

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-265>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/265>

УДК 628.1

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВОДНИХ СУСПЕНЗІЙ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ

Д.В. Чарний<sup>1</sup>, докт. техн. наук, Є.М. Мацелюк<sup>2</sup>, канд. техн. наук, Ю.А. Онанко<sup>3</sup>, аспірант

<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-6150-6433>; e-mail: dmitriych10@gmail.com;

<sup>2</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-9960-6333>; e-mail: evgen1523@ukr.net;

<sup>3</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-7231-1188>; e-mail: yaonanko1@gmail.com

**Анотація.** З метою вибору оптимального фільтрувального завантаження проведено всебічне дослідження електростатичних параметрів всіх компонентів процесу водопідготовки. Виконано експериментальні дослідження фізичних величин, що є ключовими для даного процесу. Показано зв'язок параметрів каламутності досліджуваних вод та  $\zeta$ -потенціалу колоїдів, що містяться в них. Досліджено сезонні зміни гідрохімічного складу очищуваних вод. Приведено зв'язок електрохімічних параметрів глинистих часток та процесів їх седиментації у водній суспензії. Представлено залежності каламутності від часу та співвідношення середніх значень каламутності до мінімальних та максимальних на водозаборі водогону «Дністер-Чернівці» за період 2005–2015 рр. Досліджено динаміку зміни параметрів каламутності та  $\zeta$ -потенціалу по спорудах технологічного ланцюга водопідготовки у періоди літньо-осінніх наводків та зимової межени. Проведено аналіз впливу коагулянту, що застосовується на досліджуваному об'єкті водопідготовки, на електростатичні параметри очищуваних колоїдних частинок. Зокрема, на зміни структури подвійного електричного шару глинистих частинок, що призводять до їх коагуляції та зменшення каламутності очищуваних вод. Визначено оптимальні умови застосування пінополістирольного та цеолітового фільтрувальних завантажень. Іонообмінні властивості дозволяють цеоліту дуже ефективно вилучати з очищуваної водної суспензії дрібнодисперсні колоїдні частинки з позитивно зарядженими ядрами, що не були повністю вкриті шаром потенціалутворюючих іонів. Проте, вони діяли лише на короткостроковому початковому етапі фільтрування, тому не можуть бути рекомендовані для довготривалих процесів водопідготовки на очисних спорудах. Це явище пов'язане з обмеженими іонообмінними адсорбційними властивостями цеоліту. А ефективне фільтрування через цеоліт колоїдних частинок у цілорічному режимі роботи на досліджуваному об'єкті водопідготовки, головним чином, пов'язане з розвиненою зовнішньою поверхнею його зерен, що забезпечує механічне перехоплення та затримку колоїдних частинок.

**Ключові слова:** водопідготовка, дзета-потенціал, каламутність, коагуляція глини, фільтрувальне завантаження, пінополістирол, цеоліт

**Актуальність.** Нині існує потреба у всебічному дослідженні як фізико-хімічних параметрів речовин, що є головним джерелом погіршення показників якості очищуваних вод, так і фізичних властивостей актуальних фільтрувальних завантажень для визначення параметрів їх взаємодії.

Такий параметр очищуваних вод як каламутність тісно пов'язаний з електростатичними властивостями колоїдів, що містяться у них. Для більш детального експериментального дослідження цього зв'язку було обрано реальний об'єкт водопідготовки. Попереднє дослідження стану діючих водопровідних очисних споруд КП «Чернівціводоканал» м. Чернівці, Україна дозволило об'єктивно визначити характерні проблеми, що потре-

бують термінового вирішення. З'ясувалося, що головним показником, який має критичне значення для очищення даних вод, є каламутність. А однією з головних потреб є необхідність заміни фільтрувального завантаження.

На сьогодні матеріал, що раніше використовувався в якості традиційного фільтрувального завантаження, став недоступним через низку економічних та політичних факторів. Тому виникла необхідність знайти заміну. Таке фільтрувальне завантаження повинно забезпечити покращення роботи фільтрів, мати відповідну економічну ефективність, а також бути широкодоступним для використання. Таким вимогам відповідають два вітчизняні матеріали: гранули спіненого пінополістиролу «харчових» марок та природний

цеоліт – кліноптилоліт Сокирицького родовища.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Фізико-географічні умови басейну річки Дністер досить неоднорідні, що визначає різноманітність хімічного складу поверхневих вод і особливості гідрохімічного режиму річок басейну, який, насамперед, визначається водним стоком, зокрема його внутрішньорічним розподілом [2].

Як відомо, хімічний склад поверхневих вод непостійний у часі і змінюється відповідно до переважання у стоці протягом року вод різних генетичних категорій, таких як: поверхнево-схилових, ґрунтово-поверхневих та підземних. Гідрохімічний режим річок басейну Дністра формується в різних фізико-географічних умовах, що насамперед відображається в особливостях зміни вмісту головних іонів. Зокрема іонний склад річкових вод гірської території басейну Дністра формується в умовах гірського рельєфу та високої вологості і характеризується малими величинами мінералізації та вираженим гідрокарбонатно-кальцієвим складом.

Головними іонами сольового складу річкових вод є  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  та  $\text{K}^+$ , походження яких у водах пов'язано, в основному, з розчиненням солей, які утворюють гірські породи і ґрунти, та з процесами іонного обміну.

Результати експериментальних досліджень показують, що дрібнодисперсні глинисті частинки дуже погано осідають або взагалі не осідають у водних розчинах [3]. Також вони дуже погано закріплюються на поверхні зерен фільтруючого завантаження при фільтруванні глинистої водної суспензії через фільтри із зернистим завантаженням [4]. До головних факторів, які перешкоджають процесам седиментації глинистих часток у водній суспензії, належать [5]:

- значна товщина подвійних електричних шарів дрібнодисперсних глинистих частинок;
- високі абсолютні значення  $\zeta$ -потенціалів глинистих частинок, які не дають частинкам глини коагулювати внаслідок дії кулонівських сил електростатичного відштовхування однаково заряджених країв цих частинок;
- хімічний зв'язок дрібнодисперсних глинистих частинок з такими солями як  $\text{NaCl}$ , розчиненими у водній суспензії. Розчинений у воді  $\text{NaCl}$  сам не осідає і заважає це робити дрібнодисперсним частинкам глини.

**Мета дослідження** полягає у виборі оптимального фільтрувального завантаження, що забезпечить зміну показників якості поверх-

невих вод верхньої течії р. Дністер до таких, що будуть відповідати питним нормативам, встановленим ДСанПіН 2.2.4–171–10 [1] у цілорічному режимі шляхом визначення ключових параметрів ефективності очищення вод, а саме –  $\zeta$ -потенціалу як дрібнодисперсних глинистих часточок, так і фільтрувальних завантажень та каламутності вод на всіх етапах процесу водопідготовки.

Проте, неоднорідність гідрохімічного стоку, а отже і електростатичних властивостей забруднюючих агентів у різні пори року значно ускладнює виконання поставленої задачі, через що виникла потреба в більш детальному дослідженні всіх аспектів цього питання.

**Матеріали і методи дослідження.** Досліджувався процес очищення поверхневих вод верхньої течії р. Дністер. Досліди проводили на базі водопровідних очисних споруд КП «Чернівціводоканал» м. Чернівці, Україна. Для дослідження динаміки зміни фізико-хімічних та електростатичних параметрів природних поверхневих вод на різних спорудах ланцюга водопідготовки було проведено відбір проб води та подальший їх аналіз. Також з метою визначення оптимального фільтрувального завантаження для різних періодів року порівнювали процеси контактної коагуляції та затримки колоїдних часток на гранулах спіненого полістиролу та зернах цеолітового дрібняку.

Для визначення каламутності застосовувався прилад turbidimeter TN100 виробництва компанії («Eutech Instruments», США). Дана величина визначалась за стандартною методикою ДСТУ ISO 7027:2003. Для визначення таких електростатичних властивостей колоїдів як  $\zeta$ -потенціал та гідродинамічний радіус використовувався сучасний прилад Zetasizer Nano ZS («Malvern Instruments», Великобританія). Дослідження проводили за методикою, що була розроблена виробником даного приладу. Вся процедура вимірювання була автоматизована для спрощення аналізу. Виміри проводили в U-подібній кюветі із золотими електродами при  $\text{pH} = 7,4$  і температурі  $25^\circ\text{C}$ . Результати оброблялись за допомогою програмного забезпечення «Dispersion Technology Software».

**Результати дослідження та їх обговорення.** Для дослідження динаміки зміни величини параметра каламутності вихідної води від сезонних періодів зміни фізико-хімічних властивостей очищуваних вод було побудовано графік залежності каламутності від часу на водозаборі водогону «Дністер-Чернівці» за період в 11 років (2005–2015 роки включно), який представлено на рис. 1.

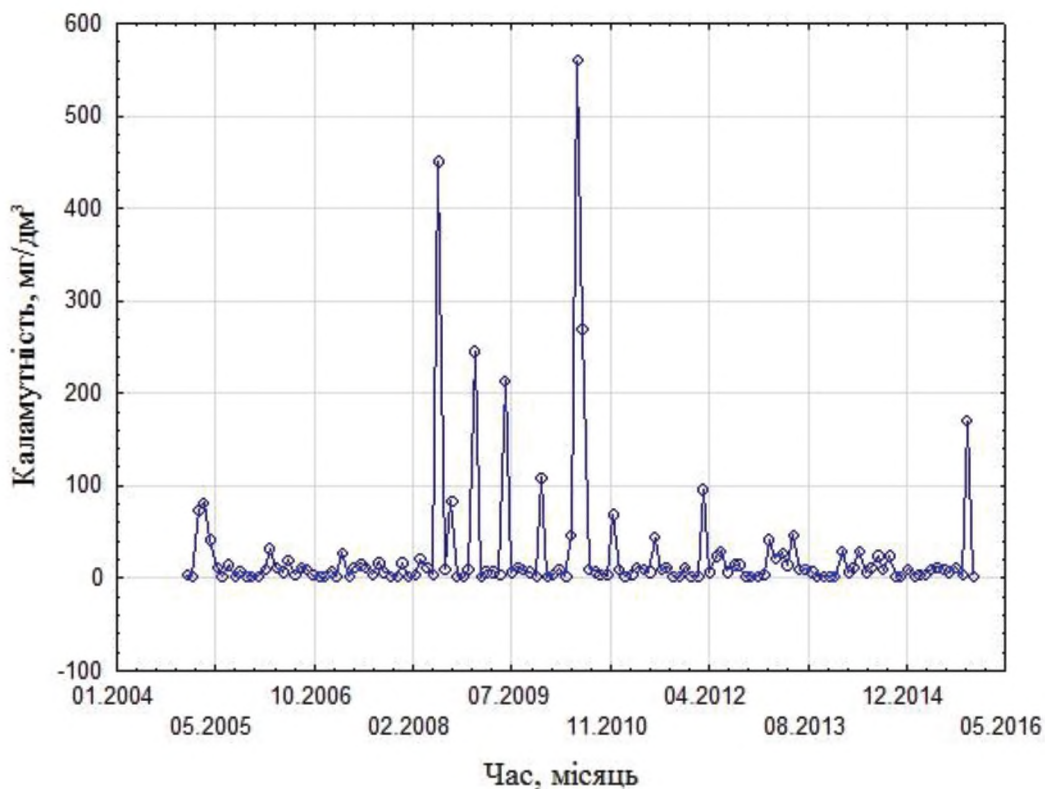


Рис. 1. Залежності каламутності від часу на водозаборі водогону «Дністер-Чернівці» за період в 11 років (2005–2015 роки включно)

Для визначення величини вкладу значень екстремумів, що обумовлені короткостроковими паводковими періодами, було побудовано діаграму співвідношення середніх значень каламутності до мінімальних та максимальних на водозаборі водогону «Дністер-Чернівці» за період в 11 років (2005–2015 роки включно), яку представлено на рис. 2.

Неоднорідність зміни значень каламутності, що простежується на графіку, представ-

леному на рис. 1 у явному вигляді, та підтверджена діаграмою, зображеною на рис. 2, пояснюється нерівномірним характером опадів у різні роки на території досліджуваної місцевості та неоднорідністю мінерального складу гірських схилів, з яких відбувається поверхневий стік та наповнення русла річки. На рис. 3 показано графіки залежності каламутності та  $\zeta$ -потенціалу колоїдних частинок, що містяться в очищуваних водах по спорудах

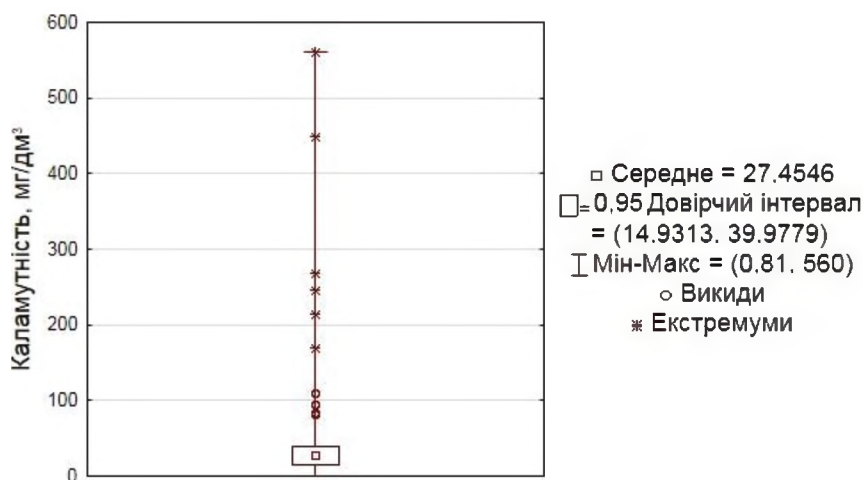


Рис. 2. Співвідношення середніх значень каламутності до мінімальних та максимальних на водозаборі водогону «Дністер-Чернівці» за період в 11 років (2005–2015 роки включно)

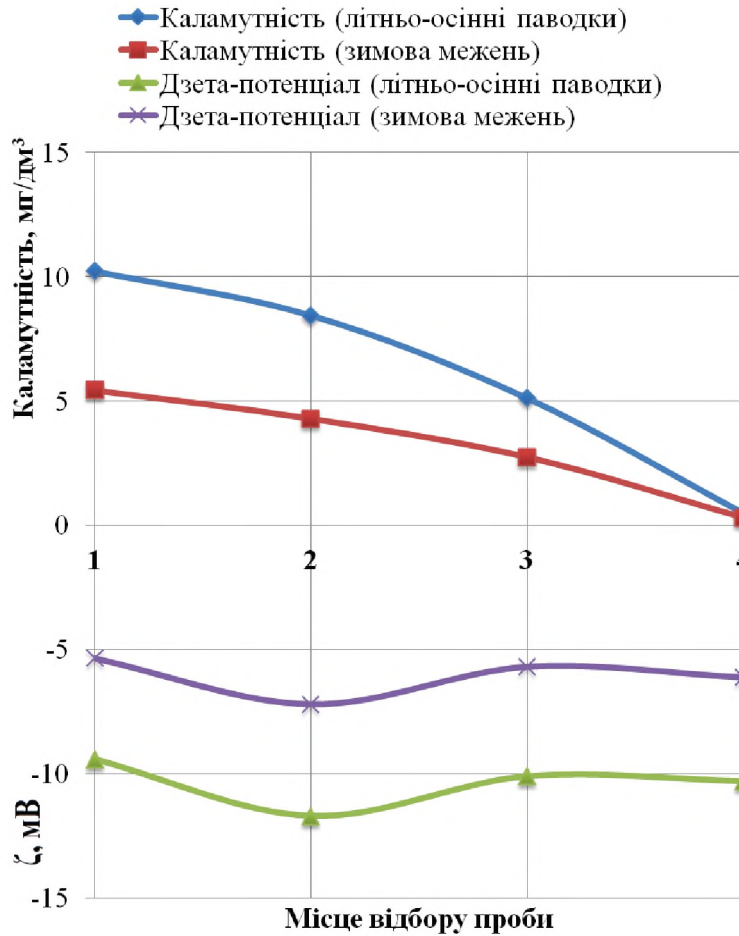


Рис. 3. Залежність каламутності та  $\zeta$ -потенціалу колоїдних частинок, що містяться в очищуваних водах по спорудах технологічного ланцюга водопідготовки водогону «Дністер-Чернівці»:

1 – водозабір на річці Дністер; 2 – після камери реакції;  
3 – збірний канал відстійників; 4 – загальний колектор фільтрів

технологічного ланцюга водопідготовки водогону «Дністер-Чернівці».

У період літньо-осінніх паводків (дата відбору проби – 25.10.2018 р.) показник каламутності досліджуваних вод змінювався так: після водозабору на річці Дністер вода надходила в камери реакції, де в очищувану водну суспензію додавали коагулянт та флокулянт. Внаслідок цього відбувалося зменшення каламутності води, що з камер реакції потрапляла до горизонтального відстійника. Причиною зменшення каламутності була коагуляція дрібнодисперсних глинистих часток, що знаходились в очищуваній воді. Вони злипалися в крупні пластівці, що мали більшу масу та потім осідали під дією сил гравітації. Це призводило до незначного збільшення значення  $\zeta$ -потенціалу з  $-9,41$  до  $-11,7$  мВ через те, що першими починали коагулювати колоїдні частинки з меншим за

товщиною подвійним електричним шаром, що, відповідно, має меншу відштовхувальну силу. Тому в суспензії залишалися частинки з більшою товщиною подвійного електричного шару та більшим значенням  $\zeta$ -потенціалу.

Після переходу очищеної водної суспензії до наступної споруди водопідготовки, якою був відстійник у формі каналу, що об'єднував низку коридорів, відбувалося подальше зменшення показника каламутності. Це пояснюється подальшим проходженням процесу коагуляції глинистих часток та їх осідання на дно відстійника. Значення  $\zeta$ -потенціалу починали зменшуватись до  $-10,1$  мВ через триваючий процес коагуляції. Коагулянт Полвак-40, що є гідроксихлоридом алюмінію, має таку саму основну сполуку  $Al_2O_3$ , як і ядра глинистих колоїдних частинок, що є основним джерелом забруднення даних вод. Тому при його додаванні в очищувану водну



суспензію починався процес виходу потенціалутворюючих іонів та протиіонів із подвійного електричного шару глинистих часток. Це зменшувало товщину їх подвійного електричного шару, що викликало зменшення сил відштовхування між глинистими частинками. У момент, коли сили притягання почали переважати над силами відштовхування, відбувалась коагуляція глинистих часток та їх подальше осідання на дно відстійника. Далі очищувана водна суспензія потрапляла до збірного каналу відстійника, звідки забиралась до наступної споруди водопідготовки.

Первинно освітлена і відстоєна водна суспензія потрапляла у швидкі фільтри. Коли вона дійшла до загального колектора фільтрів, то значення її каламутності зменшилось до нормативних показників питної води, встановлених нормами ДСанПіН 2.2.4-171-10. Проте значення  $\zeta$ -потенціалу трохи зросло до  $-10,3$  мВ. Це можна пояснити тим, що очищувані води мають дуже різноманітний іонний склад. Більшу їх частину вдається затримати існуючим комплексом водоочисних споруд і заходів та довести показники якості води до питних нормативів. Проте, для видалення всіх інших видів іонів потрібно застосовувати коагулянти та флокулянти іншого складу, що передбачає збільшення фінансових витрат на процес водопідготовки та, відповідно, ціну води для споживачів. Тому дані заходи не є економічно доцільними. Вирішити питання додаткової очистки води лише збільшенням дози коагулянту Полвак-40 не є можливим через норматив для питної води, що обмежує кількість залишкового алюмінію.

Для таких складних колоїдних систем, як природні поверхневі води, характерний негативний заряд  $\zeta$ -потенціалу колоїдів, що обумовлюють каламутність вихідної води. Проведені нами експериментальні дослідження колоїдів мінерального походження, на прикладі глинистих частинок із поверхневих вод верхньої течії р. Дністер, підтвердили це твердження. Результати показали, що величина  $\zeta$ -потенціалу колоїдів у даній воді складає  $-9,41$  мВ. Пінополістирол є хімічно інертним завантаженням [6] з позитивним  $\zeta$ -потенціалом, що складає  $+2$  мВ [7; 8]. Природній цеоліт-кліноптилоліт має негативний заряд  $\zeta$ -потенціалу, що дорівнює  $-33$  мВ [9-12].

При більших величинах  $\zeta$ -потенціалів колоїдних часток, що спостерігаються в очищуваній водній суспензії під час літньо-осінніх паводків, ефективнішим завантаженням для їх затримки є гранули спіненого полістиролу. Це пояснюється різницею знаків  $\zeta$ -потенціалів

колоїдних часток та пінополістирольного фільтрувального завантаження. Більша різниця між величинами їх  $\zeta$ -потенціалів свідчить про більшу силу електростатичної адсорбції між ними та пінополістирольним фільтрувальним завантаженням, а також про визначальну роль саме даної сили серед інших сил притягання, зокрема і механічного перехоплення.

Іонообмінні властивості дозволяли цеоліту дуже ефективно вилучати з очищуваної водної суспензії дрібнодисперсні колоїдні частинки з позитивно зарядженими ядрами, що не були повністю вкриті шаром потенціалутворюючих іонів [10]. Проте, вони діяли лише на короткостроковому початковому етапі фільтрування, отже не можуть бути рекомендовані для довготривалих процесів водопідготовки на очисних спорудах. Це явище пов'язане з обмеженими іонообмінними адсорбційними властивостями цеоліту. Проблему можна вирішити шляхом проведення регенерації цеолітового фільтрувального завантаження. Проте, необхідна частота цієї процедури надто збільшить фінансові витрати на процес водопідготовки, тому її застосування є недоцільним. А ефективне фільтрування через цеоліт колоїдних частинок у цілорічному режимі роботи на досліджуваному об'єкті водопідготовки, головним чином, пов'язане з розвиненою зовнішньою поверхнею його зерен, що забезпечує механічне перехоплення та затримку колоїдних частинок.

У період зимової межени (дата відбору проби – 19.02.2019 р.) показники каламутності та  $\zeta$ -потенціалу мають менші значення через менш інтенсивні атмосферні опади та більшу неоднорідність видового складу іонів, що вимивались із гірських порід. Загальна динаміка зміни показників каламутності та  $\zeta$ -потенціалу по спорудах водопідготовки є подібною до динаміки періоду літньо-осінніх паводків. Проте, через менші значення  $\zeta$ -потенціалу колоїдів, що знаходяться в очищуваній водній суспензії, витрата реагентів, необхідних для досягнення нормативних показників якості очищуваної води відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10, є значно нижчою, а інколи у застосуванні реагентів взагалі відпадає потреба. Це пояснюється тим, що через меншу кількість опадів їх видовий склад в очищуваній водній суспензії є більш неоднорідним та недостатньо збалансованим для формування подвійного електричного шару такої товщини, яка забезпечить переважання сил відштовхування над силами притягання між колоїдними частинками та зернами фільтрувального завантаження.

Що стосується вибору оптимального фільтрувального завантаження для періоду зимової межени – краще себе проявляють зерна цеолітового піску, тому що вони мають більш розвинену зовнішню поверхню ніж гранули пінополістиролу та краще затримують колоїдні частинки за рахунок механічного перехвату. Менші величини  $\zeta$ -потенціалів колоїдних часток свідчать про меншу силу електростатичної адсорбції між ними та пінополістирольним фільтрувальним завантаженням, що значно зменшує роль даної сили серед інших сил притягання.

Зважаючи на те, що за своїми фізичними властивостями взаємодії з очищуваними колоїдними частинками жодне з досліджених фільтрувальних завантажень не можна вважати універсальним, то для вирішення задач водопідготовки в цілорічному режимі пропонується застосовувати комбіноване пінополістирольно-цеолітове фільтрувальне завантаження.

**Висновки.** Встановлено зв'язок параметрів каламутності та  $\zeta$ -потенціалу колоїдів очищеної водної суспензії для умов формування якості води на ділянці верхньої течії р. Дністер.

Виміряні значення  $\zeta$ -потенціалу колоїдів дозволили визначити, що пінополістирольне фільтрувальне завантаження доцільніше застосовувати під час періоду повеней, а цеолітове завантаження оптимальніше застосовувати під час періоду межени.

Іонообмінні властивості цеоліту можуть забезпечувати високий рівень очистки води в період повеней, але лише на початковій стадії фільтрування, а ефективне механічне перехоплення та затримка колоїдних частинок у цілорічному режимі забезпечується розвинутою поверхнею його зерен.

Запропоновано застосовувати комбіноване пінополістирольно-цеолітове фільтрувальне завантаження для вирішення задач водопідготовки в цілорічному режимі.

#### Бібліографія

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2010. 36 с.
2. Хільчевський В.К., Гончар О.М., Забокрицька М.Р. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України. Київ : Ніка-Центр, 2013. 256 с.
3. Ma K., Pierre A.C. Sedimentation behavior of a fine kaolinite in the presence of fresh Fe electrolyte. *Clays and Clay Minerals*. 1992. Vol. 40. № 5. P. 586–592.
4. Kaya A., Ören A.H., Yükselen Y. Settling of kaolinite in different aqueous environment. *Marine Georesources & Geotechnology*. 2006. Vol. 24. № 3. P. 203–218.
5. Pierre A. C., Ma K. Sedimentation behaviour of kaolinite and montmorillonite mixed with iron additives, as a function of their zeta potential. *Journal of Materials Science*. 1997. № 32. P. 2937–2947.
6. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. Москва, 2011. 536 с.
7. Greven A.-C., Merk T., Karagöz F. Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas*): Nanoplastics' effect on the immune system of fish. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2016. Vol. 35, № 12. P. 3093–3100.
8. Onanko A.P., Kuryliuk V.V., Onanko Y.A., Kuryliuk A.M. Peculiarity of elastic and inelastic properties of radiation cross-linked hydrogels. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2020. Vol. 12. № 4. P. 04026-1-04026-5.
9. Голохваст К.С., Паничев А.М., Мишаков И.В. Экотоксикология нано- и микрочастиц минералов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. Самара, 2011. Т. 13, № 1(5). С. 1256–1259.
10. Wang X., Nguyen A.V. Characterisation of electrokinetic properties of clinoptilolite before and after activation by sulphuric acid for treating CSG water. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2016. Vol. 220. № 5. P. 175–182.
11. Ozkan A., Sener A.G., Ucbeyiyay H. Investigation of coagulation and electrokinetic behaviors of clinoptilolite suspension with multivalent cations. *Separation Science and Technology*. 2017. Vol. 53. № 5. P. 823–832.
12. Kuzniatsova T., Kim Y., Shqau K., Dutta P.K., Verweij H. Zeta potential measurements of zeolite Y: Application in homogeneous deposition of particle coatings. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2007. Vol. 103. № 1–3. P. 102–107.

#### References

1. Hihiyenichni vymohy do vody pytnoyi, pryznachenoyi dlya spozhyvannya lyudynoyu [Text engl]. (2010). DSanPiN 2.2.4-171-10. Kyiv : Ministerstvo okhorony zdorov'ya Ukrainy.

2. Khilchevskiy V.K., Gonchar O.M., Zabokrycka M.R. (2013). Hidrokhimichnyy rezhym ta yakist' poverkhnevyykh vod baseynu Dnistra na terytoriyi Ukrayiny [The hydrochemical regime and water quality of the Dniester surface water basin in Ukraine]. Kyiv : Nika-Centre. [in Ukrainian]
3. Ma, K., & Pierre, A.C. (1992). Sedimentation behavior of a fine kaolinite in the presence of fresh Fe electrolyte. *Clays and Clay Minerals*, 40(5), 586–592. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1992.0400513>
4. Kaya, A., Ören, A.H., & Yükselen, Y. (2006). Settling of kaolinite in different aqueous environment. *Marine Georesources & Geotechnology*, 24(3), 203–218. <https://doi.org/10.1080/10641190600788429>
5. Pierre, A.C., & Ma, K. (1997). Sedimentation behaviour of kaolinite and montmorillonite mixed with iron additives, as a function of their zeta potential. *Journal of Materials Science*, 32, 2937–2947. <https://doi.org/10.1023/A:1018688904094>
6. Zhurba, M.H. (2011). Vodoochistnyye fil'try s plavayushchey zagruzkoy [Water purification filters with floating load]. Moscow. [in Russian]
7. Greven, A.-C., Merk, T., Karagöz, F. (2016). Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas*): Nanoplastics' effect on the immune system of fish. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(12), 3093–3100. <https://doi.org/10.1002/etc.3501>
8. Onanko, A.P., Kuryliuk, V.V., Onanko, Y.A., Kuryliuk, A.M. (2020). Peculiarity of elastic and inelastic properties of radiation cross-linked hydrogels. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 12(4), 04026-1-04026-5. [https://doi.org/10.21272/jnep.12\(4\).04026](https://doi.org/10.21272/jnep.12(4).04026)
9. Golokhvast, K.S., Panichev, A.M., Mishakov, I.V., (2011). Ekotoksikologiya nano- i mikrochastits mineralov [Ecotoxicology of nano- and microparticles]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk – Bulletin of the Samara scientific center of the Russian academy of sciences*, 1(5), 1256–1259. Samara. [in Russian]
10. Wang, X., & Nguyen, A.V. (2016). Characterisation of electrokinetic properties of clinoptilolite before and after activation by sulphuric acid for treating CSG water. *Microporous and Mesoporous Materials*, 220, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.09.003>
11. Ozkan, A., Sener, A.G., & Ucbeyiay, H. (2017). Investigation of coagulation and electrokinetic behaviors of clinoptilolite suspension with multivalent cations. *Separation Science and Technology*, 53(5), 823–832. <https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1380669>
12. Kuzniatsova, T., Kim, Y., Shqau, K., Dutta, P.K., & Verweij, H. (2007). Zeta potential measurements of zeolite Y: Application in homogeneous deposition of particle coatings. *Microporous and Mesoporous Materials*, 103(1–3), 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2007.01.042>

**Д.В. Чарный, Е.М. Мацелюк, Ю.А. Онанко**

### **Исследование электростатических параметров водных суспензий**

**для решения задач водоподготовки и выбора оптимальной фильтрующей загрузки**

**Аннотация.** С целью выбора оптимальной фильтрующей загрузки проведено всестороннее исследование электростатических параметров всех компонентов процесса водоподготовки. Выполнены экспериментальные исследования физических величин, которые являются ключевыми для данного процесса. Показана связь параметров мутности исследуемых вод и  $\zeta$ -потенциала коллоидов, содержащихся в них. Исследованы сезонные изменения гидрохимического состава очищаемых вод. Приведена связь электрохимических параметров глинистых частиц и процессов их седиментации в водной суспензии. Представлены зависимости мутности от времени и соотношение средних значений мутности к минимальным и максимальным на водозаборе водопровода «Днепр-Черновцы» за период 2005–2015 гг. Исследована динамика изменения параметров мутности и  $\zeta$ -потенциала по сооружениям технологической цепи водоподготовки в периоды летне-осенних паводков и зимней межени. Проведен анализ влияния коагулянта, который применяется на исследуемом объекте водоподготовки, на электростатические параметры очищаемых коллоидных частиц. В частности, на изменения структуры двойного электрического слоя глинистых частиц, приводящие к коагуляции и уменьшению мутности очищаемых вод. Определены оптимальные условия применения пенополистирольной и цеолитовой фильтрующей загрузки. Ионообменные свойства позволяли цеолиту очень эффективно извлекать из очищаемой водной суспензии мелкодисперсные коллоидные частицы с положительно заряженными ядрами, которые не были полностью покрыты слоем потенциалобразующих ионов, однако они действовали только на краткосрочном начальном этапе фильтрации, поэтому не могут быть рекомендованы для длительных процессов водоподготовки на очистных сооружениях. Данное явление связано с ограниченными ионообменными адсорбционными свойствами цеолита. А эффективное фильтрование через цеолит коллоидных



частиц в круглогодичном режиме работы на исследуемом объекте водоподготовки, главным образом, связано с развитой внешней поверхностью его зерен, которая обеспечивает механический перехват и задержку коллоидных частиц.

**Ключевые слова:** водоподготовка, дзета-потенціал, мутність, коагуляція глин, фільтруючі загрузки, пенополістирол, цеолит

D.V. Charnyi, E.M. Matseliuk, Y.A. Onanko

**Study of electrostatic parameters of aqueous suspensions  
for solving the tasks of water treatment and selection of optimal filter media**

**Abstract.** To select an optimal filter media, a comprehensive study of the electrostatic parameters of all components in the water treatment process was carried out. Experimental studies of physical values that are key to this process were performed. The relationship between the turbidity parameters of the studied water and the  $\zeta$ -potential of the colloids contained in it was shown. Seasonal changes in the hydrochemical composition of treated water were studied. The connection between electrochemical parameters of clay particles and the processes of their sedimentation in aqueous suspension is given. The dependences of turbidity on time and the ratio of average turbidity values to the minimum and maximum ones at the water intake of the Dniester-Chernivtsi water supply system during 2005–2015 were reviewed and presented. The dynamics of changes in the parameters of turbidity and  $\zeta$ -potential in the structures of the technological chain of water treatment during the periods of summer-autumn floods and low-water winter period was studied. The effect of the coagulant used at the studied water treatment facility on the electrostatic parameters of the purified colloidal particles, in particular, on changing the structure of the electric double layer of clay particles, which lead to the coagulation and reduction in the treated water turbidity, was analyzed. The optimal conditions of using polystyrene foam and zeolite filter media were determined. Ion exchange properties enabled the zeolite to efficiently remove fine colloidal particles with positively charged cores out of the purified aqueous suspension, which were not completely covered with a layer of potential-forming ions. However, they produced impact only in the short-term initial stage of filtering. Therefore, they cannot be recommended for using for long-term water treatment processes at water treatment facilities. This phenomenon is due to the limited ion exchange adsorption properties of zeolite. The effective filtration of colloidal particles through zeolite in the year-round mode of operation at the studied water treatment facility is mainly associated with the developed outer surface of its grains, which provides mechanical interception and retention of colloidal particles.

**Key words:** water treatment, zeta potential, turbidity, clay coagulation, filter media, polystyrene foam, zeolite