

О. І. ФЕСЕНКО, Ю. В. МАСАЛЬСЬКИЙ, К. В. БАРДАКОВА, І. С. ЗАЙЦЕВА, Т. Д. ПАНАЙОТОВА

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ПИТНОЇ ВОДИ КЕРАМІЧНИМИ МІНЕРАЛІЗАТОРАМИ ДЛЯ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ПОБУТОВОЇ ВОДИ

Розглянута роль прісної води у формування держави та визначено, що належне управління водними ресурсами є критично важливим компонентом зростання рівня життя населення усіх країн світу, як з точки зору розвитку промислового комплексу держави, так і – забезпечення здоров'я нації. Проте, зростаючий рівень забруднення водних об'єктів, суттєвий знос водної інфраструктури міст та подекуди неможливість її відновлення через активні бойові дії призводять до суттєвого зниження якості питної води в Україні. Ефективним рішенням цієї проблеми є використання побутових фільтраційних систем. Серед їх значного різноманіття найбільшого поширення набули системи зворотного осмосу, здатні ефективно очищати воду від важких металів, розчинних солей вірусів та мікроорганізмів. Головним їх недоліком є вкрай низький солевміст 15–20 мг/л, що потребує домінералізації до 200 мг/мл. Існуючі системи домінералізації питної води характеризуються перевищенням граничних меж солевмісту (сольові) чи нестабільністю рівня мінералізації (мінеральні). Саме тому актуальним завданням є розробка інноваційних мінералізаторів питної води пролонгованої дії на основі невагтної вітчизняної сировини та дослідження процесів мінералізації. Одержані дані солевмісту розчинів після витримки із мінералізаторами дозволили підтвердити припущення про значний вплив співвідношення площі поверхні мінералізатора до об'єму води на швидкість процесу вилуговування. При співвідношенні 0,4 см²/мл мінімально рекомендований рівень солевмісту досягається через 7 годин витримки при стабільному рівні рН (8,15–8,70). Дослідження впливу циклічної заміни води на рівень солевмісту вказує на незначні зміни його значень при витримці впродовж однієї (71,1–79,0 мг/л) та трьох (136,9–140,3 мг/л) годин, що може бути свідченням пролонгованої дії мінералізатора. Загальна жорсткість води після 24-х годин витримки із мінералізатором складає 1,55 ммоль/л, концентрація Ca²⁺ – 19 мг/л та Mg²⁺ – 7,2 мг/л, що відповідає вимогам нормативних документів.

Ключові слова: мінералізатори, розчинність, вода, керамічні матеріали, солевміст, рН, зворотній осмос.

Вступ. Не зважаючи на те, що близько трьох четвертих площі нашої планети покриті водою, лише незначна її частина придатна до використання [1]. Прісна вода є одним із найбільш унікальних ресурсів кожної держави, яка обумовлює потенційний рівень її промислового розвитку та є одним із факторів забезпечення здоров'я нації.

За оцінками ООН, вже декілька десятиліть у багатьох регіонах світу відчувається нестача питної води. Через прискорене зростання населення та збільшення кількості води, яку використовує одна людина, очікується, що ця ситуація з кожним роком буде тільки погіршуватиметься [2]. Здатність країн, що розвиваються збільшити кількість води доступної для домашнього, сільськогосподарського, промислового та екологічного використання напряму залежить від кращого управління водними ресурсами, ширшого міжгалузевого планування та інтеграції.

Зараз наявна достатня кількість доказів того, що збільшення гідрологічної мінливості та зміни клімату мають і продовжуватимуть мати глибокий вплив на водний сектор через гідрологічний цикл, наявність води, попит на воду та її розподіл на усіх рівнях. Належне управління водними ресурсами є критично важливим компонентом зростання рівня життя населення усіх країн світу, як з точки зору розвитку ВВП держави, так і з точки зору забезпечення здоров'я нації.

Прісна вода це відновлюваний, але обмежений природний ресурс. Вона може бути оновлена лише в процесі кругообігу, коли вода з морів, озер, лісів, землі, річок і дамб випаровується, утворює хмари та повертається у вигляді опадів. Однак, якщо через діяльність людини рівень споживання прісної води

буде перевищувати, рівень природного відновлення, її кількість в озерах, річках, дамбах і підземних водах, може зменшитися, що спричинить серйозну шкоду навколишньому середовищу.

У більшості промислово розвинутих країн світу найбільшими споживачами прісної води є промисловість, сільське та домогосподарства. Відповідно до цього трьома основними факторами, що викликали збільшення використання прісної води протягом останнього століття, є зростання населення, розвиток промисловості та розширення зрошувального землеробства.

Загальну кількість води, яку використовує кожна держава на свої потреби можна оцінити за загальним рівнем річного забору прісної води, а потреба кожної галузі за відсотком з нього. Рівень забору прісної води включає загальний забір води, не враховуючи втрати на випаровування з водосховищ та воду з опріснювальних установок у країнах, де вони є значним джерелом [3].

Відбір для сільського господарства та промисловості – це загальний відбір для зрошення та тваринництва, а також для прямого промислового використання.

В Україні у період з 2010 по 2020 роки рівень відновлюваного внутрішнього ресурсу прісної води був сталий та складав близько 55 млрд м³. У середньому за вказаний період (рис. 1) для потреб промисловості, сільського та домогосподарств Україна використовувала 20,5 % від цих запасів, що дозволило забезпечити продуктивність води у 9,16 \$/м³ у загальному значенні ВВП країни [3, 4].

© Фесенко О.І., Масальський Ю.В., Бардакова К.В., Зайцева І.С., Панайотова Т.Д., 2023

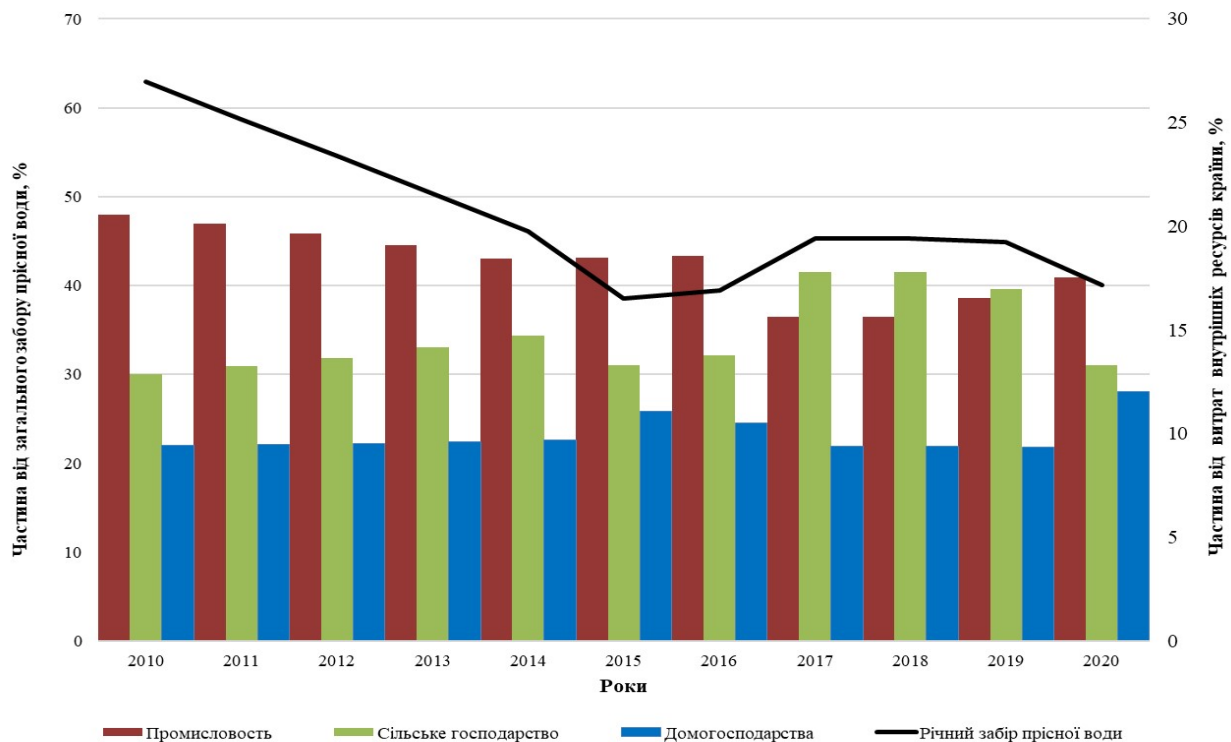


Рис.1 Річний забір прісної води та її розподіл серед основними групами споживачів у 2010–2020 рр. в Україні

Аналізуючи зібрані дані (рис. 1) можна зробити висновок, що в Україні за останні 10 років спостерігається стала тенденція до зменшення частини прісної води. Окрім того слід враховувати втрату та забруднення величезної кількості джерел природної питної води у зв'язку із війною та руйнування Каховської ГЕС [5], що катастрофічно впливає на якість прісної води [6].

Забір побутової води включає відновлювані ресурси прісної води, потенційний надмірний забір відновлюваних підземних вод, вилучення підземних вод і потенційне використання опрісненої або очищеної стічної води. Зазвичай він обчислюється як загальна кількість води, що забирається громадською розподільною мережею, і включає ту частину промисловості, яка підключена до муніципальної мережі. Співвідношення між чистим споживанням і забірною водою може коливатися у межах 5–15 % у містах і 10–50 % у сільській місцевості. Рівень забору побутової прісної води багато у чому залежить від рівня розвитку країни. Так, за даними ЮНЕСКО, у розвинених країнах комунальний водозабір становить від 500 до 1000 літрів на людину на день, у той час, як у країнах, що розвиваються в Азії, Африці та Латинській Америці – лише 50–100 літрів [7].

Вода вважається найважливішим ресурсом для підтримки екосистем, які забезпечують життєзабезпечення людей, тварин і рослин. Проте багато країн стикаються з проблемою забезпечення населення основними потребами, що створює ризик захворювань, пов'язаних із водопостачанням, санітарією та гігієною. Оскільки забруднена вода є основною причиною захворювань і смертності, її

якість є визначальним чинником бідності людей, недостатньої освіти та низьких економічних можливостей. Відсутність доступу до належної питної води сприяє смертям і хворобам, особливо серед дітей. Засоби існування саме найбідніших верств населення надзвичайно пов'язані з доступом до послуг водопостачання.

Незважаючи на достатньо високий рівень забезпечення населення питною водою в Україні (рис. 2) рівень смертності через небезпечну воду, небезпечну санітарію та відсутність гігієни у 2019 році склав 2,3 людини на 100000 осіб населення.

На сьогоднішній день у світі вже реалізується значна кількість ініціатив [8–9], до яких долучилася й Україна [10–11], спрямованих на забезпечення усіх людей якісною питною водою.

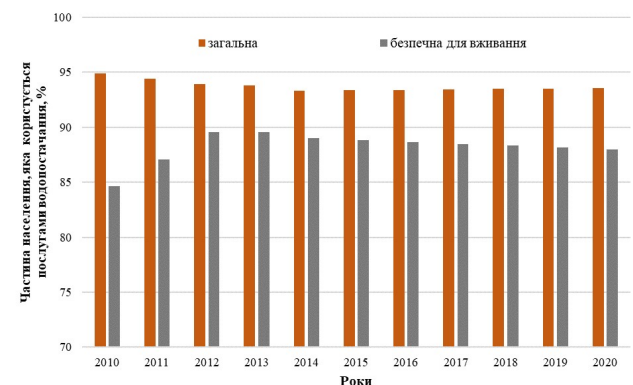


Рис. 2. Забезпечення населення України водопостачанням та безпечною питною водою у 2010–2020 рр. [4]

Саме тому питна вода, що використовується для задоволення потреб населення повинна бути якісною, тобто вона повинна відповідати встановленим державою та міжнародною спільнотою вимогам. У загальному випадку вона не повинна містити механічних чи хімічних забрудників, радіонуклідів, бактерій чи вірусів. Крім того, вона повинна мати відповідні органолептичні властивості.

Постановка проблеми.

В Україні вимоги до якості питної побутової води регулюються рядом документів (державні санітарні правила та норми), найголовнішими із яких є «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [12] та «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання» [13].

Чиста вода, при дотриманні добових норм її споживання, не може принести шкоди організму. Проте більшість води, що надходить у домогосподарства є забрудненою домішками, які не тільки змінюють її смак, а й можуть чинити негативний вплив на здоров'я та самопочуття людей. Так, природна вода із колодязів, свердловин, річок чи озер може містити велику кількість забруднювачів, зокрема: механічних домішок, нітратів та нітритів, важких металів, солей, бактерії та віруси тощо. Вода ж із систем міського водопостачання відзначається високим вмістом хлору, заліза та інших важких металів, що обумовлено значним зносом систем водопостачання [14].

Окрім цього, постійні обстріли та агресія країни-сусіда призводять до руйнації очисних споруд, сталих водних екосистем та значного забруднення водних ресурсів України. Саме тому постає потреба у ефективному забезпеченні домогосподарств України якісною питною водою.

Ефективним рішенням є встановлення побутових фільтраційних систем [15]. Існуючі на сьогоднішній день на ринку товарів побутові системи можна розділити на 7 основних груп, кожна із яких має свої переваги та недоліки (рис. 3).

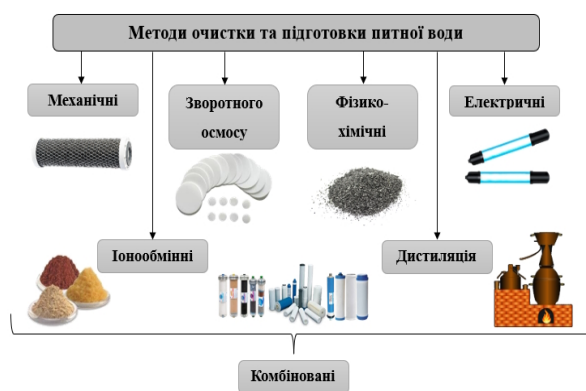


Рис. 3. Найбільш поширені методи очищення та підготовки води за принципом дії

Так, механічні фільтри здатні видаляти речовини, що знаходяться у воді у вигляді твердих частинок чи суспензій, але неефективні проти вірусів, бактерій та розчинених солей та важких металів.

Фізико-хімічні фільтри, робота яких заснована на використанні сорбентів, та окремі фільтри зворотного осмосу, що діють за принципом напівпроникної мембрани, мають незначний термін використання, а вода після очищення може не відповідати усім встановленим вимогам. Іонообмінні смоли у більшості випадків застосовуються тільки для зменшення жорсткості води. Електричні фільтри засновані на обробці води УФ-випромінюванням, озоном чи діалізом, найбільш ефективно очищують воду від вірусів та бактерій, проте мають малу ефективність проти фізичних забрудників та розчинених неорганічних речовин, а метод дистиляції має найвищі енерговитрати.

Саме тому найбільш ефективними є комбіновані фільтраційні системи побутової води. Серед значної їх кількості найбільшого поширення набули системи, у яких на перших стадіях відбувається очищення води від механічних домішок, після відбувається зворотній осмос та на останньому етапі – збагачення (насичення) води корисними іонами.

Система зворотного осмосу ефективно очищує воду від важких металів, розчинених речовин, вірусів, бактерій та інших забруднювачів [16–17]. Проте, через таку високу ефективність роботи вода після очистки має вкрай низький солевміст 15–20 мг/л та відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 [12] потребує домінералізації (збільшення вмісту розчинних солей до 200 мг/л). Усі мінералізатори призначені для систем зворотного осмосу за матеріалами, які у них використовуються, можна розділити на 2 групи: сольові – формована (брикетована, пресована тощо) суміш розчинних солей та мінеральні – суміш природних мінералів. Незважаючи на їх широке практичне використання у побутових системах очищення води кожен із цих видів має суттєві недоліки: сольові мінералізатори – мають короткий термін використання та нерівномірну швидкість розчинення, що впливає на солевміст, а мінеральні – важко контрольований рівень вивільнення іонів, через змінний склад. Крім того, на ринку матеріалів існують керамічні мінералізатори для «структурування» чи «активації» води, проте даних щодо підтвердження їх дії знайти не вдалося.

Саме тому актуальним завданням є розробка інноваційних поруватих керамічних мінералізаторів пролонгованої дії на основі вітчизняної невартисної природної сировини.

Мета і завдання.

Метою роботи є дослідження процесів мінералізації води поруватими керамічними мінералізаторами.

В рамках роботи були визначені наступні завдання:

- встановлення вимог до рівня мінералізації води, оптимального методу її очистки та переваг і недоліків існуючих методів мінералізації води;
- обґрунтування вибору складу вихідного матеріалу та методу формування наповнювача;
- дослідження впливу співвідношення площі контакту мінералізатора і води до об'єму розчину на динаміку процесу мінералізації;
- визначення впливу зміни вихідного розчину на швидкість мінералізації та загальної жорсткості.

Матеріали та методи досліджень.

Для проведення досліджень було обрано керамічний мінералізатор розроблений групою вчених кафедри хімії та інтегрованих технологій ХНУМГ ім. О.М. Бекетова.

За результатами попередніх досліджень авторами [18–19] було встановлено оптимальний склад керамічних матеріалів, що містили, у мас. %: глина Артемівська – 60–65, ПШС-16 – 10–15, крейда – 10–15, 7-водний сульфат магнію – 2–5 та фторид кальцію – 2–5, та температурно-часові параметри їх синтезу. Для формування каналних пор у структурі матеріалу до їх складу додатково вводили 10 мас. % вигоряючого наповнювача – стружки деревини. Проте, через ведення активних бойових дій на теренах України, частина родовищ сировини є недоступною, а об'єми імпорту матеріалів суттєво зменшились, тому було проведено літературний пошук та змінено шихтовий склад матеріалів.

Методом екструзії було сформовано циліндричні зразки довжиною близько 10 мм та діаметром 4 мм, які висушували та випалювали за раніше встановленими режимами [18–20].

Для моделювання води (після фільтру зворотного осмосу) використовували дистильовану воду, підготовану згідно з ДСТУ ISO 3696:2003.

Вимірювання електропровідності (мкСм/см), солемісту (мг/л) та рН проводили мультианалізатором PL-700ALS. Критерієм рівня мінералізації вважали виміряне значення питомої електропровідності води. Зазначене припущення ґрунтувалося на тому, що перехід розчинної складової мінералізатору у воду відбувається в іонній формі, що буде збільшувати кількість струмопровідних частинок у розчині. В результаті переходу утворюється розведений розчин з лінійною залежністю між значенням електропровідності і концентрацією електроліту, що дає змогу оцінити ступінь мінералізації води.

Загальну жорсткість води та вміст іонів кальцію визначали комплексонометричним методом, який ґрунтується на утворенні безбарвних комплексних сполук йонів кальцію та магнію з трилоном Б у лужному середовищі (рН ~ 10). Загальну жорсткість титрували в присутності індикатора еріохрому чорного, а іони кальцію – в присутності мурексиду. Йони кальцію визначали тільки для другого зразка мінералізованої води – більш розведеного.

Експериментальна частина.

Враховуючи те, що процес мінералізації води твердими мінералізаторами відноситься до групи гетерогенних процесів, можна припустити, що одним із визначних критеріїв ефективності роботи мінералізатора, який на пряму впливає на рівень мінералізації є площа контакту фаз.

Для підтвердження цього припущення проведено визначення зміни солемісту у воді при контакті із мінералізаторами при різному співвідношенні площі поверхні зразків до об'єму води.

Для досліджень було підготовано дві близькі за масою (близько 15 г) наважки дослідних зразків, що відповідає загальній площі контакту двох фаз близько 7,83 см². Кожну із наважок розміщували у хімічній склянці. До кожної склянки додавали відміряну за допомогою піпетки кількість дистильованої води, а саме до першої – 20 мл, до другої – 50 мл, що відповідає співвідношенню 0,4 та 0,16 см²/мл, відповідно.

Перед проведенням дослідів дослідні зразки промивали у дистильованій воді впродовж 5 хвилин з використанням магнітної мішалки для усунення із зовнішньої поверхні зразків вільних (крихких) часток та мало зв'язаних із структурою матриці солей.

Перед проведенням вимірювання показників розчинів розчин пропускали через фільтрувальний папір, а після – повертали до склянки. Збереження дослідного розчину, а не його заміна на чисту дистильовану воду була обрана з метою визначення граничної рівноважної концентрації солі, яка не повинна перевищувати допустиме значення 500 мг/л відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Для обох дослідних проб у перші дві години витримки спостерігається інтенсивне збільшення солемісту, яке із наблизенням розчину до рівноважного стану сповільнюється (рис. 4).

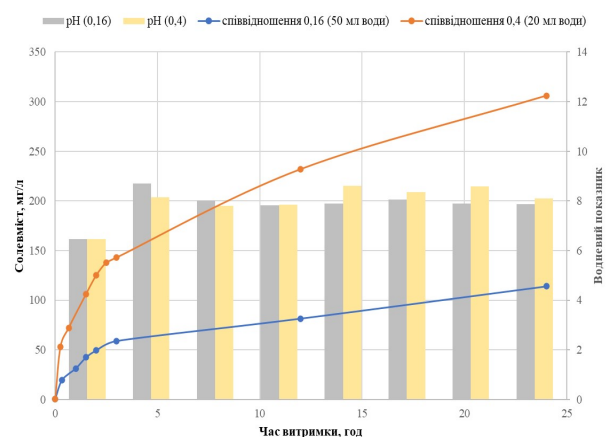


Рис. 4. Залежність зміни солемісту та рН розчинів на різних етапах витримки з мінералізатором

Незважаючи на подібність зміни характеру солемісту між двома залежностями є суттєва відмінність: при збільшенні вказаного

співвідношення до 0,4 см²/мл спостерігається більш інтенсивне зростання солевмісту, яке досягає мінімального для використання у якості питної повсякденної води значення 200 мг/л вже після 7 годин витримки, тоді як розчин із співвідношенням 0,16 см²/мл не досягає його і через 24 години витримки.

Аналізуючи зміну рН одержаних розчинів можна визначити, що вказане співвідношення не чинить суттєвого впливу на значення рН розчинів (рис. 4). Впродовж перших 30 хвилин витримки спостерігається інтенсивне зростання рН від 6,46 (дистильована вода) до 8,15–8,70 через інтенсивний процес виходу іонів. Вже через годину витримки значення рН стабілізуються і зберігаються на рівні 8 одиниць. Окремим дослідженням було визначено рН розчинів через 72–96 години витримки, який складає 7,72–7,87. Незначне зменшення значень рН відбувається за рахунок контакту води з вуглекислим газом з повітря [20].

На основі одержаних результатів можна припустити, що при промисловому одержанні мінералізаторів на основі розроблених керамічних матеріалів, вказане співвідношення повинно максимально наближатися до одиниці. Це може бути досягнуто за рахунок щільної упаковки часток мінералізатора у катриджі.

Окрім цього позитивно на рівень мінералізації буде впливати супротив потоку рідини, який виникає під час проходження води через катридж.

Наступним кроком при визначенні можливості використання розроблених керамічних матеріалів як мінералізаторів побутової питної води є визначення зміни швидкості підвищення солевмісту при заміні розчину.

Для цього у скляну ємність засипали попередньо промитий мінералізатор масою 36,16 г, що відповідає площі контакту фаз близько 18,8 см². До склянки додавали 50 мл води, що відповідає співвідношенню 0,38 см²/мл. Склянку залишали на 1 годину, після чого розчин відфільтровували та проводили вимірювання рівня мінералізації. Мінералізатори повертали назад у склянку та заливали новою порцією води. При одержанні трьох співставних результатів було прийнято рішення збільшити часовий проміжок витримки води до 3 годин.

За результатами досліджень (рис. 5) встановлено, що одержані значення солевмісту та електропровідності є співставними, що є свідченням сталості рівня мінералізації при зміні розчину.

Дане дослідження дозволило змодельовати умови наближені до реальних умов експлуатації, коли з одного боку у картридж потрапляє чиста вода, а з іншого виходить готовий розчин.

Окрім цього, при оцінці результатів дослідження слід враховувати, що вода після фільтру зворотного осмосу містить певну концентрацію солі, яка може змінюватися у межах від 15–20 мг/л для нових картриджів до 50 мг/л, для тих, які вже потребують заміни. Наявність цих солей, скоротить

час необхідний для мінералізації води. Крім того слід враховувати, що у процесі експлуатації у мінералізаторі буде знаходитися певна кількість води із вмістом солей наближеним до рівноважного для цих матеріалів.

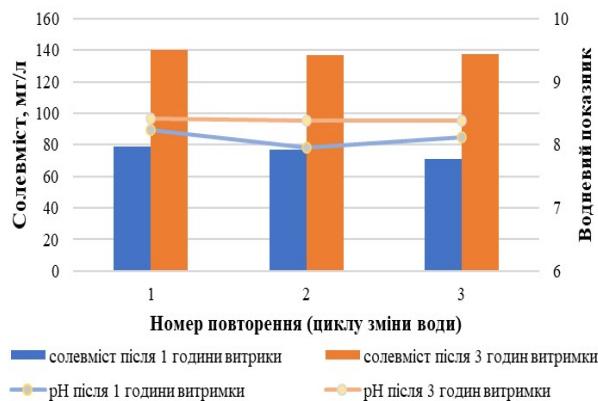


Рис. 5. Параметри розчинів після витримки з мінералізатором

Завершальним етапом роботи була визначена необхідність ідентифікації іонів, які вивільняє матеріал у розчин. Для визначення загальної жорсткості води використовували трилонометричний метод аналізу, для цього до відібраної аліквоти досліджуваної води додавали амонійний буферний розчин для створення і утримання рН ~ 10 , індикатор еріохром чорний і титрували трилоном Б до переходу вишнево-червоного забарвлення в синє. Згідно з вимогами [12] величина загальної твердості води нормується двічі:

- як фізико-хімічний показник: загальна твердість повинна бути 7 ммоль/л;
- як показник фізіологічної повноцінності води (загальна твердість має бути у межах 1,5–7 ммоль/л).

Іони кальцію визначали тільки для другого зразка мінералізованої води – більш розведеного. Метод визначення вмісту іонів кальцію ґрунтується на титруванні йонів кальцію трилоном Б у присутності мурексиду як індикатора.

Визначення проводять у сильно лужному середовищі (рН $\sim 12-13$). Це потрібно з двох причин. По-перше, зв'язати іони магнію у вигляді магній гідроксиду, а по-друге, саме за такого рН можна використовувати індикатор мурексид, який з іонами кальцію утворює комплексні сполуки, забарвлені в рожевий колір, тоді як його індивідуальне забарвлення – бузкове.

Для визначення іонів кальцію до відібраної аліквоти аналізованої води додавали розчин NaOH для створення і утримання рН $\sim 12-13$, індикатор мурексид і титрували трилоном Б до появи бузкового забарвлення.

За результатами проведених досліджень загальна жорсткість складає 1,55 ммоль/л, концентрація Ca²⁺ складає 19 мг/л, а Mg²⁺ – 7,2 мг/л, що відповідає вимогам [12] до питної води.

Висновки.

Встановлено пріоритетне значення прісної води у розвитку промислового та людського потенціалу держави та визначено проблему забезпечення населення України якісною питною водою в умовах високого екологічного забруднення та зносу водної інфраструктури.

На основі порівняльного аналізу методів очистки питної води визначено, що найбільш ефективним та екологічно обґрунтованим є використання фільтрів зворотного осмосу у системах комбінованої очистки. Однак, вода після такої обробки характеризується низьким солемістом (15–20 мг/л) та потребує додаткової домінералізації. Існуючі мінеральні чи сольові мінералізатори не дозволяють забезпечити довготривалий стабільний рівень мінералізації. Саме тому актуальним завданням є розробка інноваційних невартісних керамічних мінералізаторів пролонгованої дії.

Як вихідний матеріал було обрано керамічний композиційний матеріал та враховуючи діючу сировинну базу модифіковано його шихтовий склад. Методом екструзії пластичної маси з подальшою сушкою та випалом синтезовано дослідні зразки.

Одержані дані солемісту розчинів після витримки із мінералізаторами дозволили підтвердити сформульоване припущення про значний вплив співвідношення площі поверхні мінералізатора до об'єму води на швидкість процесу вилуговування. При співвідношенні 0,4 см²/мл мінімально рекомендований рівень солемісту досягається через 7 годин витримки при стабільному рівні рН (8,15–8,70). Дослідження впливу циклічної заміни води на рівень солемісту вказує на незначні зміни його значень при витримці впродовж однієї (71,1–79,0 мг/л) та трьох (136,9–140,3 мг/л) годин, що може бути свідченням пролонгованої дії мінералізатора.

Загальна жорсткість води після 24-х годин витримки із мінералізатором складає 1,55 ммоль/л, концентрація Ca²⁺ – 19 мг/л та Mg²⁺ – 7,2 мг/л, що відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Одержані матеріали є перспективними при розробці керамічних мінералізаторів для систем зворотного осмосу та рекомендовані до подальших досліджень.

Список літератури

- World Water Week. Seeing the Unseen: The Value of Water. URL: <https://www.worldwaterweek.org/> (дата звернення: 05.09.2023)
- Water productivity, total (constant 2015 US\$ GDP per cubic meter of total freshwater withdrawal). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/ER.GDP.FWTL.M3.KD> (дата звернення: 05.12.2023)
- Annual freshwater withdrawals, Food and Agriculture Organization, AQUASTAT data. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWTL.ZS> (дата звернення: 05.12.2023)
- World Development Indicators. DataBank. URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (дата звернення: 05.12.2023)
- Економічні наслідки руйнування дамби на Каховській ГЕС. Центр економічної стратегії. URL: <https://ces.org.ua/ekonomichni-naslidki-rujnuvannya-kahovsko%D1%97-ges/> (дата звернення: 08.10.2023)
- Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища : монографія / О.Г. Васенко, О.В. Рибалова, С.Р. Артем'єв та ін. Харків : НУТЗУ, 2015. 419 с.
- Annual freshwater withdrawals, domestic. Food and Agriculture Organization, AQUASTAT data. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWDM.ZS> (дата звернення: 15.06.2023)
- World Wildlife Fund. (2019). Humanity needs to act today to conserve freshwater resources. URL: <https://wwf.ua/?344892/lydstvu-neobhidno-diyatu-syogodni> (дата звернення: 03.10.2023)
- United Nations. (2018). The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals: An opportunity for Latin America and the Caribbean (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. URL: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40156/25/S1801140_en.pdf (дата звернення: 11.09.2021)
- All-Ukrainian Ecological League. Ecological situation and state of drinking waters of Ukraine. URL: <https://www.ecoleague.net/diialnist/vydannia-vel/ekolohichni-karty/ekolohichna-sytuatsia-ta-stan-pytnykh-vod-ukrainy> (дата звернення: 28.01.2023)
- Resolution adopted by the General Assembly United Nations (A/RES/70/1) on 25 September 2015 «Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development». URL: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migrati/on/ua/Agenda2030-eng.pdf> (дата звернення: 28.01.2023)
- Наказ Міністерства охорони здоров'я України №400 від 12.05.2010 Про затвердження державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 09.09.2023)
- Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 383 від 23.12.1996 про затвердження державних санітарних правил і норм «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-97#Text> (дата звернення: 10.09.2023)
- Резвих Н.І. Аналіз сучасних напрямів водопідготовки питної високоякісної води та зразки технологічних схем. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2023. № 4, С. 168-172. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.4.21>
- Сорокіна К.Б. Аналіз можливості використання мембранних технологій для очищення природної води / К. Б. Сорокіна // The 8th International scientific and practical conference “Scientific achievements of modern society”. Liverpool, United Kingdom, 2020. P. 757–763.
- Kravchenko M.V., Voloshkina O.S., Vasylenko L.O. Застосування методу зворотного осмосу для доочистки питної води. *Екологічна безпека та природокористування*, 2021. Том 40, № 4. С. 32–45. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.32-45>
- Кравченко М., Василенко Л. Проблема забруднення питної води нітрат-іонами та сучасні методи її вирішення. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*, 2022. № 41. С. 42–51. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.42-51>

18. Воронов Г.К., Єфімова А.В., Зайцева І.С., Пилипенко О.І., Фесенко О.І., Шаповал В.М. // Мінералізація води керамічним мінералізатором. Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 100-річчю ХНУМГ ім. О.М. Бекетова «Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій». м. Харків, 2022. С. 28–29.
19. Воронов Г.К., Єфімова А.В., Фесенко О.І., Зайцева І.С., Саввова О.В. Композиційні керамічні матеріали для виготовлення мінералізаторів питної води // Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 100-річчю ХНУМГ ім. О.М. Бекетова «Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій». Харків, 2022. С. 70–71.
20. Бардакова К.В., Масальський Ю.В., Фесенко О.І., Зайцева І.С. Керамічні мінералізатори для систем очистки побутової питної води // Бекетівські хімічні читання. Теорія та практика кризових ситуацій : матеріали міжнар. конф. для молодих вчених, аспірантів та магістрів. Харків, 2023. С. 125–129.
- Sustainable Development». URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migrati_on/ua/Agenda2030-eng.pdf (date of application: 28.01.2023)
12. Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy №400 vid 12.05.2010 Pro zatverdzhennya derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl «Hihiyenichni vymohy do vody pytnoyi, pryznachenoï dlya spozhyvannya lyudynoyu» (DSanPiN 2.2.4-171-10). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (date of application: 09.09.2023)
13. Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy № 383 vid 23.12.1996 pro zatverdzhennya derzhavnykh sanitarnykh pravyl i norm «Voda pytna. Hihiyenichni vymohy do yakosti vody tseentralizovanoho hospodars'kopytnoho vodopostachannya». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-97#Text> (date of application: 10.09.2023)
14. Rezyvkh N.I. Analiz suchasnykh napryamiv vodopidgotovky pytnoyi vysokoyakisnoyi vody ta zrazky tekhnolohichnykh skhem. *Tavriys'kyi naukovy visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky*, 2023. № 4, P. 168-172. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.4.21>
15. Sorokina K.B. Analiz mozhyvosti vykorystannya membrannykh tekhnolohiy dlya ochyshchennya pryrodnoyi vody / K. B. Sorokina // The 8th International scientific and practical conference “Scientific achievements of modern society”. Liverpool, United Kingdom, 2020. P. 757–763.
16. Kravchenko M.V., Voloshkina O.S., Vasylenko L.O. Zastosuvannya metodu zvorotnoho osmosu dlya doochystky pytnoyi vody. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya*, 2021. Vol. 40, No. 4. P. 32–45. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.32-45>
17. Kravchenko M., Vasylenko L. Problema zabrudnennya pytnoyi vody nitrat-ionamy ta suchasni metody yiyi vyryshennya. *Problemy vodopostachannya, vodovidvedennya ta hidravliki*, 2022. No. 41. P. 42–51. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.42-51>
18. Voronov H.K., Yefimova A.V., Zaytseva I.S., Pylypenko O.I., Fesenko O.I., Shapoval V.M. // Mineralizatsiya vody keramichnym mineralizatorom. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya, prysvyachena 100-richchyu KhNUMH im. O.M. Beketova «Aktual'ni pytannya khimiyi ta intehrovanykh tekhnolohiy». m. Kharkiv, 2022. P. 28–29.
19. Voronov H.K., Yefimova A.V., Fesenko O.I., Zaytseva I.S., Savvova O.V. Kompozytsiyini keramichni materialy dlya vyhotovlennya mineralizatoriv pytnoyi vody // Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya, prysvyachena 100-richchyu KhNUMH im. O.M. Beketova «Aktual'ni pytannya khimiyi ta intehrovanykh tekhnolohiy». Kharkiv, 2022. P. 70–71.
20. Bardakova K.V., Masal's'kyi Yu.V., Fesenko O.I., Zaytseva I.S. Keramichni mineralizatory dlya system ochystky pobutovoyi pytnoyi vody // Bektiv's'ki khimichni chytannya. Teoriya ta praktyka kryzovykh sytuatsiy : materialy mizhnar. konf. dlya molodykh vchenykh, aspirantiv ta mahistriv. Kharkiv, 2023. P. 125–129.

References (transliterated)

1. World Water Week. Seeing the Unseen: The Value of Water. URL: <https://www.worldwaterweek.org/> (date of application: 05.09.2023)
2. Water productivity, total (constant 2015 US\$ GDP per cubic meter of total freshwater withdrawal). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/ER.GDP.FWTL.M3.KD> (date of application: 05.12.2023)
3. Annual freshwater withdrawals. Food and Agriculture Organization, AQUASTAT data. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWTL.ZS> (date of application: 05.12.2023)
4. World Development Indicators. DataBank. URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (date of application: 05.12.2023)
5. Ekonomichni naslidky ruynuvannya damby na Kakhovskiy HES. Tsentri ekonomichnoyi stratehiyi. URL: <https://ces.org.ua/ekonomichni-naslidki-ruynuvannya-kahovsko%D1%97-ges/> (дата звернення: 08.10.2023)
6. Intehral'ni ta kompleksni otsinky stanu navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyscha : monohrafiya / O.H. Vasenko, O.V. Rybalova, S.R. Artem'yev ta in. Kharkiv : NUHZU, 2015. 419 p.
7. Annual freshwater withdrawals, domestic. Food and Agriculture Organization, AQUASTAT data. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWDM.ZS> (date of application: 15.06.2023)
8. World Wildlife Fund. (2019). Humanity needs to act today to conserve freshwater resources. URL: <https://wwf.ua/?344892/lydstvu-neobhidno-divatuvyogodni> (date of application: 03.10.2023)
9. United Nations. (2018). The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals: An opportunity for Latin America and the Caribbean (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. URL: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4/0156/25/S1801140_en.pdf (date of application: 11.09.2021)
10. All-Ukrainian Ecological League. Ecological situation and state of drinking waters of Ukraine. URL: <https://www.ecoleague.net/diialnist/vydannia-vel/ekolohichni-karty/ekolohichna-sytuatsiia-ta-stan-pytnykh-vod-ukrainy> (дата звернення: 28.01.2023)
11. Resolution adopted by the General Assembly United Nations (A/RES/70/1) on 25 September 2015 «Transforming our world: the 2030 Agenda for

Надійшла (received) 15.10.2023

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Фесенко Олексій Ігорович (Фесенко Алексей Игоревич, Fesenko Oleksii Ihorovych) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри хімії та інтегрованих технологій, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3888-9493>;

e-mail: oleksii.fesenko@kname.edu.ua

Масальський Юрій Вікторович (Масальский Юрий Викторович, Masalskyi Yurii Viktorovych) – учитель хімії, Комунальний заклад «Харківський ліцей №2 Харківської міської ради», м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4088-4329>;

e-mail: elladar9@gmail.com

Бардакова Ксенія Володимирівна (Бардакова Ксения Владимировна, Bardakova Kseniia Volodymyrivna) – учениця 9-А класу, Комунальний заклад «Харківський ліцей №2 Харківської міської ради», м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/009-0004-2572-7633>;

e-mail: kseniabardakova5@gmail.com

Зайцева Інна Сергіївна (Зайцева Инна Сергеевна, Zaitseva Inna Serhiivna) – кандидат хімічних наук, доцентка кафедри хімії та інтегрованих технологій, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9899-6779>;

e-mail: inna.zayceva@kname.edu.ua

Панайотова Тетяна Дмитрівна (Панайотова Татьяна Дмитриевна, Panaiotova Tetiana Dmytrivna) – кандидат хімічних наук, доцентка кафедри хімії та інтегрованих технологій, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3051-9474>;

e-mail: tetyana.panayotova@kname.edu.ua

O. I. FESENKO, YU. V. MASALSKYI, K. V. BARDAKOVA, I. S. ZAITSEVA, T. D. PANAIOTOVA

RESEARCH OF THE PROCESSES OF MINERALIZATION OF DRINKING WATER BY CERAMIC MINERALIZERS FOR DOMESTIC WATER PURIFICATION SYSTEMS

The role of fresh water in the formation of the state is considered and it is determined that proper management of water resources is a critical component of increasing the standard of living of the population of all countries of the world, both from the point of view of the development of the industrial complex of the state and ensuring the health of the nation. However, the growing level of pollution of water bodies, significant deterioration of the water infrastructure of cities and sometimes the impossibility of restoring it due to active hostilities lead to a significant decrease in the quality of drinking water in Ukraine. An effective solution to this problem is the use of household filtration systems. Among their significant variety, the most widespread are reverse osmosis systems that can effectively purify water from heavy metals, soluble salts of viruses and microorganisms. Their main disadvantage is the extremely low salt content of 15–20 mg/l, which requires dominerization up to 200 mg/ml. Existing systems of premineralization of drinking water are characterized by exceeding the limit values of salt content (saline) or instability of the level of mineralization (mineral). That is why the urgent task is the development of innovative mineralizers for drinking water with prolonged action based on non-cost domestic raw materials and the study of mineralization processes. The obtained data on the salt content of the solution after aging with mineralizers made it possible to confirm the assumption of a significant influence of the ratio of the surface area of the mineralizer to the volume of water on the rate of the leaching process. With a ratio of 0.4 cm²/ml, the minimum recommended level of salt content is achieved after 7 hours of exposure at a stable pH level (8.15–8.70). A study of the effect of cyclic water replacement on the level of salt content indicates minor changes in its values when held for one (71.1–79.0 mg/l) and three (136.9–140.3 mg/l) hours, which may indicate prolonged action mineralizer. The total hardness of water after 24 hours of exposure to a mineralizer is 1.55 mmol/l, the concentration of Ca²⁺ is 19 mg/l and Mg²⁺ is 7.2 mg/l, which meets the requirements of regulatory documents.

Keywords: mineralizers, solubility, water, ceramic materials, salinity, pH, reverse osmosis