

В. В. Лебедєв, к.техн.н., доцент, Д. В. Мірошніченко, д.техн.н., професор,
О. В. Богоявленська, к.техн.н., доцент, Є. І. Литвиненко, к.техн.н. доцент,
Л. В. Соловей, старший викладач

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕПАЛИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПОХІДНИХ БУРОГО ВУГІЛЛЯ ПРИ ОДЕРЖАННІ МЕМБРАН НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: біодеградабельна матеріали, гібридні, похідні бурого вугілля, гумінові речовини, мембрани, очищення, важкі метали, адсорбція.

Вступ. В останні 10–15 років широке поширення знайшли гібридні полімерні композитні матеріали з біологічною активністю [1, 2]. Біологічним «інструментом» гібридних полімерних композитних матеріалів є іммобілізовані в полімерному носії мікроорганізми або біологічно-активні речовини органічної та неорганічної природи [3]. Функціоналізація полімерних поверхонь гібридних полімерних композитних матеріалів, як правило, забезпечується за рахунок хімічних або ковалентних зв'язків, низьких енергетичних взаємодій [4, 5], шляхом нековалентного фізичного притягнення, такого як адсорбція забруднювачів [6,7], антибактеріальних біоматеріалів [8–10] та систем доставки ліків [11–13].

При створенні гібридних полімерних композитних матеріалів особливо важливі природа полімерної матриці і біоактивних компонентів та умови їх формування. Ці фактори в кінцевому підсумку впливають на утворення ефективної композитної структури гібридних полімерних композитних матеріалів та їх експлуатаційні характеристики. У зв'язку з цим, використання різних неорганічних та органічних функціональних матеріалів із розмірами частинок нанорівня при створенні гібридних полімерних композитних матеріалів дуже перспективно, так як, по-перше, висока дисперсність частинки дозволяє забезпечити їх рівномірне розподілення в матриці, за рахунок чого можна досягти покращених фізико-механічних властивостей, по-друге, висока ступінь гомогенізації сумішей компонентів спрощує технологічний процес їх переробки, по-третє, комбінуючи оптимальний об'ємний вміст компонентів гібридних полімерних композитних матеріалів, можна створювати композиції з необхідними магнітними, сорбційними, діелектричними та іншими спеціальними властивостями. При цьому гібридні полімерні композитні матеріали можуть не використовувати лише одну або більше особливих функцій, але також забезпечують модульність матеріалів за допомогою комбінації функціональних компонентів.

Раніше нами було розглянуто напрям використання гібридної модифікації похідних бурого вугілля у вигляді гумінових речовин в рамках одержання композитних матеріалів на основі функціональної гібридної модифікації полілактиду (ПЛА) для застосування в сучасних наномедичних технологіях та препаратах, в процесах очищення та біоремедіації забруднених углеводородами різних об'єктів навколишнього середовища, адсорбції, розділенні та зберіганні газу, каталізі, зондуванні, електронних пристроях тощо

[16]. Такі полімерні гібридні композитні матеріали привернули увагу завдяки своїм особливим структурним та поверхневим характеристикам які і зумовлюють такі широкі функціональні напрями застосування.

Суміші ПЛА з ГР цікаві через їх потенційну можливість застосування як біомедичні каркаси для одержання адсорбентів забруднювачів та важких металів, антибактеріальних біоматеріалів, систем доставки ліків, сорбентів нафтовмісних природних, промислових і побутових вод та ін.

Встановлено [14], що забруднення важкими металами може бути зменшено за рахунок іонного обміну, комплексо-утворення і поверхневої адсорбції при участі ГР, в той час як навіть стійкі органічні забруднювачі спочатку адсорбуються, а потім розкладаються окислювально-відновними процесами. Стосовно функціональної дії ГР варто підкреслити той факт, що зв'язування іонів в них є особливим і розширює можливості звичайних іонообмінних смол [15].

Карбоксильні групи ГР пов'язують звичайні іони (Na^+ , K^+ або Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+}) за рахунок кулонівських взаємодій, в той час як фенольні і фенолятні групи надзвичайно ефективні для хелатування металів (всі d-елементи, особливо Fe^{3+}). Крім того, гідратовані іони у вигляді фосфату зв'язуються через Н-містки і поверхневу адсорбцію («гідрофобний» ефект).

Мета статті – вивчення непаливного застосування похідних бурого вугілля при одержанні мембран на основі гібридних біодеградабельних матеріалів.

В роботі використовували наступні матеріали:

- полілактид марки Tegmatas TP-4000;
- гумінові речовини, отримані з бурого вугілля.

Мембрани для очищення води від важких металів одержували з гібридних біополімерних матеріалів на основі ПЛА та ГР у вигляді пористих полімерних плівок з розміром пор 20 мкм та робочою площею поверхні мембрани $28,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ з діаметром кола 6 см.

Дослідження мембран було проведено у безпроточній камері об'ємом $0,2 \text{ дм}^3$. Робочий тиск становив 0,2 МПа з температурою 20–23 °С. Розчин для очищення був одержаний за допомогою магнітної мішалки, щоб зменшити утворення желе швидкість обертання 500 об/хв.

Обговорення результатів. На рис. 1 наведено селективність мембранних гібридних біодеградабельних матеріалів на основі ПЛА та ГР. Було досліджено адсорбцію з низькоконцентрованих розчинів іонів металів. З рисунку 1 видно, що одержанні мембрани гібридних біодеградабельних матеріалів на основі ПЛА та ГР мають максимальну селективність вилучення іонів металів по відношенню Cu^{2+} – 95 % та Pb^{2+} – 94 %; а для таких металів, як Cd^{2+} , Hg^{2+} , Zn^{2+} , та Co^{2+} вона становить від 82 до 89%.

Також аналізували адсорбцію окремих іонів Cu^{2+} з одночасною адсорбцією кількох різних іонів металів (Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} та Zn^{2+}). Ця область концентрації була обрана на основі потенційного використання мембран гібридних біодеградабельних матеріалів на основі ПЛА та ГР як недорогих сорбційних мембран для екологічно безпечної адсорбції іонів токсичних металів, які часто зустрічаються в низьких, але все ще проблематичних і шкідливих концентраціях. Як бачимо, ефективність адсорбції для одиничних іонів Cu^{2+} становила майже 100 % у використаному діапазоні концентрацій. Його значення дещо знизилося щодо адсорбції із суміші іонів металів, але середня ефективність була вищою за 90 % для всіх використаних іонів металів (табл. 1).

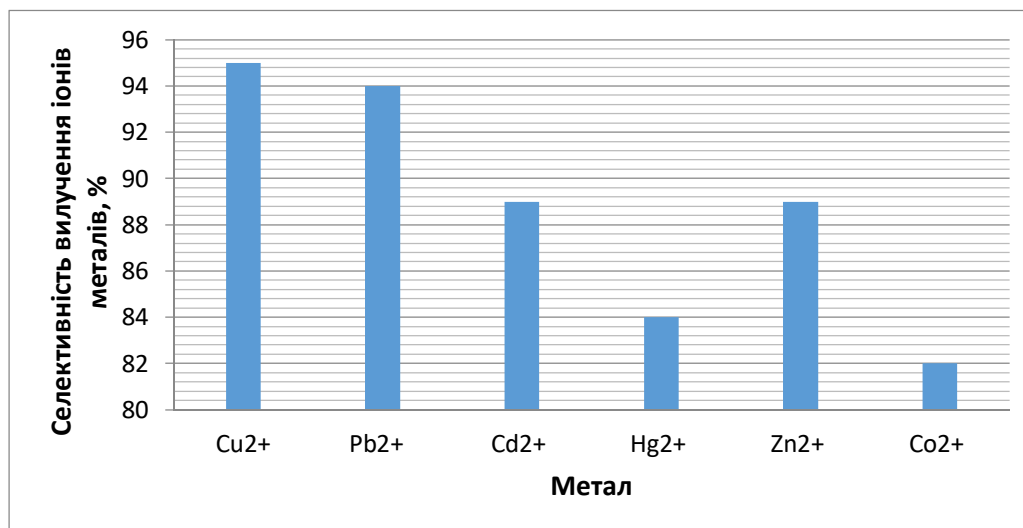


Рисунок 1 – Селективність вилучення іонів металів мембранами гібридних біодеградабельних матеріалів на основі ПЛІА та ГР

Таблиця 1 – Середні показники ефективності адсорбції окремих іонів Cu²⁺ та іонів Cd²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺ та Zn²⁺, адсорбованих із їх суміші

	Окремий розчин металу	Розчин металів			
	Cu ²⁺	Cd ²⁺	Cu ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
Ефективність адсорбції, %	94%	89%	95%	94%	89%
Середня участь у загальній кількості адсорбції іонів, %		21%	23%	32%	24%
Коефіцієнт розподілу окремих іонів, л/г	0,903	0,246	0,647	0,433	0,125

Порівнюючи відсоток іонів металів, які адсорбувалися, можна побачити, що найлегше адсорбованим металом був свинець. Мідь і цинк адсорбувалися аналогічно. Кадмій демонстрував найнижчий відсоток, але його адсорбція була лише трохи гіршою, ніж у випадку міді та цинку.

Оскільки ефективність адсорбції у багатьох випадках була практично близька до 100%, а використовувані концентрації були низькими, було неможливо підібрати експериментальні дані за допомогою будь-якої із зазвичай використовуваних ізотерм адсорбції. Ми визначили «коефіцієнт розподілу» як нахил, отриманий із залежності адсорбованої кількості від рівноважної концентрації, де використовували дані з ефективністю нижче 100% (нульові рівноважні концентрації для 100% ефективності адсорбції не включалися в розрахунок). Найбільші значення отримано для одноразової адсорбції іонів Cu²⁺, у випадку адсорбції із суміші цей метал також мав найвищий коефіцієнт розподілу. Сильна адсорбція також виявлена для Pb²⁺. З іншого боку, адсорбція Zn²⁺ була, за «коефіцієнтом розподілу», відносно слабкою. Отримані значення «коефіцієнта розподілу» не повністю узгоджуються з результатами, наведеними в таблиці 1. Причиною є згадане

вище часткове виключення деяких даних адсорбції через нульову рівноважну концентрацію. Тому ці значення можна розглядати лише як додаткові для комплексної ілюстрації досліджуваної адсорбції (табл. 1).

Хоча середні частки міді та цинку в загальній кількості адсорбції були практично однаковими, їхній розподіл за міцністю зв'язку був різним. Як ми можемо бачити в таблиці 2, цинк був зв'язаний менш міцно, і більша частина була присутня в рухливій або іонообмінній формі.

Таблиця 2 – Середній вміст рухомої фази, іонообмінної фази, міцнозв'язаної фази та залишкової фази іонів Cu^{2+} та адсорбованих із їх суміші іонів Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} та Zn^{2+}

	Окремий розчин металу	Розчин металів			
	Cu^{2+}	Cd^{2+}	Cu^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}
Рухома фаза	9,7%	14,6%	11,4%	12,1%	17,2%
Іонообмінна фаза	17,0%	25,4%	18,0%	19,6%	20,9%
Міцнозв'язана фаза	22,2%	29,4%	23,8%	24,1%	25,7%
Залишкова фаза	51,0%	29,9%	47,8%	44,2%	34,7%

Кадмій демонстрував подібний вміст у слабозв'язаній рухомій або іонообмінній формі. З іншого боку, мідь і свинець були сильно зв'язані, і лише невелика кількість цих металів могла бути вилучена, наприклад, у воду в природі. Як видно, окремі екстрагенти здатні вимивати різну кількість іонів металу, що відповідає різній спорідненості ГР до металу. Вода є слабким вилуговувачем, який може витягувати лише рухливі фракції іонів металів. Для отримання іонообмінної фракції іонів металу використовували 1 М розчин MgCl_2 . Іони металів, що екстрагуються 1 М розчином HCl , становлять фракцію міцнозв'язаних іонів металів. Розчинність метало-гумінових комплексів зменшується зі збільшенням співвідношення метал: ГР, які можуть бути пов'язані з поступовим зменшенням вільної іонізованої функціональної групи відповідно до цього збільшення.

Міцнозв'язані та залишкові фази були найвищими для міді та свинцю. Ці два метали значною мірою були зв'язані в сильні комплекси ГР, і лише дуже невелика їх кількість могла бути вимита за нормальних умов, як також підтвердив Девіч [17].

Одержані результати стійкості адсорбції суттєво змінюються та добре корелюють із віком та ступенем гуміфікації ГР. Використані в нашій роботі ГР належали до групи добре гуміфікованих, більш ароматичних з високим вмістом кислотних функціональних груп, що зумовлює їх високу комплексоутворювальну здатність до утворення стійких метало-гумінових комплексів.

Одержані результати показали, що розподіл іонів металів за міцністю зв'язку залежить від присутності іонів інших металів. Міцнозв'язана і залишкова фракції зменшилися у разі адсорбції із суміші іонів металів, ймовірно, через зайняття міцних місць зв'язування іншими іонами. Це було пов'язано зі зниженням ефективності адсорбції порівняно з адсорбцією іонів Cu^{2+} . З іншого боку, ефективність у всіх випадках була вищою за 80%, а в деяких випадках вона досягала 100%. Це дуже хороший результат щодо потенційного застосування гібридних біодеградабельних матеріалів на основі ПЛА та ГР як екологічно безпечних мембран для важких металів.

Висновки. Розроблені гібридні біодеградабельні матеріали на основі ПЛА та ГР, які були використанні як високоефективні сорбційні мембранні матеріали для зниження

вмісту важких металів у водних розчинах. Було виявлено, що вимивання іонів металів з мембранних гібридних біодеградабельних матеріалів на основі ПЛА та ГР у воду було дуже низьким, у більшості випадків він становив близько 10 % і не перевищував 20 %. Більшість іонів металу ($\geq 60\%$) були зв'язані дуже міцно і лише частково вимивались у сильно кислих умовах.

Література

1. El-Ghoul Y., Alminderej F.M., Alsubaie F.M., Alrasheed R., Almousa N.H. Recent Advances in Functional Polymer Materials for Energy // Water, and Biomedical Applications: A Review. *Polymers*. – 2021. – Vol. 13. – P. 4327.
2. Zagho M.M., Hussein E.A. and Elzatahry A.A., Recent Overviews in Functional Polymer Composites for Biomedical Applications // *Polymers*. – 2018. – Vol. 10. – P. 739.
3. Díez-Pascual A.M., Chemical Functionalization of Carbon Nanotubes with Polymers: A Brief Overview // *Macromolecules*. – 2021. – Vol. 1. – P. 64–83.
4. Liu Y., Liu Z., Gao Y., Gao W., Hou Z. and Zhu Y. Facile Method for Surface-Grafted Chitooligosaccharide on Medical Segmented Poly(ester-urethane) Film to Improve Surface Biocompatibility // *Membranes*. – 2021. – Vol. 11. – P. 37.
5. Chen J.-C., Chen C.-H., Chang K.-C., Liu S.-M., Ko C.-L., Shih C.-J., Sun Y.-S. and Chen W.-C. Evaluation of the Grafting Efficacy of Active Biomolecules of Phosphatidylcholine and Type I Collagen on Polyether Ether Ketone: In Vitro and In Vivo // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13. – P. 2081.
6. Mohamed M.G., Tsai M.-Y., Wang C.-F., Huang C.-F., Danko M., Dai L., Chen T., Kuo S.-W. Multifunctional Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane (POSS) Based Hybrid Porous Materials for CO₂ Uptake and Iodine Adsorption // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13. – P. 221.
7. Khan M.A., Govindasamy R., Ahmad A., Siddiqui M.R., Alshareef S.A., Hakami A.A.H. and Rafatullah M. Carbon Based Polymeric Nanocomposites for Dye Adsorption: Synthesis, Characterization, and Application // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13. – P. 419.
8. Pereira A.M., Gomes D., A. da Costa, Dias S.C., Casal M., Machado R. Protein-Engineered Polymers Functionalized with Antimicrobial peptides for the Development of Active Surfaces // *Applied Sciences* vol. – 2021. – Vol. 11. – P. 5352.
9. Charoensri K., Rodwihok C., Wongratanaphisan D., Ko J.A., Chung J.S., Park H.J., Investigation of Functionalized Surface Charges of Thermoplastic Starch/Zinc Oxide Nanocomposite Films Using Polyaniline: The Potential of Improved Antibacterial Properties // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13. – P. 425.
10. Brun P., Zamuner A., Battocchio C., Cassari L., Todesco M., Graziani V., Iucci G., Marsotto M., Tortora L., Secchi V. Bio-Functionalized Chitosan for Bone Tissue Engineering // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2021. – Vol. 22. – P. 5916.
11. Jhaveri J., Raichura Z., Khan T., Momin M., Omri A. Chitosan Nanoparticles-Insight into Properties, Functionalization and Applications in Drug Delivery and Theranostics // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26(2) . – P. 272.
12. Beagan A.M., Alghamdi A.A., Lahmadi S.S., Halwani M.A., Almeataq M.S., Alhazaa A.N., Alotaibi K.M. and Alswieleh A.M. Folic Acid-Terminated Poly(2-Diethyl Amino Ethyl Methacrylate) Brush-Gated Magnetic Mesoporous Nanoparticles as a Smart Drug Delivery System // *Polymers*. – 2020. – Vol. 13. – P. 59.
13. Donoso-González O., Lodeiro L., Aliaga Á.E., Laguna-Bercero M.A., Bollo S., Kogan M.J., Yutronic N. and Sierpe R. Functionalization of Gold Nanostars with Cationic β -

Cyclodextrin-Based Polymer for Drug Co-Loading and SERS Monitoring // *Pharmaceutics*. – 2021. – Vol. 13. – P. 261.

14. Huang Y.-N., Qian T.-T., Dang F., Yin Y.-G., Li M., Zhou D.-M. Significant contribution of metastable particulate organic matter to the natural formation of silver nanoparticles in soils // *Nature Communications*. – 201. – Vol. 10. – P. 3775.

15. Brown P.A., Gill S.A. and Allen S.J. Metal removal from wastewater using peat // *Water Research*. – 2000. – Vol. 34. – P. 3907–3916.

16. Sahalai D., Bilets D., Lebedev V., Mysiak V., Miroshnichenko D., Sinitsyna A. Hybrid Biopolymer Nanocomposite Materials for Ecological and Biomedical Applications. Proceedings of the 2022 IEEE 12th International Conference. Nanomaterials: Applications and Properties. (NAP 2022). – 2022. – P. 184251.

17. Dević G. J. Characterization of eluted metal ions by sequential extraction from Krepoljin coal basin, Serbia: mechanisms of metal interaction // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. – 2016. – Vol. 38(13). – P. 1912–1917.

УДК 678

В. В. Лебедєв, Д. В. Мірошніченко, О. В. Богоявленська, Є. І. Литвиненко,
Л. В. Соловей

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕПАЛИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПОХІДНИХ БУРОГО ВУГІЛЛЯ ПРИ ОДЕРЖАННІ МЕМБРАН НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті показані дослідження з вивчення непаливного застосування похідних бурого вугілля при одержанні мембран на основі гібридних біодеградабельних матеріалів. В роботі використовували полілактид марки Terramac TP-4000, гумінові речовини, отримані з бурого вугілля. Мембрани для очищення води від важких металів одержували з гібридних біополімерних матеріалів на основі полілактиду та гумінових речовин у вигляді пористих полімерних плівок з розміром пор 20 мкм та робочою площею поверхні мембрани $28,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ з діаметром кола 6 см. Використані в нашій роботі гумінові речовини належали до групи добре гуміфікованих, більш ароматичних з високим вмістом кислотних функціональних груп, що зумовлює їх високу комплексоутворювальну здатність до утворення стійких метало-гумінових комплексів. Розроблені гібридні біодеградабельні матеріали на основі полілактиду та гумінових речовин були використанні як високоефективні сорбційні мембранні матеріали для зниження вмісту важких металів у водних розчинах. Одержанні мембрани гібридних біодеградабельних матеріалів на основі полілактиду та гумінових речовин мають максимальну селективність вилучення іонів металів по відношенню Cu^{2+} – 95 % та Pb^{2+} – 94 %; а для таких металів, як Cd^{2+} , Hg^{2+} , Zn^{2+} , та Co^{2+} вона становить від 82 до 89%. Порівнюючи відсоток іонів металів, які адсорбувалися, можна побачити, що найлегше адсорбованим металом був свинець. Мідь і цинк адсорбувалися аналогічно. Кадмій демонстрував найнижчий відсоток, але його адсорбція була лише трохи гіршою, ніж у випадку міді та цинку. Найбільші значення отримано для одноразової адсорбції іонів Cu^{2+} , у випадку адсорбції із суміші цей метал також мав найвищий коефіцієнт розподілу, сильна адсорбція також виявлена для Pb^{2+} , з іншого боку, адсорбція Zn^{2+} була, за «коефіцієнтом розподілу», відносно слабкою. Міцнозв'язані та залишкові фази були найвищими для міді та свинцю, ці два метали значною мірою

були зв'язані в сильні комплекси гуміновими речовинми і лише дуже невелика їх кількість могла бути вимита за нормальних умов. Було виявлено, що вимивання іонів металів з мембранних гібридних біодеградабельних матеріалів на основі полілактиду та гумінових речовин у воду було дуже низьким, у більшості випадків він становив близько 10 % і не перевищував 20 %. Більшість іонів металу (≥ 60 %) були зв'язані дуже міцно і лише частково вимивались у сильно кислих умовах. Одержані результати стійкості адсорбції суттєво змінюються та добре корелюють із віком та ступенем гуміфікації гумінових речовин.

Ключові слова: біодеградабельна матеріали, гібридні, похідні бурого вугілля, гумінові речовини, мембрани, очищення, важкі метали, адсорбція.

В. В. Лебедев, Д. В. Мирошніченко, Е. В. Богоявленская, Е. И. Литвиненко,
Л. В. Соловей

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕТОПЛИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ БУРОГО УГЛЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ БИОДЕГРАДАБЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье показаны исследования по изучению нетопливного применения производных бурых углей при получении мембран на основе гибридных биodeградабельных материалов. В работе использовали полилактид марки Tetragas TP-4000, гуминовые вещества, полученные из бурых углей. Мембраны для очистки воды от тяжелых металлов получали из гибридных биополимерных материалов на основе полилактида и гуминовых веществ в виде полимерных пористых пленок с размером пор 20 мкм и рабочей площадью поверхности мембраны $28,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ с диаметром круга 6 см. Использованы в наш работе гуминовых веществ принадлежали к группе хорошо гуммифицированных, более ароматических с высоким содержанием кислотных функциональных групп, что приводит к их высокой комплексообразующей способности к образованию устойчивых металл-гуминовых комплексов. Разработанные гибридные биodeградабельные материалы на основе полилактида и гуминовых веществ были использованы в качестве высокоэффективных сорбционных мембранных материалов для снижения содержания тяжелых металлов в водных растворах. Получение мембраны гибридных биodeградабельных материалов на основе полилактида и гуминовых веществ имеют максимальную селективность извлечения ионов металлов по отношению к Cu^{2+} – 95 % и Pb^{2+} – 94 %; а для таких металлов, как Cd^{2+} , Hg^{2+} , Zn^{2+} и Co^{2+} , она составляет от 82 до 89%. Сравнивая процент адсорбированных ионов металлов, можно увидеть, что легче всего адсорбированным металлом был свинец, медь и цинк адсорбировались аналогично, при этом кадмий демонстрировал самый низкий процент, но его адсорбция была немного хуже, чем в случае меди и цинка. Наибольшее значение получено для однократной адсорбции ионов Cu^{2+} , в случае адсорбции из смеси этот металл также имел самый высокий коэффициент распределения, а сильная адсорбция также обнаружена для Pb^{2+} . С другой стороны, адсорбция Zn^{2+} была, по «коэффициенту распределения», относительно слабой. Крепкие и остаточные фазы были самыми высокими для меди и свинца, эти два металла в значительной степени были связаны в сильные комплексы гуминовыми веществами и только очень небольшое их количество могло быть вымыто при нормальных условиях. Было обнаружено, что вымывание ионов металлов из мембранных гибридных биodeградабельных ма-

териалов на основе полилактида и гуминовых веществ в воду было очень низким, в большинстве случаев оно составляло около 10 % и не превышало 20 %. Большинство ионов металла ($\geq 60\%$) были связаны очень прочно и частично вымывались в сильно-кислых условиях. Полученные результаты стойкости адсорбции существенно изменяются и хорошо коррелируют с возрастом и степенью гумификации гуминовых веществ.

Ключевые слова: биodeградебельные материалы, гибридные, производные бурого угля, гуминовые вещества, мембраны, очистка, тяжелые металлы, адсорбция.

V. V. Lebedev, D. V. Miroshnichenko, O. V. Bogoyavlenska, E. I. Litvinenko, L. V. Solovey

STUDY OF NON-FUEL APPLICATION OF BROWN COAL DERIVATIVES IN THE PRODUCTION OF MEMBRANES BASED ON HYBRID BIODEGRADABLE MATERIALS

The article shows research into the non-fuel use of brown coal derivatives in the production of membranes based on hybrid biodegradable materials. The work used polylactide brand Terramac TP-4000, humic substances obtained from brown coals. Membranes for water purification from heavy metals were obtained from hybrid biopolymer materials based on polylactide and humic substances in the form of polymer porous films with a pore size of 20 microns and a working surface area of the membrane of $28.26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ with a circle diameter of 6 cm. Used in our The work of humic substances belonged to the group of well-humified, more aromatic with a high content of acidic functional groups, which leads to their high complexing ability to form stable metal-humic complexes. The developed hybrid biodegradable materials based on polylactide and humic substances were used as highly effective sorption membrane materials to reduce the content of heavy metals in aqueous solutions. Obtaining membranes of hybrid biodegradable materials based on polylactide and humic substances have maximum selectivity for the extraction of metal ions in relation to Cu^{2+} – 95 % and Pb^{2+} – 94 %; and for metals such as Cd^{2+} , Hg^{2+} , Zn^{2+} and Co^{2+} , it ranges from 82 to 89 %. Comparing the percentage of metal ions adsorbed, it can be seen that the easiest adsorbed metal was lead, copper and zinc adsorbed similarly, with cadmium showing the lowest percentage, but its adsorption was slightly worse than in the case of copper and zinc. The highest value was obtained for single adsorption of Cu^{2+} ions; in the case of adsorption from a mixture, this metal also had the highest distribution coefficient, and strong adsorption was also found for Pb^{2+} . On the other hand, the adsorption of Zn^{2+} was, according to the “partition coefficient,” relatively weak. Strong and residual phases were highest for copper and lead, these two metals were largely bound into strong complexes by humic substances and only a very small amount could be washed out under normal conditions. It was found that the leaching of metal ions from membrane hybrid biodegradable materials based on polylactide and humic substances into water was very low, in most cases it was about 10 % and did not exceed 20 %. Most of the metal ions ($\geq 60\%$) were very tightly bound and were partially leached out under strongly acidic conditions. The obtained results of adsorption resistance vary significantly and correlate well with the age and degree of humification of humic substances.

Keywords: biodegradable materials, hybrid, brown coal derivatives, humic substances, membranes, purification, heavy metals, adsorption.