту рослин [31]. Застосування ЕХАВ дозволяє також суттєво покращувати структуру врожаю, одночасно підвищуючи на 14,2–25,0% середнє число плодів на рослині і на 5,0–8,9% – масу середнього плоду [31]. Іншою перевагою використання електрохімічної активації зрошувальної води є підвищення коефіцієнта вирівнювання плодів у врожаї до 95,0–97,6%. Автори цих досліджень [31] стверджують, що застосування ЕХАВ за краплинного зрошення на тлі ощадного режиму використання засобів хімічного захисту рослин (без фунгіцидів) дозволяє формувати економічно вигідні та інвестиційно-привабливі проекти з внутрішньою нормою прибутковості 129% і терміном окупності біля 1 року. Застосування ЕХАВ при краплинному зрошенні кавунів сорту «Холодок» у Поволжі збільшило врожайність на 30% і дозволило отримати продукцію на 12 днів раніше [30]. Високу ефективність, як свідчать дослідження [34], має використання ЕХАВ при краплинному зрошенні томатів у теплицях: врожайність підвищується на 16%, крупність плодів – на 30%.

Використання ЕХАВ на системах краплинного зрошення потребує не тільки розробки технологій її застосування і промислових активаторів, але й прив'язки таких активаторів до параметрів систем краплинного зрошення з врахуванням особливостей ЕХАВ. Сьогодні однією з основних причин стримування широкого впровадження технологій застосування ЕХАВ за краплинного зрошення є відсутність адаптованих алгоритмів

і методів проектування систем краплинного зрошення з модулями електроактивації. Дослідженнями [35] встановлено, що при проектуванні таких систем з модулем ЕХАВ, поряд із вирішенням загальної задачі забезпечення рівномірності розподілу крапельницями води по полю, слід враховувати необхідність збереження активаційного потенціалу ЕХАВ. Очевидним є те, що необхідність збереження активаційного потенціалу ЕХАВ передбачає додаткові вимоги до окремих параметрів систем краплинного зрошення.

На підставі викладеного можливо вважати, що розробка засобів електрохімічної активації води для потреб зрошення, а також технологій застосування такої води при вирощуванні сільськогосподарських культур є актуальним та своєчасним. Розгортання фундаментальних і прикладних досліджень щодо цього сприятиме створенню вітчизняного обладнання для промислового виробництва ЕХАВ і дозволить адаптувати світові технології їх використання до умов і потреб українського виробника та споживача. Особливо ефективним може бути застосування електрохімічно активованої води на системах краплинного зрошення.

За результатами досліджень можна стверджувати, що використання ЕХАВ при зрошенні дозволить забезпечити:

- зменшення антропогенного навантаження на зрошувані землі шляхом повної або часткової заміни хімічних засобів захисту рослин анолітом, який є екологічно безпечною рідиною;
- підвищення врожайності та покращення якості продукції при додаванні католіту в поливну воду;
- підвищення рентабельності і скорочення строків окупності проектів зі зрошення земель.

**Висновки.** Проведений аналіз свідчить, що:

– компоненти електрохімічно активованої води (ЕХАВ) широко застосовуються в різних галузях промисловості Росії, Білорусі, США, Японії, Німеччини, Китаю та інших країн, зокрема в аграрному секторі. В сільському господарстві аноліт і його компоненти використовуються як екологічно чисті антисептичні, дезінфікуючі, фунгіцидозамісні засоби, католіт – як екологічно чистий стимулятор росту, антиоксидант і підживлювач. Одним із перспективних і високоефективних напрямків застосування ЕХАВ в зрошувальному землеробстві є системи краплинного зрошення;

– застосування ЕХАВ при виробництві різноманітної продукції забезпечує значний економічний ефект, складовими якого є підвищення продуктивності і якості цієї продукції, збереження довкілля та оздоровлення населення. Для забезпечення цього напрямку фахівцями за кордоном в багатьох ВУЗах введені відповідні курси дисциплін, або існуючі курси доповнені розділами, в яких викладені основи теорії і практики виробництва і застосування ЕХАВ. Очевидною є доцільність впровадження таких курсів і в Україні для ознайомлення студентів ВУЗів та коледжів з основами технологій ЕХАВ;

– розгортання робіт з впровадження технологій ЕХАВ в аграрному і переробному секторі країни України потребує проведення досліджень із перевірки існуючих даних щодо ефективності використання складових такої води і адаптації існуючих світових технологій для їх застосування в умовах нашої країни. Необхідно також провести дослідно-конструкторські роботи зі створення вітчизняних технічних засобів ЕХАВ, а також розробити і обґрунтувати технології їх використання.

### Бібліографія

1. Томилов А. П. Электрохимическая активация – новое направление прикладной электрохимии. *Жизнь и безопасность*. 2002. № 3. С. 302–307.
2. Электрохимическая активация: история, состояние, перспективы / Бахир В. М. и др. Москва : ВНИИИМТ, 1999. 256 с.
3. Бахир В. М. Теоретические аспекты электрохимической активации. ОАО «НПО «ЭКРАН». Москва. URL: <https://ikar.udm.ru/sb/sb21-2-08.htm> (дата звернення: 18.07.2021).
4. Прилуцкий В. И., Бахир В. М. Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия. Москва : ВНИИИМТ, 1997. 228 с.
5. Shanahan J. P., Gonzalez R. B. Electrochemical activation of water. – US11000883B2- 2021-05-11. URL: <https://patents.google.com/patent/US11000883B2/en>. (дата звернення: 05.09.2021).
6. Бахир В. М. Электрохимическая активация: изобретения, техника, технология. Москва : Вива-Стар, 2014. 511 с.
7. Рабочая программа «Электрохимические технологии защиты окружающей среды». Южнороссийский государственный университет им. М. И. Платова. Новочеркасск, 2016. URL:



<https://tf.npi-tu.ru/assets/tf/kht/files/Progr%20TEP%20novie/extexn-zashh-okr-sr.pdf>. (дата звернення: 15.08.2021).

8. Інфоурок «Технология электрохимической активации (ЭХА)». URL: <https://infourok.ru/tehnologiya-elektrohimiicheskoj-aktivacii-eha-4777946.html>. (дата звернення: 06.08.2021).

9. Выпускная квалификационная работа «Анализ и разработка системы автоматического управления процессом электрохимической активации воды». Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. Воронеж, 2018. URL: <https://nauchkor.ru/uploads/documents/5ecbb20acd3d3e0001403e61.pdf>. (дата звернення: 05.09.2021).

10. Apparatus Producing Continuously Electrolyzed Water. USA Patent Number 5, 051, 161, 1991. Inventors: Shuji Yamagushi, Shiroji Misawa, Giichi Asanuma, all of Saitama, Japan.

11. Electrochemically activated water as an alternative to chlorine for decentralized disinfection/Ghebremichael K., etc. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2011. 60(4). P. 210–218. DOI: <https://doi.org/10.2166/aqua.2011.034>

12. ElAmin A. Electrolyzed water effective as chemical cleaner, study finds. 2017. URL: <https://www.foodnavigator.com/Article/2006/01/31/Electrolyzed-water-effective-as-chemical-cleaner-study-finds> (дата звернення: 18.11.2021).

13. Activated and Electrolyzed Water: A Brief Review of a New Generation of Cleaners and Sanitizing Agents. *Food Safety Magazine*. 2010. URL: <https://www.food-safety.com/articles/4263-activated-and-electrolyzed-water-a-brief-review-of-a-new-generation-of-cleaners-and-sanitizing-agents> (дата звернення: 12.11.2021).

14. Electrolyzed Water Generated On-Site as a Promising Disinfectant in the Dental Office During the COVID-19 Pandemic. *Front. Public Health*. 30 April 2021. URL: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.629142> (дата звернення: 08.10.2021).

15. Прилуцкий В.И., Долгополов В.И., Барабаш Т.Б. Анолиты на рынке дезсредств: не ошибитесь в выборе! *Медицинский алфавит*. 2013. Т. 3 «Эпидемиология и гигиена». URL: [http://www.bakhir.ru/\\_img/pdf/3-eg-13-4-corr.pdf](http://www.bakhir.ru/_img/pdf/3-eg-13-4-corr.pdf) (дата звернення: 05.09.2021).

16. Способ предпосевной обработки семян хлопчатника. Авторское свидетельство СССР, № 663358. 1976.

17. Способ хранения цитрусовых плодов. Авторское свидетельство СССР, № 1341743. 1985.

18. Способ консервирования зеленой массы кукурузы. Авторское свидетельство СССР, № 1534772. 1987.

19. Способ обработки яиц сельскохозяйственной птицы. Авторское свидетельство СССР, № 1752401. 1986.

20. Вода «живая» и «мертвая». Новые факты об антиоксидантных и релаксационных характеристиках электроактивированной воды. *Universum: химия и биология : электрон. научн. журн.* / Аронбаев Д. М. и др. 2021. 2(80). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/11225> (дата звернення: 18.11.2021).

21. Електрохімічна активація водних розчинів як екологічний метод водопідготовки / Пташник В. та ін. Львів : “ECOLOGY & TOURISM 2013” (EcoTour-2013), 21–23 NOVEMBER. 2013. С. 12–13. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/27007/1/005-012-013.pdf> (дата звернення: 18.11.2021).

22. Використання електрохімічно активованих (ЕХА) розчинів у ветеринарній медицині і органічному виробництві: (науково-практичні рекомендації) / Мандигра М. С. та ін. Луцьк : ПП Іванюк В.П., 2020. 48 с.

23. Дослідження фізико-хімічних показників води, обробленої безреагентним електрохімічним методом / Маринін А. І та ін. *Вісник НТУ «ХПІ». Нові рішення в сучасних технологіях*. 2020. № 2(4). С. 103–109.

24. Кияновский А. М. Устройство для электрохимической активации воды. *Modern engineering and innovative technologies*. 2019. Issue 8, Part 1. С. 52–57. URL: <http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/1868>. (дата звернення: 4.10.2021).

25. Пташник В. В. Екологічно безпечні технології одержання промислових водних розчинів з використанням електрохімічної активації : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека». Суми, 2014. 24 с.

26. Electrochemical disinfection of irrigation water with a graphite electrode flow cell / Geletu Q. et al. *Water*. 2021. Vol. 93. P. 535–548. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wer.1456>. (дата звернення: 15.11.2021).

27. Disinfection of Irrigation Water Using Titanium Electrodes / Geletu Q. et al. *Journal of The Electrochemical Society*. 2021. Vol. 168(6). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/ac0943> (дата звернення: 15.11.2021).
28. The use of ECA-water for water disinfection in horticulture. URL: <https://www.fertinnowa.com/technologies/use-eca-water-water-disinfection-horticulture/> (дата звернення: 19.11.2021).
29. Lévesque S., Graham T., Bejan D. et al. Inactivation of *Rhizoctonia solani* in fertigation water using regenerative in situ electrochemical hypochlorination. *Scientific Reports*. 2019. 9. 14237. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50600-7> (дата звернення: 01.11.2021).
30. Абезин В. Г., Карпунин В. В. Система капельного орошения с модулем электроактивации воды. *Достижения науки и техники АПК*. 2007. № 6. С. 23–25. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-kapelnogo-orosheniya-s-modulem-elektroaktivatsii-orositelnoy-vody/viewer>. (дата звернення: 18.11.2021).
31. Чушкіна О. І. Технологія застосування електрохімічно активованої води при капельному зрошенні томатів : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. с.-х. наук: спец. 06.02.01 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель». Волгоград, 2014. 23 с.
32. Создание эффективных экологически безопасных технологий и технических средств орошения нового поколения / Семенов С. Я. и др. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2018. № 2(50). С. 64–70.
33. Амчелавский О. В. Разработка технологии орошения сахарной кукурузы с использованием оптимизированных составов активированных растворов : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 06.02.01 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель». Волгоград, 2011. 24 с.
34. Цокур Д. С. Улучшение качества регулирования кислотности почвы на основе электроактиватора воды при выращивании томатов в условиях закрытого грунта : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве». Краснодар, 2013. 24 с.
35. Чушкин О. М. Теоретическое и экспериментальное обоснование алгоритма проектирования систем капельного орошения с модулем электрохимической активации воды : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве». Волгоград, 2014. 24 с.

### References

1. Tomilov, A. P. (2002). Elektrohimicheskaya aktivatsiya – novoe napravlenie prikladnoy elektrohimii [Electrochemical activation is a new direction of applied electrochemistry]. *Zhizn i bezopasnost*, 3, 302–307. [in Russian]
2. Bahir, V. M., Zadorozhnyi, Yu. G., Leonov, B. I., Panicheva, S. A., Prilutskiy, V. I., & Suhova, O. I. (1996). Elektrohimicheskaya aktivatsiya: istoriya, sostoyanie, perspektivy [Electrochemical activation: history, state, prospects]. Moskva. [in Russian]
3. Bahir, V. M. Teoreticheskie aspektyi elektrohimicheskoy aktivatsii. OAO «NPO «EKРАН» [Theoretical aspects of electrochemical activation]. Moskva. [ikar.udm.ru](http://ikar.udm.ru). Retrieved from <https://ikar.udm.ru/sb/sb21-2-08.htm>. [in Russian]
4. Prilutskiy, V. I., & Bahir, V. M. (1997). Elektrohimicheski aktivirovannaya voda: anomalnyie svoystva, mehanizm biologicheskogo deystviya [Electrochemically activated water: abnormal properties, mechanism of biological action]. Moskva : VNIIMT. [in Russian]
5. Shanahan, J. P., & Gonzalez, R. B. (2021). Electrochemical activation of water. – US11000883B2-2021-05-11. [patents.google.com](https://patents.google.com/patent/US11000883B2/en). Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US11000883B2/en>
6. Bahir, V. M. (2014). Elektrohimicheskaya aktivatsiya: izobreteniya, tehnika, tehnologiya [Electrochemical activation: inventions, technique, technology]. Moskva : Viva-Star. [in Russian]
7. Rabochaya programa «Elektrohimicheskie tehnologii zashchityi okruzhayushey sredy (2016). [Electrochemical technologies of environmental protection]. Yuzhno-rossyiskiy gosudarstvennyy univversitet ym. M. Y. Platova. Novochechensk. [tf.npi-tu.ru](http://tf.npi-tu.ru). Retrieved from <https://tf.npi-tu.ru/assets/tf/kht/files/Progr%20TEP%20novie/extexn-zashh-okr-sr.pdf>. [in Russian]
8. Infourok «Tehnologiya elektrohimicheskoy aktivatsii (EHA) [Electrochemical activation technology (ECHA)]. [infourok.ru](http://infourok.ru). Retrieved from <https://infourok.ru/tehnologiya-elektrohimicheskoy-aktivatsii-eha-4777946.html>. [in Russian]

9. Vyipusknaya kvalifikatsionnaya rabota «Analiz i razrabotka sistemyi avtomaticheskogo upravleniya protsessom elektrohimi cheskoy aktivatsii vodyi». (2018) [Analysis and development of an automatic control system for the process of electrochemical activation of water]. Voronezhskiy gosudarstvennyiy lesotekhnicheskiiy universitet im. G. F. Morozova. Voronezh. nauchkor.ru. Retrieved from: [https://nauchkor.ru/uploads/documents/5ecbb20acd3d3e0001403\\_e61.pdf](https://nauchkor.ru/uploads/documents/5ecbb20acd3d3e0001403_e61.pdf). [in Russian]
10. Apparatus Producing Continuously Electrolyzed Water. (1991). USA Patent Number 5, 051, 161, 1991. Inventors: Shuji Yamagushi, Shiroji Misawa, Giichi Asanuma, all of Saitama, Japan.
11. Ghebremichael, K., Muchelemba, E., Petrusovski, B., & Amy, G. (2011). Electrochemically activated water as an alternative to chlorine for decentralized disinfection. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 60(4), 210–218.
12. ElAmin, A. (2007) Electrolyzed water effective as chemical cleaner, study finds. *foodnavigator.com*. Retrieved from <https://www.foodnavigator.com/Article/2006/01/31/Electrolyzed-water-effective-as-chemical-cleaner-study-finds>
13. Activated and Electrolyzed Water: A Brief Review of a New Generation of Cleaners and Sanitizing Agents. (2010). *Food Safety Magazine*: August 1. *Food-safety.com*. Retrieved from <https://www.food-safety.com/articles/4263-activated-and-electrolyzed-water-a-brief-review-of-a-new-generation-of-cleaners-and-sanitizing-agents>
14. Electrolyzed Water Generated On-Site as a Promising Disinfectant in the Dental Office During the COVID-19 Pandemic. *Front. Public Health*, 30 April 2021. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.629142>
15. Prylutskiy, V. Y., Dolhopolov, V. Y., & Barabash, T. B. (2013). Anolityi na rynke dez sredstv: ne oshibites v vyibore! / [Anolytes in the market of disinfectants: do not make a mistake in the choice!]. *Meditsinskiy alfavIt*, 3. *bakhir.ru*. Retrieved from [http://www.bakhir.ru/\\_img/pdf/3-eg-13-4-corr.pdf](http://www.bakhir.ru/_img/pdf/3-eg-13-4-corr.pdf). [in Russian]
16. Bahir, V. M., Mamadzhanov, U. D., & Maksudova, M. H. (1976). Sposob predposevnoy obrabotki semyan hlochatnika [The method of pre-sowing treatment of cotton seeds]. *Avtorskoe svidetelstvo SSSR. № 663358*. [in Russian]
17. Tsikoridze, N. G., Liakumovich, A. G., Dadiani, R. G., Kirpichnikov, P. A., & Mechehiya M. V. (1985). Sposob hraneniya tsitrusovyih plodov [Method of storing citrus fruits]. *Avtorskoe svidetelstvo SSSR. № 1341743*. [in Russian]
18. Shtern, K. L., Gusakov, N. I., Spektor, L. E., & Bahir, V. M. (1987). Sposob konservirovaniya zelenoy massyi kukuruzyi [The method of preserving the green mass of corn]. *Avtorskoe svidetelstvo SSSR. № 1534772*. [in Russian]
19. Piskunov, B. A., Fisinin, V. I. Spektor, L. E., Bahir, V. M., Zadorozhniy, Yu. G., & Filonenko, V. I. (1986). Sposob obrabotki yaits selskohozyaystvennoy ptitsyi [Method of processing poultry eggs]. *Avtorskoe svidetelstvo SSSR. № 1752401*. [in Russian]
20. Aronbaev, D. M., Aronbaev, S. D., Raimkulova, Ch. A., Isakova, D. T., & Shertaeva, A. A. (2021). Voda «zhivaya» i «mertvaya». *Novyie faktyi ob antioksidantnyih i relaksatsionnyih harakteristikah elektroaktivirovannoy vodyi* [Water is «alive» and «dead». New facts about the antioxidant and relaxation characteristics of electroactivated water ]. *Universum: himiya i biologiya*. *7universum.com*. Retrieved from <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/11225>. [in Russian]
21. Ptashnik, V., Nakonechna, O., Veligorska, M., & Sadova, M. (2013). Elektrokhimichna aktyvatsiia vodnykh rozchyniv yak ekolohichniy metod vodopidhotovky [Electrochemical activation of aqueous solutions as an ecological method of water treatment] *Ecology & tourism*, 12–13. *ena.lp.edu.ua*. Retrieved from <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/27007/1/005-012-013.pdf> [in Ukrainian]
22. Mandigra, M. S., & Lisitsya, A. V. (2020). Vykorystannia elektrokhimichno aktyvovanykh (EKhA) rozchyniv u veterynarnii medytsyni i orhanichnomu vyrobnytstvi: (naukovo-praktychni rekomendatsii) [The use of electrochemically activated (ECA) solutions in veterinary medicine and organic production: (scientific and practical recommendations)]. *Lutsk : PP Ivanyuk V.P.* [in Ukrainian]
23. Marynin, A. I., Bolshak, Yu. V., Sviatenko, R. S., & Shtepa, D. V. (2020). Doslidzhennia fizyko-khimichnykh pokaznykiv vody, obroblenoj bezreahentnym elektrokhimichnym metodom [Research of physicochemical parameters of water treated by reagent-free electrochemical method]. *Visnyk NTU “KhPI”*, 2, 103–109. [in Ukrainian]
24. Kiyanovskiy, A. M. (2019). Ustroystvo dlya elektrohimi cheskoy aktivatsii vodyi [Device for electrochemical activation of water]. *Modern engineering and innovative technologies*, 8,1. *dspace.ksau.kherson.ua*. Retrieved from <http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/1868>. [in Russian]

25. Ptashnyk, V. V. (2014). Ekologichno bezpechni tekhnologii oderzhannia promyslovykh vodnykh rozchyniv z vykorystanniam elektrokhimichnoi aktyvatsii [Ecologically safe technologies for obtaining industrial aqueous solutions using electrochemical activation]. Extended abstract of candidate's thesis. Symu. [in Ukrainian]
26. Geletu, Q., Zahra, A., Shelby, L., Foster, M., & Matlock, G. (2021). Electrochemical disinfection of irrigation water with a graphite electrode flow cell. *Water*, 93, 535–548. onlinelibrary.wiley.com. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wer.1456>
27. Geletu, Q., Mojtaba, A., Raheleh, D., Shelby, L. Foster, & Marty, M. (2021). Disinfection of Irrigation Water Using Titanium Electrodes, *Journal of The Electrochemical Society*, 168(6). iopscience.iop.org. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/ac0943>
28. The use of ECA-water for water disinfection in horticulture. *fertinnowa.com*. Retrieved from <https://www.fertinnowa.com/technologies/use-eca-water-water-disinfection-horticulture/>
29. Lévesque, S., Graham, T., & Bejan, D. (2019). Inactivation of *Rhizoctonia solani* in fertigation water using regenerative in situ electrochemical hypochlorination. *Scientific Reports*, 9, 14237. *nature.com*. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/s41598-019-50600-7>
30. Abezin, V. G., & Karpunin, V. V. (2007). Sistema kapelnogo orosheniya s modulem elektroaktivatsii vodyi [Drip irrigation system with water electroactivation module]. *Dostizheniya nauki i tehniki APK*, 6, 23–25. *cyberleninka.ru*. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-kapelnogo-orosheniya-s-modulem-elektroaktivatsii-orositelnoy-vodyi/viewer>. [in Russian]
31. Chushkina, O. I. (2014). Tehnologiya primeneniya elektrokhimicheskii aktivirovannoy vodyi pri kapelnom oroshenii tomatov [Technology of application of electrochemically activated water at drop irrigation of tomatoes]. Extended abstract of candidate's thesis. Volgograd. [in Russian]
32. Semenenko, S. Ya., Lyitov, M. N., Chushkina, E. Y., & Chushkin, A. N. (2018). Sozдание effektivnykh ekologicheskii bezopasnykh tekhnologiy i tehnikeskikh sredstv orosheniya novogo pokoleniya [Creation of effective environmentally friendly technologies and technical means of irrigation of the new generation], *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa*, 2(50). [in Russian]
33. Amcheslavskiy, O. V. (2011). Razrabotka tekhnologii orosheniya saharnoy kukuruzyi s ispolzovaniem optimizirovannykh sostavov aktivirovannykh rastvorov [Development of sugar corn irrigation technology using optimized compositions of activated solutions]. Extended abstract of candidate's thesis. Volgograd. [in Russian]
34. Tsokur, D. S. (2013). Uluchshenie kachestva regulirovaniya kislotnosti pochvyi na osnove elektroaktivatora vodyi pri vyiraschivani tomatov v usloviyakh zakryitogo grunta [Improving the quality of soil acidity control based on electroactivator of water when growing tomatoes indoors]. Krasnodar. [in Russian]
35. Chushkin, O. M. (2014). Teoreticheskoe i eksperimentalnoe obosnovanie algoritma proektirovaniya sistem kapelnogo orosheniya s modulem elektrokhimicheskoy aktivatsii vodyi [Theoretical and experimental substantiation of the algorithm for designing drip irrigation systems with a module of electrochemical activation of water]. Volgograd. [in Russian]

**М.И. Ромащенко, Б.И. Конаков, В.В. Полищук, С.В. Усатый**  
**Электрохимически активированная вода (ЭХАВ):**  
**история открытия, специфика процесса, современное состояние**  
**и перспективы ее применения в условиях орошения**

*Аннотация.* Проанализирована история открытия, специфика процесса и современного состояния использования электрохимически активированной воды (ЭХАВ) в различных отраслях экономики и определены возможности ее применения при орошении. Установлено, что наиболее перспективным направлением применения ЭХАВ в орошаемом земледелии являются системы капельного орошения. Добавление анолита в воду при капельном орошении позволяет существенно уменьшить (или вообще исключить) необходимость использования средств защиты растений, а добавление католита существенно ускоряет развитие и увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур на фоне повышения качества продукции. Экологическими последствиями этого является уменьшение антропогенной нагрузки на орошаемые земли путем полной или частичной замены химических средств защиты растений анолитом, являющимся экологически безопасной жидкостью; экономическими – повышение рентабельности и сокращение сроков окупаемости проектов по орошению земель. Определено, что перспективность использования ЭХАВ в системах капельного орошения обусловлена тем, что технология водоподачи позволяет подавать католит и анолит на поле с минимальными потерями активационного потенциала. Предрасполагающим

фактором использования ЭХАВ в системах капельного орошения является также их конструкции по модульному принципу, способствующему возможности оборудования узлов водоподготовки систем модулями ЭХАВ. В то же время проектирование систем следует проводить с учетом не только необходимости обеспечения равномерности распределения капельницами воды по полю, но и с сохранением активационного потенциала электрохимически активированных компонентов оросительной воды. На основании изложенного можно считать, что разработка средств электрохимической активации воды для нужд орошения, а также технологий применения такой воды при выращивании сельскохозяйственных культур актуальна и своевременна. Проведение фундаментальных и прикладных исследований будет способствовать созданию отечественного оборудования для промышленного производства ЭХАВ и позволит адаптировать мировые технологии их использования к условиям и потребностям украинского производителя и потребителя. Особенно эффективным может быть применение электрохимически активированной воды в системах капельного орошения.

**Ключевые слова:** электрохимически активированная вода (ЭХАВ), анолит, католит, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), орошение активированной водой, системы капельного орошения

**M.I. Romashchenko, B.I. Konakov, V.V. Polishchuk, S.V. Usatyi**

**Electrochemically activated water (ECHAW): history of discovery, specificity of the process, current state and prospects of its application under irrigation conditions**

**Abstract.** *The history of the discovery, the specificity of the process and the current state of the use of electrochemically activated water (ECHAW) in various sectors of the economy are analyzed and the possibilities of its use in irrigation are determined. It has been established that the most promising area of application of ECHAW in irrigated agriculture are drip irrigation systems. The adding an anolyte to water during drip irrigation can significantly reduce (or even eliminate) the need to use plant protection products and the adding an catholyte significantly accelerates the development and increases the yield of agricultural crops against the background of improving product quality. The ecological consequences of this are the reduction of anthropogenic load on irrigated lands through the complete or partial replacement of chemical plant protection products with anolyte, which is an environmentally safe liquid; economic – increasing profitability and reducing the payback period of land irrigation projects. It has been determined that the prospect of using ECHAW in drip irrigation systems is due to the fact that the water supply technology allows supplying catholyte and anolyte to the field with minimal losses of activation potential. A predisposing factor for the use of ECHAW in drip irrigation systems is also their design according to a modular principle, which contributes to the possibility of equipping water treatment units of systems with ECHAW modules. At the same time, the design of systems should be carried out taking into account not only the need to ensure uniform distribution of water by droppers over the field, but also with the preservation of the activation potential of electrochemically activated components of irrigation water. Based on the foregoing, it can be considered that the development of means of electrochemical activation of water for irrigation needs, as well as technologies for the use of such water in growing crops is relevant and timely. The deployment of fundamental and applied research will contribute to the development of domestic equipment for the industrial production of ECHAW and will allow adapting the world technologies of their use to the conditions and needs of the Ukrainian manufacturer and consumer. The use of electrochemically activated water in drip irrigation systems can be especially effective.*

**Key words:** electrochemically activated water (ECHAW), anolyte, catholyte, redox potential, irrigation with activated water, drip irrigation systems