



<https://doi.org/10.15407/polymerj.44.03.198>  
УДК 628.16: 544.725.2: 66-96:678(664+665):66.092-977:661.183.122

**В.В. ГОНЧАРУК,**

Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Думанського НАН України, 42, бул. Академіка Вернадського, Київ, 03142, Україна,  
e-mail: honch@icccwc.kiev.ua  
ORCID: 0000-0002-2835-1270

**В.М. ОГЕНКО,**

Інститут загальної та неорганічної хімії імені В.І. Вернадського НАН України, 32/34, просп. Академіка Палладіна, Київ, 03680, Україна,  
e-mail: vladimir.ogenko@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-3243-5960

**Л.В. ДУБРОВІНА,**

Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Думанського НАН України, 42, бул. Академіка Вернадського, Київ, 03142, Україна,  
e-mail: dubrovina@ua.fm  
ORCID: 0000-0002-1094-3294

**О.А. ВИШНЕВСЬКИЙ,**

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, 34, просп. Академіка Палладіна, Київ, 03142, Україна,  
e-mail: vyshnevskyy@i.ua  
ORCID: 0000-0002-7206-2185

**І.В. ДУБРОВІН,**

Інститут хімії поверхні імені О.О. Чуйка НАН України, 17, вул. Генерала Наумова, Київ, 03164, Україна,  
e-mail: dilvua@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-7236-9702

**І.М. КРУЧКО,**

Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Думанського НАН України, 42, бул. Академіка Вернадського, Київ, 03142, Україна,  
e-mail: iryna.kruchko03@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-7226-3051

**МОДИФІКУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ МЕМБРАН ПІРОВУГЛЕЦЕМ**  
**ІЗ КАРБОНІЗОВАНИХ ПОЛІУРЕТАНСЕЧОВИН**

*Проведено модифікування трубчастих керамічних мембран із глинистих мінералів, отриманих методом шлікерного лиття (виробництво Інституту колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Думанського НАН України). Мембрани модифікували пірокарбоном, отриманим карбонізацією прекурсор – поліуретансечовин. Прекурсор карбонізації синтезували з поліізоціанату (середня функціональність 2,7) і лапролу марки 5003, які вводили у пори мембрани просоченням відповідних розчинів у етилацетаті. При цьому в результаті реакції поліізоціанату з лапролом, адсорбованою на поверхні пор вологи та наявної у ньому і розчинниках води, утворюється поліуретансечовина тривимірної будови. Карбонізацію органічної складової проводили за  $T=800$  °С в потоці аргону. Позірну густину та відкриту пористість мембран визначали за поглинанням  $CCl_4$ . Після модифікації відкрита пористість мембрани зменшилася з 29,9 до 27,3 %, позірну густину зросла з 1,86 до 1,87 г/см<sup>3</sup>. Склад і структуру*

Цитування: Гончарук В.В., Огенко В.М., Дубровіна Л.В., Вишневський О.А., Дубровін І.В., Кручко І.М. Модифікування керамічних мембран піровуглецем із карбонізованих уретансечовин. *Полімерний журнал*. 2022. **44**, № 3. С. 198—204. <https://doi.org/10.15407/polymerj.44.03.198>

мембран вивчали за допомогою методів рентгенофазового аналізу та СЕМ. Зростання відносної інтенсивності рефлексів 26,0–26,4 та 41,3 і 44,2° 2 $\theta$  свідчить, що модифікатором в отриманих системах є піровуглець. Встановлено, що піровуглець покриває поверхню пор суцільним шаром і формує об'ємні утворення різної форми розміром від декількох нм до декількох мікрон. Тестування модифікованих мембран проводили очищенням води від барвника прямого ясно-червоного та іонів Ca<sup>2+</sup> хлориду кальцію за допомогою баромембранного методу за робочого тиску 0,7 МПа. Виявлено, що вихідна мембрана не має затримувальної здатності щодо вказаних сполук, у той час як модифіковані мембрани набувають ультрафільтраційних властивостей з коефіцієнтами затримання 100 та 25 % для барвника прямого ясно-червоного та катіонів кальцію відповідно.

**Ключові слова:** керамічні мембрани, поліізоціанат, лапрол, піровуглець, очищення води, ультрафільтрація.

## Вступ

Зростання чисельності населення Землі та попит на забезпечення його потреб призводять не лише до збільшення обсягу стічних вод, а й зменшення наявності питної води [1]. Скидання стічних вод у навколишнє середовище без очищення може спричинити серйозні екологічні проблеми для людей, рослин і тварин. Причини, через які мембранні методи витісняють звичайні процеси очищення та дезінфекції, зумовлені їх високою ефективністю розділення, меншою залежністю від природи хімічних речовин, низьким енергоспоживанням і компактним дизайном [2, 3].

Останнім часом завдяки механічній, хімічній та термічній стабільності, а також стійкості в широкому діапазоні рН, високій ефективності розділення та регенерації зріс інтерес до використання керамічних мембран. У свою чергу синтез нових керамічних мембран і модифікування тих, що вже виробляються, дає змогу досягти такого розподілу пор за розмірами, який покращує вибірковість розділення компонентів та ефективність очищення рідких сумішей або води [4–8].

Ефективним заповнювачем пор мембран є вуглець, який також має високі хімічну та термічну стійкість. Уведення в пори мембран прекурсорів з подальшою їх карбонізацією дає змогу сформуванню в об'ємі пор різноманітні за складом і структурою частинки піровуглецю. Необхідною умовою для прекурсорів карбонізації є їх здатність карбонізуватися, а не вигорати повністю [9, 10]. Раніше ми вже модифікували мікрофільтраційні керамічні мембрани піровуглецем із карбонізованих полімерів на основі поліізоціанату (ПІЦ) й отримали ультрафільтраційні мембрани [11, 12].

Метою цієї роботи було модифікування мікрофільтраційних керамічних мембран піровуглецем, отриманим при карбонізації поліуретансечовин, які синтезовано на основі поліізоціанату, лапролу та наявної у ньому і розчинниках у вигляді домішок та адсорбованої у порах мембрани води, а також їх тестування на ультрафільтраційні властивості з очищення води від барвника прямого ясно-червоного та катіонів кальцію.

## Експериментальна частина

Для модифікування використовували керамічні мембрани на основі глинистих матеріалів з додаванням шамоту, які було отримано методом шлікерного лиття (Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Думанського НАН України). Мембрани – це трубки жовтуватого кольору зовнішнім і внутрішнім діаметром 12 і 5 мм відповідно.

Як реагенти для полімерних прекурсорів піровуглецю використовували ПІЦ марки IsoPMDI92140 («Elastogran», Німеччина), який є продуктом поліконденсації на основі 4,4'-дифенілметандіізоціанату (концентрація NCO-груп становить 31 %, середня функціональність – 2,7), і лапрол-5003 (Росія) – поліоксиалкілентріол, що складається з 70 % оксіетиленових і 30 % оксипропіленових ланок (за масою). Як розчинник використовували етилацетат (марка х.ч.). Вихідну мембрану просочували розчином лапролу в етилацетаті (масове співвідношення 1:1) протягом 1,5 год., потім 1 год. розчином ПІЦ в етилацетаті (масове співвідношення 1:3). Після обробки реактивами для отримання полімерного прекурсорів піровуглецю мембрани витримували за кімнатної температури на повітрі до

зникнення прилипання та проводили карбонізацію в потоці аргону за  $T = 800\text{ }^\circ\text{C}$ .

Склад вихідної та модифікованої мембран вивчали методом рентгенофазового аналізу (РФА) на дифрактометрі ДРОН-3М із джерелом випромінювання  $\text{CuK}_\alpha$  ( $\lambda = 1,54178\text{ \AA}$ ) у діапазоні кутів від 5 до  $70\text{ }^\circ$ . Віднесення рефлексів на дифрактограмах було зроблено за базою даних програмного забезпечення Match!, що належить до ідентифікації фаз порошкових дифрактограм.

Морфологію поверхні поперечних відколів мембран досліджували за допомогою сканувального електронного мікроскопа JSM-6700F (JEOL, Японія). Попередньо на поверхню зразків напилували платинову плівку завтовшки  $30\text{ \AA}$ . Зйомку виконували в режимі SEI за прискорюючої напруги  $10\text{ кВ}$  і струму зонда  $0,65\text{ нА}$ .

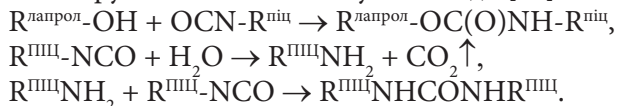
Позірну густина ( $d_{\text{пор}}$ ) і відкриту пористість мембран ( $W, \%$ ) визначали за поглинанням  $\text{CCl}_4$ , згідно з методиками, наведеними в [13].

Тестування модифікованих мембран на відповідність ультрафільтраційним властивостям проводили за ступенем очищення води на модельних розчинах у дистильованій воді від барвника прямого ясно-червоного (СРСР, ТУ 6-14-450-80) (концентрація  $300\text{ мг/дм}^3$ ) та від іонів  $\text{Ca}^{2+}$  (концентрація  $100\text{ мг/дм}^3$ ) із розчину  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (марка х.ч.). Концентрацію  $\text{Ca}^{2+}$  визначали трилометрично, а концентрацію барвника – за допомогою фотоелектроколориметра КФК-2МП. Експлуатаційні властивості мембран вивчали на баромембранній установці, яка працює в проточно-рециркуляційному режимі за робочого тиску  $0,7\text{ МПа}$ . За результатами випробувань мембран визначали коефіцієнт затримування ( $R, \%$ ) і питому продуктивність ( $J_v, \text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) [14].

## Результати дослідження та їх обговорення

Вибір ПШЦ і лапролу-5003 як вихідних реагентів для отримання поліуретансечовини (ПУС) тривимірної будови в порах мембран зумовлено здатністю останньої до карбонізації [10]. Внаслідок того, що в лапролі, етилацетаті та порах мембран наявні домішки води, а мембрани витримували за кімнатної температури, в утворенні полімерного прекурсору карбонізації у порах мембрани беруть участь і молекули води. NCO-

групи легко вступають у реакцію як з гідроксильними групами, так і з молекулами води [15]:



У результаті цих реакцій, як наслідок функціональності ПШЦ і лапролу більше 2, утворюються тривимірні поліуретансечовини. Реакції NCO-груп ПШЦ з уретанами, амінами, сечовиною та іншими сполуками з активним Гідрогеном можуть призвести до утворення додаткових алофанатних і біуретових розгалужень у полімерних ланцюгах [15]. При взаємодії NCO-груп ПШЦ із гідроксильними групами, що входять до складу матеріалу стінок пор мембрани, утворюється уретановий зв'язок між заповнювачем пор мембран і її стінками. Отже, при модифікуванні мембран ПШЦ і лапролом за наявності етилацетату та домішок води утворюються в основному ПУС з можливими домішками інших сполук як полімерного, так і олігомерного складу. При карбонізації цього конгломерату сполук утворюється модифікатор мембрани – піровуглець.

Після карбонізації колір мембрани змінився від жовтуватого до чорного з металевим блиском на поверхні і до сірого в об'ємі, що свідчить про утворення піровуглецю на поверхні і в порах мембрани. Відкрита пористість мембрани зменшилась з  $29,9$  до  $27,3\%$ , а позірні густина збільшилась з  $1,86$  до  $1,87\text{ г/см}^3$ , що вказує на розміщення модифікатора в порах мембрани.

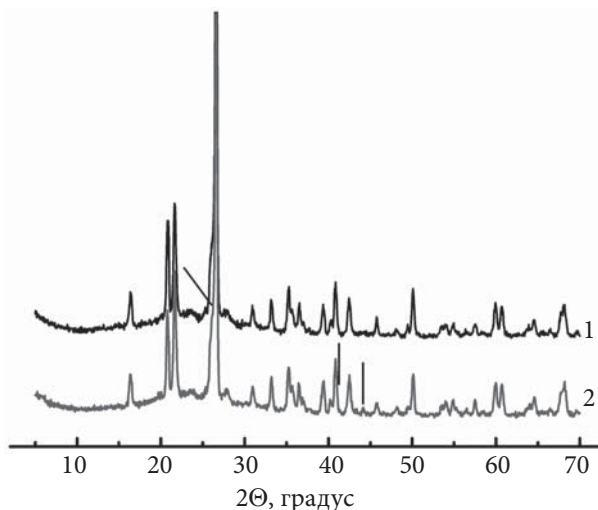


Рис. 1. Дифрактограми мембран: вихідної (1) та модифікованої (2)

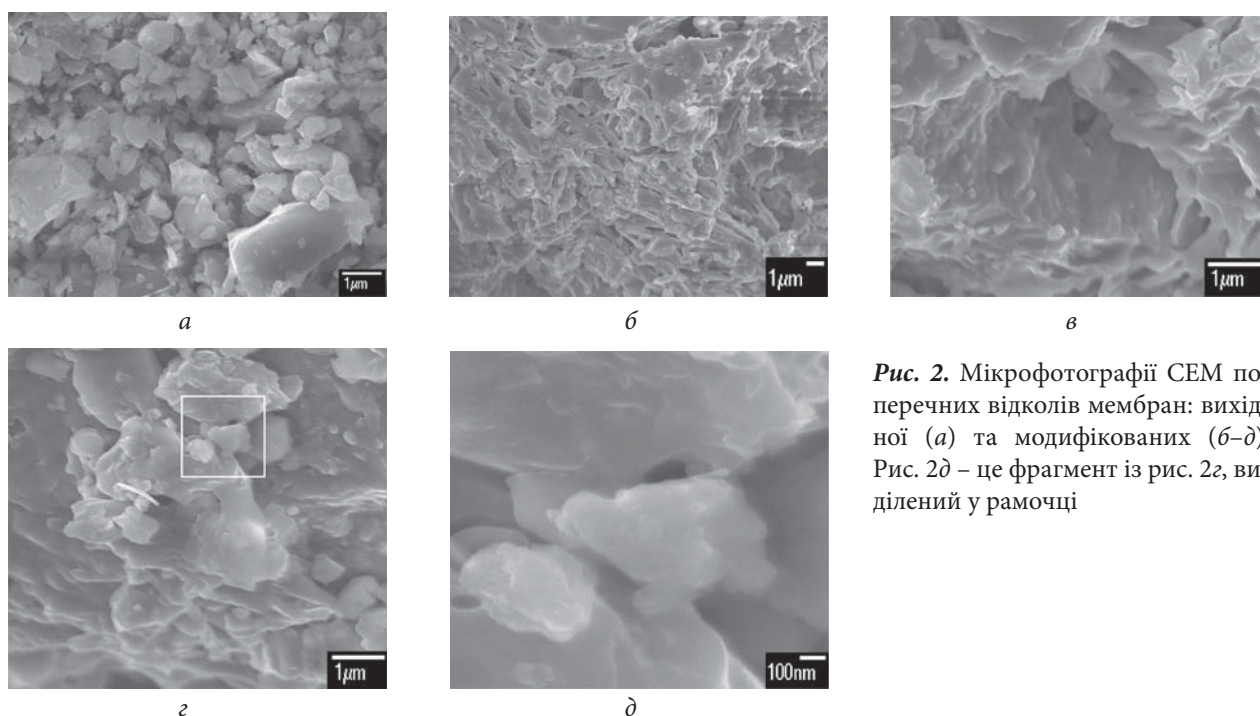


Рис. 2. Мікрофотографії СЕМ поперечних відколів мембран: вихідної (а) та модифікованих (б–д). Рис. 2д – це фрагмент із рис. 2г, виділений у рамочці

З наведених на рис. 1 дифрактограм видно, що рефлекси вуглецю на дифрактограмах виділити неможливо через те, що вони дуже слабкі в порівнянні з рефлексами матеріалу мембрани (концентрація піровуглецю занадто низька). На наявність вуглецю в модифікованих мембранах у порівнянні з вихідною опосередковано вказує зростання відносної інтенсивності рефлексів  $26,0$ – $26,4$  та  $41,3$  і  $44,2^\circ 2\Theta$ , які перекриваються рефлексами від матеріалу вихідної мембрани.

На рис. 2 подано мікрофотографії поперечних відколів вихідної та модифікованої мембрани. У вихідної мембрани чітко видно структурні елементи кераміки (рис. 2 а). У модифікованої мембрани вся поверхня структурних елементів покрита суцільним шаром заповнювача з шаруватих утворень, які складаються з різноманітних пластинок і тяжів, а також із об'ємних утворень різної форми розміром від декількох нм до декількох мікрон (рис. 2 б, в).

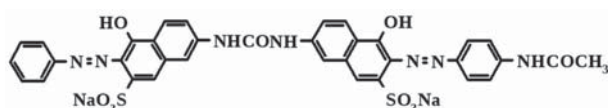


Рис. 3. Структурна формула барвника прямого ясно-червоного

На поверхні відколу є також достатньо великі каверни (рис. 2 в) і пори (рис. 2 г, д).

Питома продуктивність вихідної мембрани за робочого тиску  $0,7$  МПа за 2 год. випробувань на дистильованій воді сягає  $350 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ . Катиони  $\text{Ca}^{2+}$  та аніони барвника прямого ясно-червоного з їх розчинів легко проходять через немодифіковану мембрану і зовсім не затримуються. У мікрофільтраційних мембран розмір

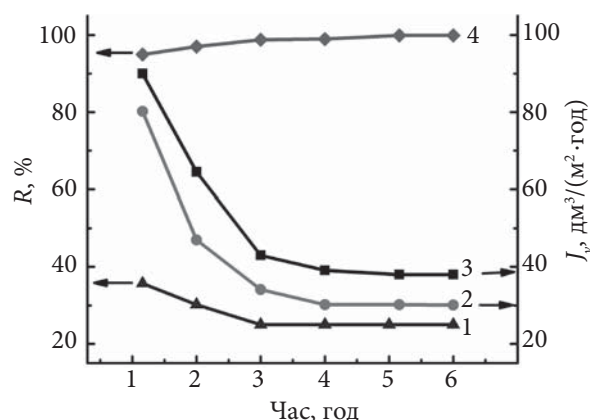


Рис. 4. Залежність коефіцієнта затримування (1, 4) і питомої продуктивності (2, 3) модифікованої мембрани для катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  (1, 3) та аніонів барвника прямого ясно-червоного (2, 4) від часу фільтрування розчинів за тиску  $0,7$  МПа

пор лежить у межах 0,1–5,0 мкм, а ультрафільтраційні мембрани забезпечують затримування органічних сполук з молекулярною масою більше 300, розмір їхніх пор коливається в межах 0,10 – 0,01 мкм [2, 3]. Іонний радіус  $\text{Ca}^{2+}$  становить 0,104 нм. На рис. 3 наведено структурну формулу барвника прямого ясно-червоного.

На рис. 4 подано результати тестування модифікованої мембрани на відповідність її ультрафільтраційним властивостям. Як видно з рис. 4, крива 1, коефіцієнт затримування ( $R$ ) катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  модифікованою мембраною зменшується з часом від 35,7 до 25,0 % при досягненні рівноваги і в подальшому зберігається. Затримування  $\text{Ca}^{2+}$  модифікованою мембраною можна пояснити тим, що піровуглецевий модифікатор пор має у своєму складі групи  $\text{C}=\text{C}$ ,  $\text{C}-\text{C}$ ,  $\text{C}-\text{NH}_x$ ,  $\text{COO}$ , які утворились при карбонізації ПУС [14]. Внаслідок наявності цих груп на поверхні модифікатора відбувається адсорбція  $\text{Ca}^{2+}$ , що приводить до їх затримання. Питома продуктивність мембрани зменшується від 90 до 38  $\text{дм}^3/(\text{м}^2\cdot\text{год})$  після досягнення рівноваги (рис. 4, крива 3). Зменшення питомої продуктивності мембрани зумовлена закупорюванням пор внаслідок вимивання під тиском досліджуваного розчину окремих частинок модифікатора, які при роботі мембрани по іншому розташовуються у порах.

При очищенні води від барвника через 2 год. у системі практично встановлюється динамічна рівновага (рис. 4, криві 2, 4). Коефіцієнт затримування барвника прямого ясно-червоного

після досягнення рівноваги становить майже 100 %. Встановлення динамічної рівноваги зумовлено тим, що в молекулі барвника наявна велика кількість функціональних груп (рис. 3), здатних утворювати адсорбційний шар як на поверхні піровуглецю (заповнювач пор мембрани), так і на поверхні матеріалу мембрани. Утворення не тільки адсорбційного, а й товщого поверхневого шару з молекул барвника призводить до того, що він блокує пори в мембрані, а його товщина не змінюється з часом за незмінних умов роботи мембрани. Наявність цього шару спричиняє спад питомої продуктивності мембрани від 80,2 до 30,1  $\text{дм}^3/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ .

## Висновки

Карбонізацією поліуретансечовин, синтезованих у порах мембран, було отримано модифіковані піровуглецем трубчасті керамічні мембрани. Заповнювач пор у модифікованих мембранах утворює суцільне покриття на поверхні пор у вигляді нашарування пластинок піровуглецю одна на одну з включенням окремих об'ємних утворень. Тестування модифікованих мембран на відповідність ультрафільтраційним властивостям очищенням води від іонів  $\text{Ca}^{2+}$  і барвника прямого ясно-червоного показало, що вони цілком відповідають вимогам до ультрафільтраційних мембран – затримувальна здатність за барвником становить 100 %, а за  $\text{Ca}^{2+}$  – 25 %.

## REFERENCES

1. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation; Meeting the MDG drinking water and sanitation target: a mid-term assessment of progress. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43021>.
2. Anis S.F., Hashaikeh R., Hilala N. Microfiltration membrane processes: A review of research trends over the past decade. *J. Water Process Eng.*, December 2019, **32**: 100941. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100941>.
3. Aani S.A., Tameem N., Mustaf T.N., Hilal N. Ultrafiltration membranes for wastewater and water process engineering: A comprehensive statistical review over the past decade *J. Water Process Eng.*, 2020, **35**: 101241. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101241>.
4. Park S.H., Park Y.G., Lim J.-L., Lim J.-L., Kim S. Evaluation of ceramic membrane applications for water treatment plants with a life cycle cost analysis. *Desalin. Water Treat.* May 2015, **54**, no. 4–5: 973. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.912162>.
5. Agoudjil N., Kermadi S., Larbot A. Synthesis of inorganic membrane by sol–gel process. *Desalination*, 2008, **223**, no. 1–3: 417. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.187>.
6. Arzani M., Mahdavi H.R., Sheikhi M., Mohammadi T., Bakhtiari O. Ceramic monolith as microfiltration membrane: preparation, characterization and performance evaluation. *Appl. Clay Sci.* September 2018, **161**: 456. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.05.021>.

7. Hubadillah S.K, Harun Z, Othman M.H.D, Ismail A.F, Salleh W.N.W, Basri H., Yunos M.Z., Gani P. Preparation and characterization of low cost porous ceramic membrane support from kaolin using phase inversion/sintering technique for gas separation: effect of kaolin content and non-solvent coagulant bath. Chem. Eng. Res. Des. August 2016, **112**: 24. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.06.007>.
8. Rasouli Y, Abbasi M., Hashemif S.A. Fabrication, characterization, fouling behavior and performance study of ceramic microfiltration membranes for oily wastewater treatment. J. Asian Ceram. Soc., 2019, 7, no. 4: 476. <https://doi.org/10.1080/21870764.2019.1667070>.
9. Soldatov A.P, Rodionova I.A., Shkol'nikov E.I., Parenago O.P, Volkov V.V. The modification of inorganic composition membranes by pyrocarbon deposition. Rus. J. Phys. Chem. A, 2004, **78**, no. 9: 1458.
10. Sazanov Yu.N., Gribanov A.V. Karbonizatsiya polimerov. SPb: Nauchnye Osnovy i Tekhnologii, 2013: 296.
11. Goncharuk V.V., Dubrovina L.V., Kucheruk D.D., Samsoni-Todorov A.O., Ogenko V.M., Dubrovin I.V. Water purification of dyes by ceramic membranes modified by pyrocarbon of carbonized polyisocyanate. J. Water Chem. and Technol., 2016, **38**, no. 1: 34–38. <https://doi.org/10.3103/S1063455X16010069>.
12. Goncharuk V.V., Kucheruk D.D., Dubrovina L.V., Vyshnevskiy O.A., Dubrovin I.V., Ogenko V.M. Modificirovanie trubchatih keramicheskikh membran pirouglerodom iz karbonizovannih polimerov. Ukr. Him. Journ. 2019. **85**, no. 6: 97. <https://doi.org/10.33609/0041-6045.85.6.2019.97-103>.
13. Volochko A.T., Podbolotov K.B., Dyatlova E.M. Ogneupornie i tugoplavkie keramicheskie materialy. Minsk: Belarus. Nabyka, 2013: 385.
14. Bryk M.T., Tsapyuk E.A. Ultrafiltracija. Kyiv: Naukova Dumka: 1989: 288.
15. Saunders J., Frish K. Polyurethanes: Chemistry and Technology. Part I, Chemistry. New York: Wiley, New York, Interscience, 1962: 368.
16. Dymarchuk V.O., Ogenko V.M., Naboka O.V., Dubrovina L.V., Zauychnyy Ya.V., Khyzhun O.Yu. Rentgenospektralne doslidjennya elektronnoi strukturi pirovuglecyu, oderjanogo karbonizaciyu toluilendiizocianatu v matrici visokodispersnogo dioksidu kremniyu. Dop. NAN Ukraini, 2008, no 8: 83.

Received 07.06.2022

*V.V. Goncharuk,*

Dumanskii Institute of Colloid Chemistry and the Chemistry of Water of NAS of Ukraine, 42, Akademik Vernadsky boulevard, Kyiv, 03142, Ukraine

e-mail: honch@icccw.kiev.ua

*V.M. Ogenko,*

Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of NAS of Ukraine, 32/34, Akademik Palladin avenue, Kyiv, 03680, Ukraine

e-mail: vladimir.ogenko@gmail.com

*L.V. Dubrovina,*

Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of NAS of Ukraine, 32/34, Akademik Palladin avenue, Kyiv, 03680, Ukraine

Dumanskii Institute of Colloid Chemistry and the Chemistry of Water of NAS of Ukraine, 42, Akademik Vernadsky boulevard, Kyiv, 03142, Ukraine

e-mail: dubrovina@ua.fm

*O.A. Vyshnevskyy,*

Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, 34, Akademik Palladin avenue, Kyiv, 03142, Ukraine

e-mail: vyshnevskyy@i.ua

*I.V. Dubrovin,*

Chuiko Institute of Surface Chemistry of the National Academy of NAS of Ukraine, 17, General Naumov Str., Kyiv, 03164, Ukraine

e-mail: dilvua@gmail.com

*I.M. Kruchko,*

Dumanskii Institute of Colloid Chemistry and the Chemistry of Water of NAS of Ukraine, 42, Akademik Vernadsky boulevard, Kyiv, 03142, Ukraine

e-mail: iryna.kruchko03@gmail.com

#### MODIFICATION OF CERAMIC MEMBRANES BY PYROCARBON FROM CARBONIZED POLY(URETHANE UREA)S

Modification of tubular ceramic membranes made of clay minerals, which were obtained by slip casting (produced by the Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine) was carried out. The membranes were modified with pyrocarbon, which was obtained by carbonization of a precursor – poly(urethane urea)s. The carbonization precursor was synthesized from polyisocyanate (average functionality 2.7) and laprol grade 5003, which was introduced into the membrane by impregnation of the corresponding solutions in ethylacetate. When laprol reacts with polyisocyanate, three-dimensional polyurethane is formed. Since undried reagents were used, water entered the pores of the membrane, which reacted with the NCO groups of the polyisocyanate to form polyurea. The parallel course of these reactions leads to the formation of poly(urethane urea)s in the pores of the membrane. Carbonization was carried at 800 °C in an argon flow. The apparent density and open porosity of the membranes were determined by CCl<sub>4</sub> uptake. After modification, the open porosity of the membrane decreased from 29.9 to 27.3 %, the apparent density increased from 1.86 to 1.87 g/cm<sup>3</sup>. The composition and structure of the membranes were studied by X-ray diffraction analysis and SEM. It is shown that the obtained modifier is pyrocarbon - the relative intensity of reflexes increases at 26,0 - 26,4 and 41,3 and 44,2° 2 $\Theta$ . Pyrocarbon covers the surface of the pores with a continuous layer, and there are also three-dimensional formations of various shapes and sizes from several nm to several microns. Testing of modified membranes was carried out by water purification from direct scarlet dye and from Ca<sup>2+</sup> of calcium chloride using the baromembrane method at a working pressure of 0.7 MPa. The unmodified membrane does not retain direct scarlet dye and Ca<sup>2+</sup> at all. Tests of modified membranes have shown that the membranes acquire ultrafiltration properties. The retention factor (R) for direct scarlet dye is 100 % and 25 % for Ca<sup>2+</sup>.

*Key words:* ceramic membranes, polyisocyanate, laprol, pyrocarbon, water purification ultrafiltration.