

УДК 677.494

ТАРАСЕНКО Н. В.^{1,2}, ПЛАВАН В. П.¹, БУДАШ Ю. О.¹,
КОЛЯДА М. К.¹, РАЧИНСЬКА О. В.¹

¹ Київський національний університет технологій і дизайну

² Національний технічний університет КПІ ім. І. Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ХЕМОСОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКНИСТИХ СОРБЕНТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ Fe³⁺

Мета. Метою роботи є створення нових екологічно безпечних комбінованих композиційних волокнистих матеріалів з сорбційними властивостями по відношенню до іонів важких металів в стічних водах промислових підприємств.

Методика. Для дослідження сорбційної здатності синтетичних волокон по відношенню до сполук заліза, аналітичними методами визначали вміст Fe³⁺ у модельних розчинах залізоамонійних галунів до та після обробки, розраховували ступінь відпрацювання розчину, %; методом ІЧ-спектроскопії досліджували синтетичні волокна до та після обробки танідами тари і квебрахо, основним компонентом яких є рослинні поліфеноли, та сполуками заліза (III) для визначення механізму взаємодії.

Наукова новизна. Вперше визначили, що взаємодія Fe³⁺ з сорбентом ймовірно відбувається в результаті утворення хімічних зв'язків з СО- групами модифікованих поліамідних і поліуретанових волокон. Підвищенню ефективності такої взаємодії сприяє попереднє блокування аміногруп модифікованих поліамідних волокон, зокрема в результаті взаємодії з рослинними поліфенолами.

Практична значимість. Запропонований метод модифікації волокнистих матеріалів базується на обробці матеріалу розчинами танідів різної природи, основним компонентом яких є рослинні поліфеноли. Визначили, що сорбційна здатність волокнистого сорбенту по відношенню до Fe³⁺ після обробки танідами тари за температури 40 °С вища, ніж після обробки танідами квебрахо за аналогічних умов. Обробка протягом перших чотирьох годин є найбільш ефективною. При цьому ступінь відпрацювання розчину залізо-амонійних галунів сягає 90 %. До переваг одержаного сорбенту можна віднести високу сорбційну активність та здатність до подальшої модифікації, способи одержання є досить простими та дешевими, а можливість виробництва сорбенту із вторинної сировини сприяє вирішенню проблеми утилізації відходів.

Ключові слова: хемосорбційні властивості, волокнисті відходи, поліамідні волокна, поліуретанові волокна, рослинні поліфеноли, сполуки заліза, стічні води.

Вступ. Стічні води підприємств легкої і хімічної промисловості, гальванічних цехів переважно забруднені солями міді, хрому, заліза, нікелю та іншими металами. Сорбційне вилучення металів з стічних вод отримало досить широке поширення внаслідок високої ефективності і відсутності вторинних забруднень. Група синтетичних полімерних сорбентів включає поліпропілен, поліетилен, поліакриламід [1], полістирол і поліуретан, які використовуються для виготовлення спеціальних рукавів, килимків, подушок для сорбції небезпечних рідин. Полімерні адсорбенти мають гідрофобні властивості, низьку об'ємну щільність, сорбційна ємність може перевищувати 100 г/г [2-3]. Через їх низьку щільність і гідрофобність в основному використовуються у водних середовищах. Мінеральні адсорбенти мають такі переваги, як негорючість, хімічна інертність, відносно низька вартість і доступність. Більшість мінеральних адсорбентів використовуються у вигляді порошку або гранул. Мінеральні сорбенти ефективні при ліквідації наземних та водних розливів нафти [4]. Органічні адсорбенти включають торф, мох, сухе листя, соломку, тирсу, кору та відходи переробки целюлозної сировини

[5-7]. Природні органічні сорбенти недорогі, доступні, екологічно чисті, проте низька об'ємна щільність обмежує їх застосування у водному середовищі.

Волокнисті сорбційно-активні матеріали отримують все більш широке застосування завдяки своїм характеристикам, зокрема в порівнянні з гранульованими сорбентами вони мають вищу хімічну і термічну стійкість, однорідну пористу структуру і велику площу активної поверхні, значний об'єм мікропор і високий коефіцієнт масопередачі, причому установки, в яких використовуються волокнисті матеріали, займають значно меншу площу. Крім того, можливість виробництва волокнистих сорбентів із вторинної сировини дозволяє вирішити проблему утилізації відходів шкіряного, текстильного і полімерного виробництва [8].

Постановка завдання. Дослідження хемосорбційних властивостей волокнистих сорбентів для очищення води від іонів Fe^{3+} з метою подальшої їх модифікації для підвищення сорбційної активності.

Методологія досліджень. Авторами статті розроблений спосіб отримання екологічно безпечного полімерного композиційного матеріалу із сорбційними властивостями з волокнистих відходів текстильної промисловості на основі високооб'ємних комбінованих петельних ниток, що склалися з двох компонентів (рис. 1): волокон Lycra 162C (лінійна густина 4,4 текс) та текстурованих волокон Nylon 6.6 f20/1 (лінійна густина 3,3 текс) [9]. Для підвищення гідрофільності і сорбційних характеристик отриманого матеріалу до складу може вводиться до 50 % волокнистих відходів льону або конопель, що також підвищить однорідність розподілу волокон у нетканому матеріалі.

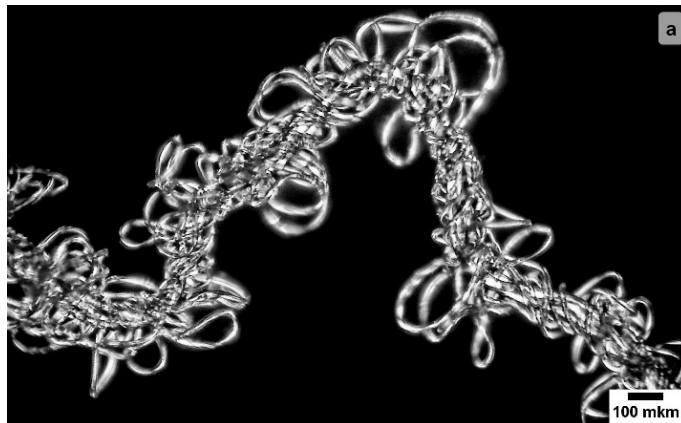


Рис. 1. Мікрофотографія в поляризованому світлі вихідних комбінованих PU-РА волокон

Поліуретанові волокна за своїми хімічними властивостями близькі до поліамідів, так як вони однаково містять амідні групи $-\text{NH}-\text{CO}-$, які беруть участь в утворенні водневих зв'язків. Однак додатковий атом кисню, що входить в поліуретановий ланцюг $-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-$ надає йому більшої гнучкості, тому поліуретани в порівнянні з поліамідами аналогічної будови мають нижчу температуру плавлення ($\sim 178^\circ\text{C}$ для поліуретану проти 255°C для поліаміду 6.6).

За результатами досліджень, проведених в лабораторії кафедри загальної та неорганічної хімії НТУ КПП ім. Ігоря Сікорського було виявлено, що вказані неткані матеріали проявляють низьку сорбційну ефективність по відношенню до сполук хрому і

заліза. Враховуючи те, що ефективність сорбенту залежить від присутності активних функціональних груп, здатних необоротно зв'язувати іони важких металів, представляє інтерес визначення ефективного способу модифікації натуральних і синтетичних волокон для підвищення активності їх функціональних груп, зокрема методом контрольованої хімічної деструкції. Така деструкція як поліуретанів так і поліамідів може відбуватись зокрема під дією органічних розчинників, спиртів, кислот, лугів, фенолів та їх похідних і супроводжується розривом зв'язків C–N. В результаті такого розриву утворюються дві макромолекули, які містять аміно- і карбоксильні групи (рис. 2).

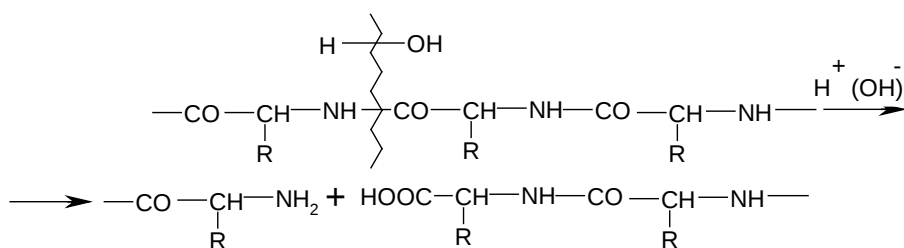


Рис. 2. Схема контрольованої хімічної деструкції поліуретанових і поліамідних волокон

Для підвищення сорбційної здатності волокнистих сорбентів по відношенню до сполук заліза проводили попередню обробку вихідних волокон екстрактами танідів квебрахо (КВ) і тари (Тара), які відносяться до різних класів і відрізняються природою функціональних груп поліфенолів в структурі танідів [10].

Таніди *тари* отримують із стручків невеличких дерев виду *Caesalpinia Spinosa* або *Caesalpinia Tinctoria* [11]. Ці дерева ростуть на територіях із помірним кліматом в долинах Перуанських Андів. Стручки мають вміст танідів біля 50 %. Таніди тари належать до групи пірогалолових, тобто тих, які гідролізуються з утворенням суміші галової та елагової кислот (рис. 3) і мають карбоксильні і гідроксильні групи в структурі поліфенолів [12].

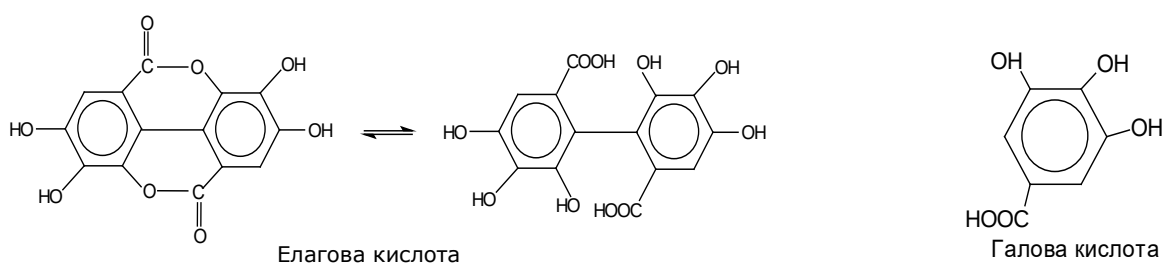


Рис. 3. Поліфеноли танідів тари

Квебрахо – загальна назва різних видів дерев (*Quebrachia lorentzii* syn. *Schinopsis balansae*) родини *Anacardiaceae* і *Aprocarpaceae*, які ростуть в Аргентині, Бразилії, Болівії, Парагваї та Уругваї. Таніди квебрахо відносяться до групи пірокатехінових. Таніди квебрахо мають тільки гідроксильні групи (рис. 4) в структурі поліфенолів [13], а отже процес сорбції важких металів буде відбуватись по-різному.

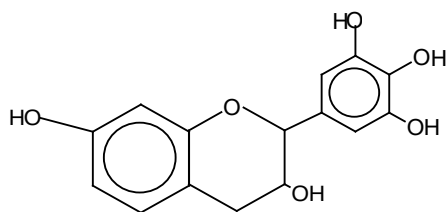


Рис. 4. Поліфеноли танідів квебрахо

Попередня обробка волокнистих сорбентів рослинними екстрактами. Для попередньої обробки волокон використали розчини танідів квебрахо і тари з концентрацією 10 г/л танідів. Для приготування розчину танідів квебрахо наважку сухого екстракту квебрахо зважували на аналітичних вагах (врахували, що вміст танідів в сухому екстракті становить 68 %), переносили в термостійку круглодонну колбу об'ємом 500 мл, додавали 200-250 мл теплої води, доводили розчин до кипіння для повного розчинення екстракту квебрахо, потім розчин охолоджували і кількісно переносили в мірну колбу на 1000 мл та доводили дистильованою водою до мітки. Аналогічно готували розчин танідів тари (вміст танідів тари в сухому екстракті 38 %). Попередню обробку волокон проводили протягом 4 годин за температури 40 °С. Об'єм розчину танідів для обробки по відношенню до маси волокнистого сорбенту становив 10:1. Ступінь відпрацювання розчину танідів контролювали за зміною оптичної густини розчину за допомогою фотокolorиметра.

По закінченню обробки, насичений танідами волокнистий матеріал віджимали, висушували і в подальшому використали для визначення його сорбційної ефективності по відношенню до солей заліза (табл. 1). Як модель залізовмісних стічних вод використали розчин залізоамонійних галунів $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ з концентрацією іонів $\text{Fe}^{3+} \sim 10$ г/л, обробку проводили за температури 20 і 40 °С, концентрацію сполук заліза у відпрацьованому розчині визначали через 1, 2, 4 і 24 години обробки (табл. 1) титриметричним методом в присутності сульфосаліцилової кислоти [14]. Ступінь відпрацювання розраховували за формулою:

$$\text{Ст}_{\text{відпрацювання}} = \frac{C_{\text{Fe}^{3+}}^{\text{початкова}} - C_{\text{Fe}^{3+}}^{\text{кінцева}}}{C_{\text{Fe}^{3+}}^{\text{початкова}}} \cdot 100\%$$

Для дослідження природи взаємодії сполук заліза з волокнистим сорбентом використовувався метод інфрачервоної спектроскопії. ІЧ-спектроскопічні дослідження проводили на універсальному Фур'є-ІЧ-спектрометрі TENSOR-37 (BRUKER, Німеччина). Дослідні зразки ретельно подрібнювали і пресували в таблетки з KBr. ІЧ-спектри поглинання вивчали в області частот 400...3800 cm^{-1} . Інфрачервоні спектри досліджуваних зразків характеризували за допомогою таких показників: А – площа піку за Гаусом, в.о. (відносних одиниць); W – напівширина піку, в.о.; ν – частота, cm^{-1} (максимум піку). Результати ІЧ-спектроскопічних досліджень, які оцінювали за допомогою таблиць характеристичних частот, наведені в табл. 2-3, рис. 5.

Таблиця 1

Параметри обробки волокнистого сорбенту сполуками заліза

Час перебування обробленого танідами сорбенту в розчині Fe^{3+} , год	t, °C	Вид танідів для обробки волокнистого сорбенту	Вміст Fe^{3+} у вихідному/відпрацьованому розчині, г/л	Ступінь відпрацювання розчину Fe^{3+} , %
0	20	—	9,97	—
0,5	20	квебрахо	3,89	61,0
1,0	20	квебрахо	3,72	62,7
2,0	20	квебрахо	3,85	61,5
4,0	20	квебрахо	3,80	61,9
24,0	20	квебрахо	3,53	64,6
0	40	—	9,99	—
0,5	40	квебрахо	4,89	51,0
1,0	40	квебрахо	4,76	52,4
2,0	40	квебрахо	3,21	67,8
24,0	40	квебрахо	3,14	68,5
0	40	—	9,97	—
0,5	20	Тара	3,95	60,4
1,0	20	Тара	3,64	63,6
2,0	20	Тара	1,93	80,6
4,0	20	Тара	1,53	84,6
24,0	20	Тара	2,53	75,6
0	40	—	9,91	—
0,5	40	Тара	1,14	88,5
1,0	40	Тара	1,08	89,1
2,0	40	Тара	1,06	89,3
4,0	40	Тара	0,96	90,3
24,0	40	Тара	1,14	88,5

Результати дослідження та їх обговорення. Як видно з даних табл. 1, сорбційна здатність волокнистого сорбенту після обробки танідами тари за температури 40 °C вища, ніж після обробки танідами квебрахо за аналогічних умов. Можна зробити висновок, що обробка протягом перших 4-х годин є найбільш ефективною. Надалі ефективність обробки значно зменшується, а через добу починає відбуватися зворотній процес – десорбція.

Звертають на себе увагу зміни у низькочастотній області спектра (табл. 2-3). Поступово зменшується площа піка, який належить $\delta(\text{N-H})$ з максимумом 687 см^{-1} , 141 в.о. вихідний полімерний матеріал, 66 в.о. після обробки полімерного матеріалу поліфенолами тари, 35 в.о. після обробки сполуками Fe^{+3} , це супроводжується зменшенням напівширини піку з 190, 92, 76 в.о., відповідно. Аналогічна картина спостерігається у разі обробки полімерного волокна танідами квебрахо. 190, 66, 23 в.о. – зменшується на півширина; 141, 24, 3 в.о. – зменшується площа піку за Гаусом.

Спостерігається зміщення частоти, яка відповідає $\nu_{\text{C=O}}$ коливанням ($1739, 1675, 1670 \text{ см}^{-1}$), в низькочастотну область, яке супроводжується зменшенням напівширини смуги, що автори

[15] пов'язують з участю атомів оксигену C=O груп у взаємодії з іонами металу (Fe^{+3}) шляхом комплексоутворення.

Таблиця 2.

Результати ІЧ спектроскопічних досліджень зразків волокнистих матеріалів, оброблених танідами квебрахо

Функціональні групи	Зразки								
	PU-PA			PU-PA+KB			PU-PA +KB+Fe		
	A, в.о.	ν , cm^{-1}	W, в.о.	A, в.о.	ν , cm^{-1}	W, в.о.	A, в.о.	ν , cm^{-1}	W, в.о.
$\delta\text{N—H}$ (позаплощинні коливання крутильні і віялові в R-NH ₂ , Ar-NH ₂)	141	687	190	24	697	66	3	683	23
$\delta\text{N—H}$ (площинні коливання ножничні в R-NH ₂ , Ar-NH ₂)	119	1544	103	114	1532	90	111	1531	86
$\nu_s \text{C=O}$ (амід I)	14	1739	56	120	1675	133	133	1670	135
$\nu_{as} \text{N—H}$	344	3307	274	230	3303	220	236	3301	214
$\nu_s \text{N—H}$	69	3056	121	42	3069	87	54	3069	97

Таблиця 3.

Результати ІЧ спектроскопічних досліджень зразків волокнистих матеріалів, оброблених танідами тари

Функціональні групи	Зразки								
	PU-PA			PU-PA+tara			PU-PA +tara+Fe		
	A, в.о.	ν , cm^{-1}	W, в.о.	A, в.о.	ν , cm^{-1}	W, в.о.	A, в.о.	ν , cm^{-1}	W, в.о.
$\delta\text{N—H}$ (позаплощинні коливання крутильні і віялові в R-NH ₂ , Ar-NH ₂)	141	687	190	66	704	92	35	700	74
$\delta\text{N—H}$ (площинні коливання ножничні в R-NH ₂ , Ar-NH ₂)	119	1544	103	132	1539	87	121	1533	93
$\nu_s \text{C=O}$ (амід I)	14	1739	56	33	1733	67	88	1675	132
$\nu_{as} \text{NH}_2$	344	3307	274	253	3302	220	219	3298	199
$\nu_s \text{NH}_2$	69	3056	121	53	3067	96	55	3069	99

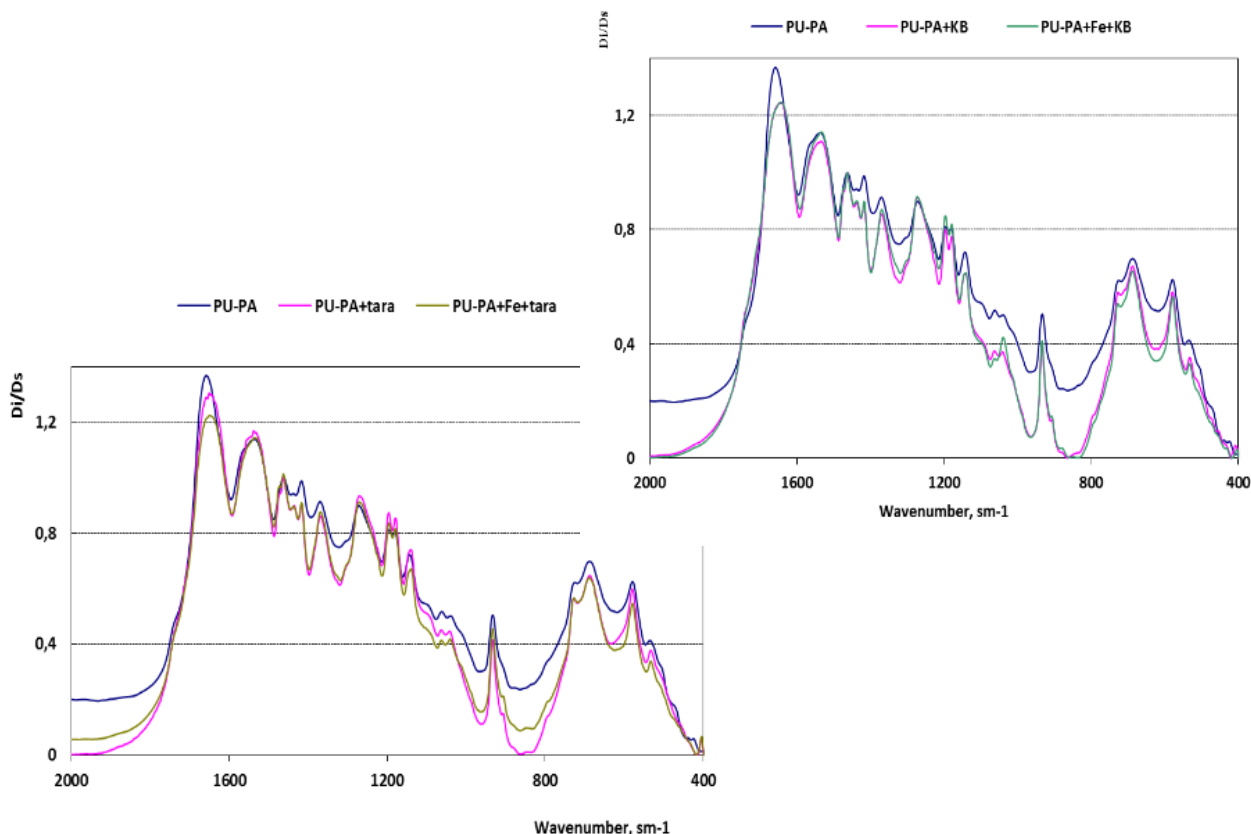


Рис. 5. Результати ІЧ-спектроскопічних досліджень синтетичних волокон до та після обробки танідами тари і квебрахо і сполуками заліза Fe^{3+}

Тобто, взаємодія Fe^{3+} з сорбентом ймовірно відбувається в результаті утворення хімічних зв'язків з СО-групами модифікованих поліамідних і поліуретанових волокон. Підвищенню ефективності такої взаємодії сприяє попереднє блокування аміногруп модифікованих поліамідних волокон, зокрема в результаті взаємодії з поліфенолами та їх похідними, які зазвичай містяться в стічних водах підприємств легкої промисловості. Таким чином вирішується завдання комплексної очистки стічних вод.

Висновки. Запропонований метод модифікації волокнистих матеріалів базується на обробці матеріалу розчинами танідів різної природи, основним компонентом яких є рослинні поліфеноли. Визначили, сорбційна здатність волокнистого сорбенту по відношенню до Fe^{3+} після обробки танідами тари за температури $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ вища, ніж після обробки танідами квебрахо за аналогічних умов. Обробка протягом перших чотирьох годин є найбільш ефективною. При цьому ступінь відпрацювання розчину залізо-амонійних галунів сягає 90 %. Методом ІЧ-спектроскопії визначили, що взаємодія сполук заліза (III) з сорбентом ймовірно відбувається в результаті утворення хімічних зв'язків з СО- групами модифікованих поліамідних і поліуретанових волокон.

Таким чином, волокнисті відходи текстильної промисловості можуть використовуватися для отримання екологічно безпечного полімерного композиційного матеріалу для очистки стічних вод від іонів важких металів. До переваг одержаного сорбенту

можна віднести високу сорбційну активність та можливість подальшої модифікації, а способи одержання є досить простими та дешевими.

Література

1. Manju, G. N., Krishnan, K. A., Vinod, V. P., & Anirudhan, T. S. (2002). An investigation into the sorption of heavy metals from wastewaters by polyacrylamide-grafted iron (III) oxide. *Journal of hazardous materials*, 91(1-3), 221-238.
2. Li, H., Liu, L., & Yang, F. (2012). Hydrophobic modification of polyurethane foam for oil spill cleanup. *Marine pollution bulletin*, 64(8), 1648-1653.
3. Ефективність застосування сорбентів при очистці забруднених вод / О.Л. Матвеева, Д.О. Демянко, А.В. Копиленко, К.О. Шараєв / Харчова промисловість. – 2012. – № . – С. 162-166.
4. Bandura, L., Wozzuk, A., Kołodyńska, D., Franus, W. Application of Mineral Sorbents for Removal of Petroleum Substances: A Review. *Minerals* 2017, 7, 37.
5. Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S. S., & Dorris, K. L. (2001). The removal of heavy metals from aqueous solutions by sawdust adsorption – removal of lead and comparison of its adsorption with copper. *Journal of hazardous materials*, 84(1), 83-94.
6. Palma, G., Freer, J., & Baeza, J. (2003). Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions. *Water Research*, 37(20), 4974-4980.
7. Wahi, R., Chuah, L. A., Choong, T. S. Y., Ngaini, Z., & Nourouzi, M. M. (2013). Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: an overview. *Separation and Purification Technology*, 113, 51-63.
8. Долина Л.Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. – Дн-вск.: Континент, 2008. – 254 с.
9. Одержання та властивості нетканних матеріалів із волокнистих відходів / Є. В. Кучеренко, Ю. О. Бодаш, В. П. Плаван, О. І. Литвинова // Вісник КНУТД. Технічні науки. – 2016. – № 4. – С. 99-106.
10. Bibliothek des Leders/ hrsg. Hans Herfeld. Bd. 3. K. Faber: Gerbmittel, Gerbung, Nachgerbung. – Frankfurt Am Main: Umschau Verlag, 1990. – p. 336.
11. Bertnet R. Alcuni punti di vista teorici sui tannini in generale. Gambier, Mirabolano, Tara e Sommacco/ R. Bertnet// Cuoio, Pelli, Materie Concianti. – 2001. – Vol. 77. – №4. – p. 159-165.
12. Tara-aluminum tanning as an alternative to

References

1. Manju, G. N., Krishnan, K. A., Vinod, V. P., & Anirudhan, T. S. (2002). An investigation into the sorption of heavy metals from wastewaters by polyacrylamide-grafted iron (III) oxide. *Journal of hazardous materials*, 91(1-3), 221-238.
2. Li, H., Liu, L., & Yang, F. (2012). Hydrophobic modification of polyurethane foam for oil spill cleanup. *Marine pollution bulletin*, 64(8), 1648-1653.
3. Matveeva, O.L., Demianko, D.O., Kopylenko, A.B., Sharaiev, K.O. (2012) *Efektivnist zastosuvannia sorbentiv pry ochysttsi zabrudnennykh vod* [Efficiency of sorbents application in the purification of contaminated water]. *Kharchova promyslovist*. 162-166. [in Ukrainian].
4. Bandura, L., Wozzuk, A., Kołodyńska, D., Franus, W. Application of Mineral Sorbents for Removal of Petroleum Substances: A Review. *Minerals* 2017, 7, 37.
5. Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S. S., & Dorris, K. L. (2001). The removal of heavy metals from aqueous solutions by sawdust adsorption – removal of lead and comparison of its adsorption with copper. *Journal of hazardous materials*, 84(1), 83-94.
6. Palma, G., Freer, J., & Baeza, J. (2003). Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions. *Water Research*, 37(20), 4974-4980.
7. Wahi, R., Chuah, L. A., Choong, T. S. Y., Ngaini, Z., & Nourouzi, M. M. (2013). Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: an overview. *Separation and Purification Technology*, 113, 51-63.
8. Dolyna L.F. (2008) *Sovremenniaia tekhnika y tekhnolohyy dlia ochystky stochnykh vod ot solei tiazhelykh metallov: Monohrafiya*. [Modern equipment and technologies for wastewater treatment from salts of heavy metals: Monograph] Dn-vsk.: Kontynent. 254 p. [in Russian].
9. E.V. Kucherenko, Yu.O. Budash, V.P. Plavan, O.I. Lytvynova, *Oderzhannia ta vlastyvoli netkanykh materialiv iz voloknystykh vidkhodiv* [Preparation and properties of nonwovens obtained from fibrous waste]. *Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design. Technical sciences*, 2016, 4 (100), 99-106. [in Ukrainian].
10. *Bibliothek des Leders/ hrsg. Hans Herfeld. Bd. 3. K. Faber: Gerbmittel, Gerbung, Nachgerbung*. – Frankfurt Am Main: Umschau Verlag, 1990. – p. 336.
11. R. Bertnet Alcuni punti di vista teorici sui tannini in generale. Gambier, Mirabolano, Tara e Sommacco, *Cuoio, Pelli, Materie Concianti*, 2001, 4 (77), 159-165.

traditional chrome tanning: development of a pilot-scale process for high-quality bovine upper leather/ Vitolo S., Seggiani M., D'Aquino A. [та ін.] //Journal of the American Leather Chemists Association. – 2003. – Vol. 98. – №4. – p. 123-131.

13. Cavington A.D. High stability organic tanning using plant polyphenols. Part 1/ A.D. Cavington, B. Shi// Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. – 1998. – Vol. 82. – №2. – p. 64-71.

14. Алексеев В.Н. Количественный анализ. – М.: Химия, 1972. – С.488-489.

15. Бообекова С. Б., Кубаева Н. Б. Дериватограммы и ИК-спектры комплексов формиатов железа и никеля с аллофанамидом / VI Международная научно-практическая конференция «Современные инновации: тенденции и перспективы современной науки», 17 ноября 2016 // Современные инновации, №11 (13), 2016. – С.21-25.

12. Vitolo S., Seggiani M., D'Aquino A. [та ін.] Taraluminum tanning as an alternative to traditional chrome tanning: development of a pilot-scale process for high-quality bovine upper leather, *Journal of the American Leather Chemists Association*, 2003, 4 (98), 123-131.

13. A.D. Cavington, B. Shi. High stability organic tanning using plant polyphenols. Part 1, *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 1998, 2(82), 64-71.

14. Alekseev V.N. (1972) *Kolichestvennyi analiz. [Quantitative analysis]*. M.: Khimiia, 1972. – p.488-489. [in Russian].

15. Boobekova C. B., Kubaeva N. B. (2016) Derivatogrammy i IK-spektry kompleksov formiatov zheleza i nikelya s allofanamidom [Derivatograms and IR spectra of complexes of iron and nickel formates with allofanamide]. VI International Scientific and Practical Conference "Modern Innovations: Trends and Prospects of Modern Science". VI *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennye innovatsii: tendentsii i perspektivy sovremennoy nauki»*. *Sovremennye ynnovatsyy*, №11 (13), 21-25.

TARASENKO NATALIA

Researcher ID: J-7632-2017

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1062-5533>

Department of General and Inorganic Chemistry
of Igor Sikorsky National Technical University,
KNUTD's PhD student

KOLIADA MAKSYM

Scopus Author ID: 56502248300

Researcher ID: C-1352-2016

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4360-9556>
Department of Applied Ecology, Technology of Polymers
and Chemical Fibers,
Kyiv National University of Technologies and Design

RACHYNSKA OLHA

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3338-4437>
Department of Applied Ecology, Technology of Polymers
and Chemical Fibers,
Kyiv National University of Technologies and Design

PLAVAN VIKTORIIA

Scopus Author ID: 6603130130

Researcher ID: I-5852-2015

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9559-8962>

Head of Department of Applied Ecology,
Technology of Polymers and Chemical Fibers
Kyiv National University of Technologies and Design

BUDASH YURII

Scopus Author ID: 9134072100

Researcher ID: H-6012-2018

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8718-1577>
Prof. of Department of Applied Ecology, Technology of
Polymers and Chemical Fibers of the
Kyiv National University of Technologies and Design

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХЕМОСОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ
СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ Fe³⁺
ТАРАСЕНКО Н. В.^{1,2}, ПЛАВАН В. П.¹, БУДАШ Ю. А.¹, КОЛЯДА М. К.¹,
РАЧИНСКАЯ О. В.¹**

¹ Киевский национальный университет технологий и дизайна

² Национальный технический университет КПИ им. И. Сикорского

Цель. Целью работы является создание новых экологически безопасных комбинированных композиционных волокнистых материалов с сорбционными свойствами по отношению к ионам тяжелых металлов в сточных водах промышленных предприятий.

Методика. Для исследования сорбционной способности синтетических волокон по отношению к соединениям железа, аналитическими методами определяли содержание Fe^{3+} в модельных растворах железоаммонийных квасцов до и после обработки, рассчитывали степень отработки раствора, %; методом ИК-спектроскопии исследовали синтетические волокна до и после обработки таннидами тары и квебрахо, основным компонентом которых являются растительные полифенолы, и соединениями железа Fe^{3+} для определения механизма взаимодействия.

Научная новизна. Впервые определили, что взаимодействие Fe^{3+} с сорбентом вероятно происходит в результате образования химических связей с $-CO$ группами модифицированных полиамидных и полиуретановых волокон. Повышению эффективности такого взаимодействия способствует предварительное блокирование аминогрупп модифицированных полиамидных волокон, в частности в результате взаимодействия с растительными полифенолами.

Практическая значимость. Предложенный метод модификации волокнистых сорбентов базируется на обработке материала растворами таннидов различной природы, основным компонентом которых являются растительные полифенолы. Определили, что сорбционная способность волокнистого сорбента по отношению к Fe^{3+} после обработки таннидами тары при температуре 40 °C выше, чем после обработки таннидами квебрахо при аналогичных условиях. Обработка в течение первых четырех часов является наиболее эффективной. При этом степень истощения раствора железоаммонийных квасцов достигает 90 %. Полученный сорбент имеет такие преимущества как высокая сорбционная активность и способность к дальнейшей модификации, способы получения достаточно просты и дешевы, а возможность производства сорбента из вторичного сырья способствует решению проблемы утилизации отходов.

Ключевые слова: хемосорбционные свойства, волокнистые отходы, полиамидные волокна, полиуретановые волокна, растительные полифенолы, соединения железа, сточные воды.

STUDY OF THE FIBROUS SORBENTS CHEMOSORPTION PROPERTIES FOR THE WASTEWATER PURIFICATION FROM Fe^{3+} IONS

TARASENKO N.^{1,2}, PAVAN V.¹, BUDASH Yu.¹, KOLIADA M.¹,
RACHYNSKA O.¹

¹ Kyiv National University of Technologies and Design

² The National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Purpose. Create new eco-friendly composite fibrous materials with sorption properties in relation to heavy metal ions in wastewater of industrial enterprises.

Method. To study the sorption capacity of synthetic fibers with respect to iron compounds. By the analytical methods determined the content of Fe^{3+} in model solutions of ferric ammonium alum before and after treatment, calculated the degree of exhaustion solution, %; by means of IR-spectroscopy, synthetic fibers were investigated before and after treatment with vegetable polyphenols of Tara, Quebracho and Fe^{3+} compounds to determine the mechanism of interaction.

Scientific novelty. For the first time, it has been determined that the interaction of Fe^{3+} with the sorbent is likely to result from the chemical bonding of $-CO$ groups from modified polyamide and polyurethane fibers. Pre-blocking of amino groups of modified polyamide fibers, in particular because of interaction with vegetable polyphenols, contributes to the increase of the efficiency of such interaction.

Practical importance. The proposed method of modification of fibrous materials have based on the treatment of material with tannins solutions with different nature vegetable polyphenols. It was determined that the sorption capacity of the fiber sorbent in relation to Fe^{3+} after treatment with of Tara tannins at a temperature of 40°C is higher than after treatment with Quebracho tannins under similar conditions. Processing during the first four hours is most effective. In this case, the degree of exhaustion solution of ferric ammonium alum reaches 90 %. The obtained sorbent has such advantages as high sorption activity and the ability to further modify, the methods of production are quite simple and cheap, and the possibility of producing sorbent from secondary raw materials allows to solve the problem of waste disposal.

Keywords: chemisorption properties, fibrous waste, polyamide fibers, polyurethane fibers, vegetable polyphenols, iron compounds, wastewater.