

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.09.061>

УДК 628.1.032:66.067.124

**Т.Ю. Дульнева, Л.А. Деремешко,**

**О.І. Баранов, Д.Д. Кучерук, В.В. Гончарук**

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ

E-mail: t\_dulneva@ukr.net

## **Очищення природної води від органічних забруднень модифікованою мікрофільтраційною трубчастою керамічною мембраною з глинистих мінералів**

*Представлено академіком НАН України В.В. Гончаруком*

*Для очищення води від природних органічних забруднень перспективними є баромембранні методи, що реалізуються на керамічних мембранах. Дослідження з очищення дніпровської води проведені на дослідній баромембранній установці, що працювала в проточно-рециркуляційному режимі. У ній використано мікрофільтраційну керамічну трубчасту мембрану з глинистих мінералів, яка розроблена в Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України. Досліджено закономірності процесу очищення дніпровської води від органічних сполук, що містяться в ній, такою мембраною, яка модифікована різними речовинами: гідроксосполуками Fe(III) і Al(III), кукурудзяним крохмалем і монтморилонітом. Модифікування керамічної мембрани відбувалося завдяки формуванню на її поверхні динамічної мембрани з вищезазначених речовин. Процес формування тривав до виходу мембрани на практично постійні значення її питомої продуктивності, при цьому активний шар динамічної мембрани знаходився у динамічній рівновазі. Формування динамічної мембрани відбувалося за стеричним механізмом, що ґрунтувався на різниці розмірів пор динамічної мембрани і частинок мембраноутворювальної речовини з адсорбованими на ній органічними речовинами. Показано, що для очищення дніпровської води від органічних речовин до норми їх ГДК у питній воді для централізованого водопостачання доцільно використовувати керамічну мембрану з глинистих мінералів, яка модифікована у динамічному режимі гідроксосполуками феруму при концентрації іонів Fe(III) у мембраноформувальній і мембранопідтримувальній добавках відповідно 90,0–100,0 і 20,0–22,0 мг/дм<sup>3</sup>, рН<sub>0</sub> 7,3; Р 1,0 МПа. Керамічні мембрани, які були модифіковані іншими зазначеними речовинами, мали за оптимальних умов нижчі розділові властивості.*

**Ключові слова:** очищення води, органічні забруднення, модифікування, керамічна мембрана з глинистих мінералів, мікрофільтрація, динамічна мембрана.

Відомо [1], що наявність органічних речовин у природній воді погіршує її якість — колір, смак і запах, перешкоджає біологічному балансу і самоочищенню. Однак найбільші проблеми виникають через те, що природні органічні речовини є прекурсорами побічних про-

---

Цитування: Дульнева Т.Ю., Деремешко Л.А., Баранов О.І., Кучерук Д.Д., Гончарук В.В. Очищення природної води від органічних забруднень модифікованою мікрофільтраційною трубчастою керамічною мембраною з глинистих мінералів. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2020. № 9. С. 61–67. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.09.061>

дуктів дезінфекції води хлором, внаслідок чого утворюються хлорорганічні сполуки канцерогенної дії. Наявність органічних речовин у природних водах може призвести до порушення процесів подальшого їх очищення коагуляцією, адсорбцією та мембранними методами.

Природні органічні забруднення води виникають внаслідок мікробіологічного розподілу в ній частинок рослинного та тваринного походження, а також біомаси мертвих мікроорганізмів. Значну частину загального органічного забруднення води становлять органічні речовини, що вимиваються з ґрунту. На додаток до них існують також антропогенні джерела органічних забруднень води, такі як стічні води, промислові та побутові відходи.

Основним компонентом природних органічних забруднень дніпровської води є макромолекулярні гумінові речовини: гумінові кислоти та фульвокислоти, що становлять від 40 до 90 % загального органічного складу [2]. Для оцінки вмісту органічних речовин у природних водах на практиці найчастіше використовують визначення загального органічного вуглецю (ЗОВ). Згідно з ДСТУ 7525:2014 значення гранично допустимої концентрації (ГДК) ЗОВ у питній воді централізованого водопостачання становить  $8,0 \text{ мгС/дм}^3$ , а нецентралізованого –  $1,5 \text{ мгС/дм}^3$  (ДСТУ 7525: 2014. Вода питна. Київ, 2014).

Природні води містять органічні речовини в порівняно невисоких концентраціях. Середня концентрація органічного вуглецю в річкових і озерних водах найчастіше не перевищує  $20 \text{ мг/дм}^3$  [3].

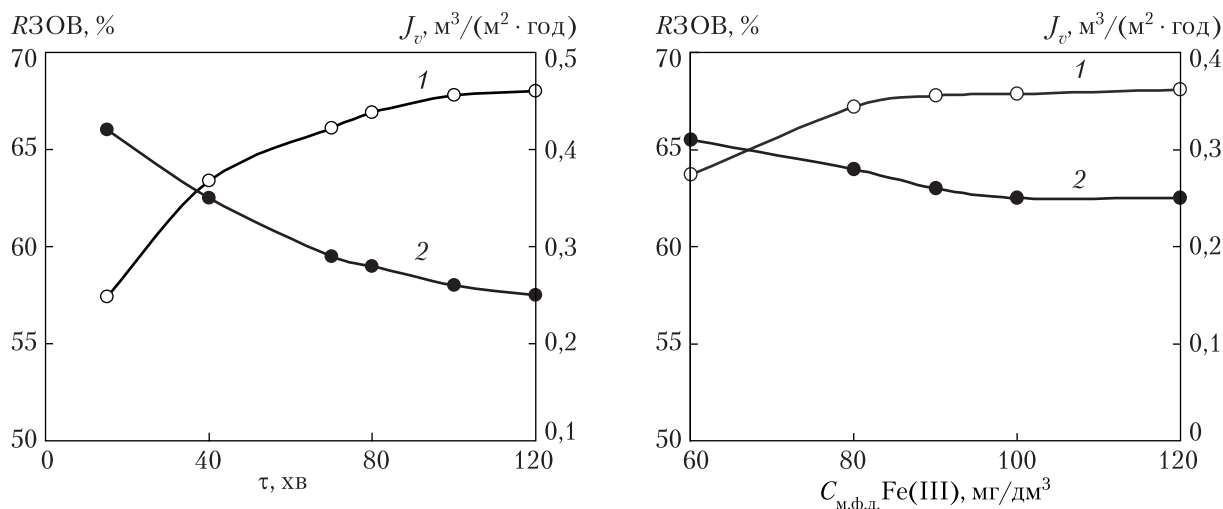
Для очищення води від природних органічних забруднень, включаючи гумінові речовини, білки, вуглеводні, лігніни й інші сполуки, що синтезовані гідробіонтами, використовують коагуляцію, хімічне окислення, адсорбцію, іонообмінні та мембранні технології [4–6]. Однак такі методи або є дорогими, або не завжди забезпечують ГДК ЗОВ у питній воді. Тому виникає необхідність розробки нових ефективніших процесів очищення води від органічних речовин. Перспективними у цьому відношенні є баромембранні методи, які реалізуються на керамічних мембранах [7]. Такі мембрани мають низку переваг над полімерними: вони міцніші, стійкіші до дії тиску та температури, агресивних середовищ, мікроорганізмів, просто регенеруються зворотним потоком очищеної води (пермеатом).

Мета даного дослідження полягала у визначенні параметрів процесу очищення дніпровської води від органічних речовин мікрофільтраційною трубчастою керамічною мембраною з глинистих мінералів, яка модифікована різними речовинами.

**Матеріали і методи.** Дослідження з очищення природної води проведені на дослідній баромембранній установці, що працювала в проточно-рециркуляційному режимі. У ній використано мікрофільтраційну керамічну трубчасту мембрану з глинистих мінералів, яка розроблена в Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України (ТУ У 29.2-05417348-014:2014. Мембрани керамічні “Керама”, Київ, 2015). Така мембрана мала робочу довжину 95,0 мм, зовнішній і внутрішній діаметри відповідно 11,5 і 5,0 мм, найбільший діаметр пор мембрани 1,1 мкм, який визначено методом точки бульбашки [8]. В експериментах використовували воду з р. Дніпро в районі Києва.

Аналіз розчинів на вміст у них завислих речовин здійснювали згідно з ДСТ 3351 [9]. Концентрацію ЗОВ визначали методом каталітичного спалювання на приладі Shimadzu TOC-V CSN [10].

За результатами експериментів розраховували коефіцієнт затримки  $R$  (%) ЗОВ і питому продуктивність  $J_v$  ( $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) мембрани [11].



**Рис. 1.** Залежність коефіцієнта затримки ( $R$ ) ЗОВ (1) та питомої продуктивності ( $J_v$ ) (2) керамічної мембрани від тривалості ( $\tau$ ) її динамічного модифікування гідроксосолюками  $\text{Fe(III)}$ .  $C_0\text{ЗОВ} - 11,2 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;  $C_0\text{Fe(III)} - 90,0 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;  $\text{pH}_0 - 7,2$ ;  $P - 1,0 \text{ МПа}$

**Рис. 2.** Вплив концентрації іонів  $\text{Fe(III)}$  у мембраноформульній добавці ( $C_{\text{м.ф.д. Fe(III)}}$ ) на коефіцієнт затримки ( $R$ ) ЗОВ (1) та  $J_v$  (2) керамічної мембрани.  $C_0\text{ЗОВ} - 11,2 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;  $\text{pH}_0 - 7,2$ ;  $P - 1,0 \text{ МПа}$ ;  $\tau - 120,0 \text{ хв}$

**Результати та обговорення.** Як видно з рис. 1, зі збільшенням тривалості ( $\tau$ ) процесу очищення (при робочому тиску ( $P$ ) 1,0 МПа і  $\text{pH}_0$  7,2) дніпровської води (ДВ) з початковою концентрацією ( $C_0$ ) ЗОВ  $11,2 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , до якої додавали модифікаційну добавку (сіль  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) з початковою концентрацією іонів феруму ( $C_0\text{Fe(III)}$ )  $90,0 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , керамічною мембраною зростає коефіцієнт затримки органічних речовин ( $R$  ЗОВ) (крива 1) і зменшується її питома продуктивність ( $J_v$ ) (крива 2). Такий характер кривих можна пояснити модифікуванням керамічної мембрани завдяки формуванню на її поверхні динамічної мембрани (ДМ) з гідроксосолюків  $\text{Fe(III)}$  з адсорбованими органічними речовинами. Процес формування ДМ тривав до виходу мембрани на практично постійні значення її  $J_v$ , при цьому активний шар ДМ знаходився в динамічній рівновазі. Формування ДМ відбувалося за стеричним механізмом [12], що ґрунтувалося на різниці розмірів пор керамічної мембрани і частинок гідроксосолюків  $\text{Fe(III)}$  з адсорбованими на них органічними речовинами. Слід зазначити, що за таких умов керамічна мембрана постійно затримувала гідроксосолюки  $\text{Fe(III)}$  до норми їх ГДК у питній воді ( $0,2 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ) [3].

На рис. 2 показано, що з підвищенням концентрації іонів  $\text{Fe(III)}$  у мембраноформульній добавці ( $C_{\text{м.ф.д. Fe(III)}}$ ) дещо збільшувалося значення  $R$  ЗОВ (крива 1) і зменшувалося значення  $J_v$  мембрани (крива 2). Це пов'язано відповідно зі збільшенням адсорбційної взаємодії компонентів системи й інтенсивнішим формуванням ДМ з гідроксосолюків  $\text{Fe(III)}$ . Аналіз одержаних результатів свідчить про те, що для очищення ДВ найдоцільніше формувати ДМ із гідроксосолюків  $\text{Fe(III)}$  при  $C_{\text{м.ф.д. Fe(III)}} 90,0-100,0 \text{ мг}/\text{дм}^3$ .

Відомо [13], що для забезпечення стабільної роботи ДМ необхідно постійно додавати до розчину мембранопідтримувальну добавку з концентрацією в кілька разів меншою, ніж концентрація мембраноформульної добавки. Встановлено (рис. 3), що під час очищення

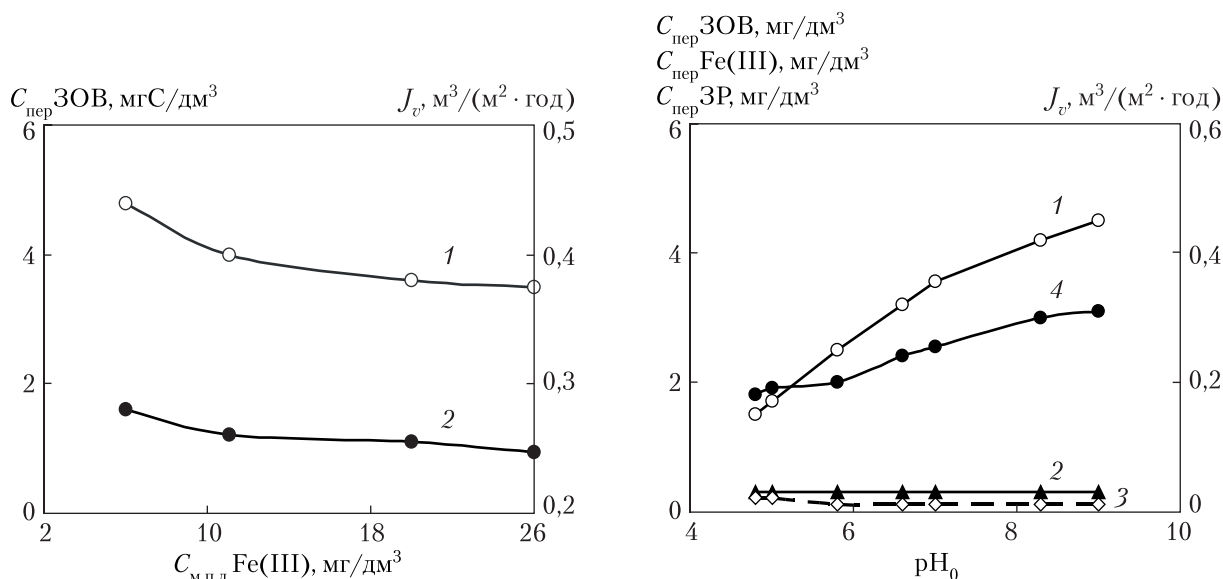
ДВ ( $P = 1,0$  МПа і  $pH_0 = 7,2$ ) за умов формування ДМ при  $C_{\text{м.ф.д. Fe(III)}} 90,0$  мг/дм<sup>3</sup> зі збільшенням концентрації мембранопідтримувальної добавки ( $C_{\text{м.п.д. Fe(III)}}$ ) знижувалися як концентрація ЗОВ у пермеаті ( $C_{\text{пер}} \text{ЗОВ}$ ) (крива 1), так і  $J_v$  мембрани (крива 2). Це зумовлено потовщенням активного шару ДМ і, відповідно, зростанням його усадки. Таким чином, для забезпечення ефективного очищення ДВ керамічною мембраною, яка модифікована ДМ з гідроксосопок Fe(III), необхідно щоб значення  $C_{\text{м.п.д. Fe(III)}}$  знаходилося в інтервалі 18,0–20,0 мг/дм<sup>3</sup> (20,0–22,0 % від  $C_{\text{м.ф.д. Fe(III)}}$ ).

Оскільки розмір частинок гідроксосопок Fe(III) залежить від величини  $pH_0$  розчину, доцільно було дослідити її вплив на характеристики процесу очищення ДВ керамічною мембраною, що модифікована гідроксосопоками Fe(III). Показано (рис. 4, крива 1), що зі збільшенням  $pH_0$  води зростало значення  $C_{\text{пер}} \text{ЗОВ}$ , проте воно не перевищувало норми ГДК ЗОВ у воді централізованого питного водопостачання, яка становить 8 мгС/дм<sup>3</sup> (ДСТУ 7525: 2014. Вода питна). Із рис. 4, крива 1 видно, що значення  $C_{\text{пер}} \text{ЗОВ}$  при  $pH_0 4,8$  відповідає нормі ГДК ЗОВ у воді нецентралізованого питного водопостачання (1,5 мгС/дм<sup>3</sup>) (ДСТУ 7525: 2014. Вода питна). При цьому питома продуктивність модифікованої керамічної мембрани постійно зростала (крива 4), що можна пояснити збільшенням розмірів частинок гідроксосопок Fe(III), а відтак стеричним механізмом їх затримки мембраною. Слід зазначити, що у досліджуваному інтервалі  $pH_0$  води концентрації в пермеаті завислих речовин (каламутність) ( $C_{\text{пер}} \text{ЗР}$ ) (див. рис. 4, крива 2), як і іонів феруму(III) ( $C_{\text{пер}} \text{Fe(III)}$ ) (див. рис. 4, крива 3), були протягом усього експерименту нижчими, ніж їх норма ГДК у воді нецентралізованого питного водопостачання – відповідно 0,3 і 0,2 мг/дм<sup>3</sup> (ДСТУ 7525: 2014. Вода питна). Отже, очищення ДВ від органічних речовин керамічною мембраною, що модифікована гідроксосопоками Fe(III), доцільно проводити для централізованого водопостачання при значеннях  $pH 6,5$ – $8,5$ , які відповідають нормі  $pH$  для питної води (ДСТУ 7525: 2014. Вода питна).

Для очищення ДВ від органічних речовин використовували також керамічні мембрани, що модифіковані іншими речовинами. У табл. 1 показано, що динамічно модифікована гідроксосопоками Al(III) керамічна мембрана затримувала за оптимальних умов органічні речовини на 66,1–70,6 %. Такі результати давали змогу очищати ДВ до норми ГДК ЗОВ у питній воді для централізованого водопостачання. При цьому значення концентрації завислих речовин у пермеаті ( $C_{\text{пер}} \text{ЗР}$ ) досягали їх ГДК для питної води. Питома продуктивність модифікованої керамічної мембрани порівняно з попередньою була меншою, що пов'язано з меншим розміром пор ДМ з гідроксосопоком Al(III).

У разі модифікування в динамічному режимі керамічної мембрани кукурудзяним крохмалем результати очищення ДВ були дещо іншими (табл. 2). Особливістю цього процесу було те, що значення  $C_0 \text{ЗОВ}$  у ДВ зростало до 20,1 мгС/дм<sup>3</sup> за рахунок наявності в ній мембранопідтримувальної добавки з крохмалю. Значення  $C_{\text{пер}} \text{ЗОВ}$  досягало норми ГДК ЗОВ для централізованого водопостачання протягом усього експерименту, а  $C_{\text{пер}} \text{ЗР}$  – після 1,0 год від початку експерименту (див. табл. 2). Однак така мембрана характеризувалася набагато нижчою питоною продуктивністю, ніж попередні.

Оскільки молекули крохмалю належать до електронейтральних, механізм дії ДМ із цієї речовини можна вважати стеричним. Про це також свідчать результати, що отримані іншими дослідниками під час очищення розчинів від солей ДМ з крохмалю [14, 15].



**Рис. 3.** Залежність концентрації ЗОВ у пермеаті ( $C_{\text{пер}} \text{ЗОВ}$ ) (1) та  $J_v$  керамічної мембрани (2) від концентрації іонів Fe(III) у мембранопідтримувальній добавці ( $C_{\text{м.п.д.}} \text{Fe(III)}$ ).  $C_0 \text{ЗОВ} - 10,2 \text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{pH}_0 - 7,2$ ;  $P - 1,0 \text{ МПа}$ ;  $\tau - 4,0 \text{ год}$

**Рис. 4.** Значення  $C_{\text{пер}} \text{ЗОВ}$  (1), завислих речовин ( $C_{\text{пер}} \text{ЗР}$ ) (2), іонів Fe(III) ( $C_{\text{пер}} \text{Fe(III)}$ ) (3), також  $J_v$  (4) керамічної мембрани залежно від  $\text{pH}_0$  води.  $C_0 \text{ЗОВ} - 11,2 \text{ мг/дм}^3$ ;  $\tau - 4,0 \text{ год}$ ;  $P - 1,0 \text{ МПа}$ ;  $C_{\text{м.ф.д.}} \text{Fe(III)} - 90,0 \text{ мг/дм}^3$ ;  $C_{\text{м.п.д.}} \text{Fe(III)} - 22,0 \text{ мг/дм}^3$

**Таблиця 1.** Вплив тривалості ( $\tau$ ) процесу очищення ДВ на  $R \text{ ЗОВ}$ ,  $C_{\text{пер}} \text{ЗОВ}$ ,  $C_{\text{пер}} \text{ЗР}$  та  $J_v$  керамічної мембрани, що модифікована гідроксосополюками Al(III)

$\tau$ , год	$R \text{ ЗОВ}$ , %	$C_{\text{пер}} \text{ЗОВ}$ , мгС/дм <sup>3</sup>	$C_{\text{пер}} \text{ЗР}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$J_v$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·год)
0,5	70,6	3,3	0,2	0,20
1,0	70,6	3,3	0,2	0,15
2,0	68,7	3,5	0,1	0,12
4,0	66,1	3,8	0,1	0,11

Примітка.  $C_{\text{м.ф.д.}} \text{Al(III)} - 80,0 \text{ мг/дм}^3$ ;  $C_{\text{м.п.д.}} \text{Al(III)} - 16,0 \text{ мг/дм}^3$ ;  $C_0 \text{ЗОВ} - 11,2 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{pH}_0 - 6,5$ ;  $P - 1,0 \text{ МПа}$ .

**Таблиця 2.** Залежність від тривалості ( $\tau$ ) процесу значень  $R \text{ ЗОВ}$ ,  $C_{\text{пер}} \text{ЗОВ}$ ,  $C_{\text{пер}} \text{ЗР}$  та  $J_v$  керамічної мембрани, що модифікована кукурудзяним крохмалем

$\tau$ , год	$R \text{ ЗОВ}$ , %	$C_{\text{пер}} \text{ЗОВ}$ , мгС/дм <sup>3</sup>	$C_{\text{пер}} \text{ЗР}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$J_v$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·год)
0,5	69,6	6,1	0,5	0,05
1,0	68,6	6,9	0,3	0,03
2,0	67,7	6,5	0,3	0,02
4,0	66,2	6,8	0,2	0,02

Примітка.  $C_{\text{м.ф.д.}} \text{ крохмалю} - 100,0 \text{ мг/дм}^3$ ;  $C_0 \text{ЗОВ} - 20,1 \text{ мгС/дм}^3$ ,  $\text{pH}_0 - 7,7$ ;  $P - 1,0 \text{ МПа}$ .

Низькою була затримка ЗОВ ( $R$  20,6 %) у разі очищення ДВ ( $C_0$ ЗОВ – 10,0 мг/дм<sup>3</sup>, рН<sub>0</sub> – 7,3;  $P$  – 1,0 МПа;  $\tau$  – 120 хв) керамічною мембраною, що модифікована у динамічному режимі глинистим мінералом – монтморилонітом. Це можна пояснити його низькою адсорбційною ємністю до органічних речовин, які містилися в ДВ. При цьому така модифікована керамічна мембрана мала досить високу питому продуктивність (0,10 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · год)). Після 120 хв експерименту затримка завислих речовин цією мембраною досягала норми їх ГДК у питній воді.

Таким чином, досліджено закономірності процесу очищення ДВ від органічних сполук мікрофільтраційними трубчастими керамічними мембранами з глинистих мінералів, які модифіковані різними речовинами: гідроксосополуками феруму й алюмінію, кукурудзяним крохмалем і монтморилонітом. Показано, що для очищення ДВ від органічних речовин до норми їх ГДК у питній воді для централізованого водопостачання доцільно використовувати керамічну мембрану з глинистих мінералів, яка модифікована в динамічному режимі гідроксосополуками феруму при концентрації іонів Fe(III) у мембраноформульній і мембранопідтримувальній добавках відповідно 90,0–100,0 і 20,0–22,0 мг/дм<sup>3</sup>, рН<sub>0</sub> – 7,3;  $P$  – 1,0 МПа. Керамічні мембрани, що були модифіковані іншими зазначеними речовинами, мали за оптимальних умов гірші розділові властивості.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды: В.В. Гончарук (ред.). Киев: Наук. думка, 2005. 400 с.
2. Перспективы развития фундаментальных и прикладных исследований в области физики, химии и биологии воды: В.В. Гончарук (ред.). Киев: Наук. думка, 2011. 408 с.
3. Клименко В.Г. Загальна гідрологія. Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2012. 254 с.
4. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. Москва: ДеЛи плюс, 2013. 680 с.
5. Sillanpaa M., Chaker Ncibi M., Matilainen A., Vepsalainen M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere*. 2018. **190**. P. 54–71.
6. Nakami M.W., Alkhudhiri A., Zacharof M.-P., Hilal N. Towards a sustainable water supply: Humic acid removal employing coagulation and tangential cross flow microfiltration. *Water*. 2019. **11**, Iss. 10. 2093.
7. Goncharuk V.V., Dulneva T.Yu., Kucheruk D.D., Baranov A.I. Purification of natural water by ceramic microfiltration membranes from clayey minerals. *J. Water Chem. Technol.* 2017. **39**, № 3. P. 161–165.
8. Брок Т. Мембранная фильтрация. Москва: Мир, 1987. 464 с.
9. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 1. Методы химического анализа вод. Т. 1. Москва: Изд. СЭВ, 1987. 1244 с.
10. Топкин Ю.В. Определение органического углерода в воде жидкофазным окислением примесей и реакционной газовой хроматографией. *Химия и технология воды*. 2001. **23**, № 4. С. 387–394.
11. Кочаров Р.Г. Теоретические основы обратного осмоса. Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. 143 с.
12. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. Москва: Мир, 1999. 513 с.
13. Кучерук Д.Д. Динамические мембраны из гидроксополимеров алюминия. *Химия и технология воды*. 1991. **13**, № 7. С. 664–669.
14. Цапюк Е.А., Бадеха В.П., Кучерук Д.Д. Исследование образования динамических мембран из крахмала. *Химия и технология воды*. 1980. **2**, № 1. С. 30–32.
15. Цапюк Е.А., Бадеха В.П., Кучерук Д.Д. Современные представления о кинетике образования динамических мембран. *Химия и технология воды*. 1980. **2**, № 2. С. 224–229.

Надійшло до редакції 24.06.2020

#### REFERENCES

1. Goncharuk, V. V. (Ed.). (2005). Ecological aspects of modern technologies for the protection of the aquatic environment. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).

- Goncharuk, V. V. (Ed.). (2011). Prospects for the development of fundamental and applied research in the field of physics, chemistry and biology of water. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Klimenko, V. G. (2012). General hydrology. Kharkiv: VN KhNU Karazina (in Ukrainian).
- Ryabchikov, B. E. (2013). Modern water treatment. Moscow: DeLi plyus (in Russian).
- Sillanpaa, M., Chaker Ncibi, M., Matilainen, A. & Vepsalainen, M. (2018). Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. Chemosphere, 190, pp. 54-71.
- Hakami, M. W., Alkudhiri, A., Zacharof, M.-P. & Hilal, N. (2019). Towards a sustainable water supply: Humic acid removal employing coagulation and tangential cross flow microfiltration. Water, 11, Iss. 10. 2093.
- Goncharuk, V. V., Dulneva, T. Yu., Kucheruk, D. D. & Baranov, A. I. (2017). Purification of natural water by ceramic microfiltration membranes from clayey minerals. J. Water Chem. Technol., 39, No. 3, pp. 161-165.
- Brok, T. (1987). Membrane Filtration. Moscow: Mir (in Russian).
- Water quality research methods. Pt. 1. Methods of chemical analysis of water. Vol. 1. (1987). Moscow: Izd. SEV (in Russian).
- Topkin, Yu. V. (2001). Determination of organic carbon in water by liquid-phase oxidation of impurities and reactive gas chromatography. Himiya i tehnologiya vody, 23, No. 4, pp. 387-394 (in Russian).
- Kocharov, P. G. (2007). Theoretical Foundations of reverse osmosis. Moscow: RHTU im. Mendeleeva (in Russian).
- Mulder, M. (1999). Introduction to membrane technology. Moscow: Mir (in Russian).
- Kucheruk, D. D. (1991). Dynamic membranes made of aluminum hydroxopolymers. Himiya i tehnologiya vody, 13, No. 7, pp. 664-669 (in Russian).
- Tsapyuk, E. A., Badeha, V. P. & Kucheruk, D. D. (1980). The study of the formation of dynamic membranes from starch. Himiya i tehnologiya vody, 2, No. 1, pp. 30-32 (in Russian).
- Tsapyuk, E. A., Badeha, V. P. & Kucheruk, D. D. (1980). Modern views on the kinetics of the formation of dynamic membranes. Himiya i tehnologiya vody, 2, No. 2, pp. 224-229 (in Russian).

Received 24.06.2020

*T.Yu. Dulneva, L.A. Deremeshko,*

*A.I. Baranov, D.D. Kucheruk, V.V. Goncharuk*

A.V. Dumansky Institute of Colloidal Chemistry and Water Chemistry of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: t\_dulneva@ukr.net

#### PURIFICATION OF NATURAL WATER FROM ORGANIC POLLUTION BY A MODIFIED MICROFILTRATION TUBULAR CERAMIC MEMBRANE FROM CLAY MINERALS

Baromembrane methods implemented on ceramic membranes are promising for the water purification from natural organic pollutants. Studies on the purification of the Dnieper water were carried out on an experimental baromembrane unit, which operated in the flow-recirculation mode. It used a microfiltration ceramic tubular membrane made of clay minerals, developed in A.V. Dumansky Institute of Colloidal Chemistry and Water Chemistry of the NAS of Ukraine. The regularities of the process of purification of the Dnieper water from the organic compounds contained in it by this membrane modified by various substances such as hydroxyl compounds Fe(III) and aluminum, corn starch, and montmorillonite are studied. A modification of the ceramic membrane occurred by forming a dynamic membrane of the above substances on its surface. The process of its formation continued until the membrane reached almost constant values of its specific productivity, while the active layer of the dynamic membrane was in dynamic equilibrium. The dynamic membrane was formed by the steric mechanism based on the difference in pore sizes of the dynamic membrane and the particles of the membrane-forming substance with organic substances adsorbed on it. It is shown that, for the purification of the Dnieper water from organic substances to their maximum permissible concentration in water for the centralized water supply, it is advisable to use a ceramic membrane of clay minerals, which is dynamically modified with hydroxyl compounds of iron (III) at a concentration of Fe ions (III) in the membrane-forming and membrane-supporting additives, respectively, 90.0-100.0 and 20.0-22.0 mg/dm<sup>3</sup>, pH<sub>0</sub> 7.3; P 1.0 MPa. Ceramic membranes modified with the other indicated substances had, under optimal conditions, the worse separation properties.

**Keywords:** *water purification, organic pollution, modification, ceramic membrane from clay minerals, microfiltration, dynamic membrane.*