

УДК 665.73:54-41

ТЕХНІКО-СТРАХОВА ОЦІНКА ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЕНТІВ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ

О. М. Калівощко, М. Ф. Калівощко

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: alek-k@ukr.net; m.f.kalivoshko@gmail.com.

Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.
Бібл. 21, табл. 4, рис. 1.

Анотація. Використання паливо-мастильних матеріалів в Україні зростає, що пов'язано, передусім, з стрімким збільшенням кількості транспортних засобів. Це призводить до збільшення шкідливих викидів, розливів та проливів нафтопродуктів, що негативно впливає на екологічний стан навколишнього середовища. Показано, що нафтопродукти, які використовуються в народному господарстві, потрапляючи в ґрунт та водне середовище забруднюють їх. Очищення ґрунтів і води залежить від вибору методів, технологій та прийомів. Особливої популярності набуває метод сорбції (поглинання). Сорбція, при відносно невисоких затратах, здатна забезпечити, повну очистку від нафтопродуктів. Обґрунтовано ефективність вуглецевих сорбентів отриманих методом карбонізації з вторинної продукції рослинного походження. Сировиною для отримання вуглецевих сорбентів можуть бути тирса, стружка, солома, стебел, полова, листя. Їх об'єми для синтезу вуглецевих сорбентів практично не обмежені. Висвітлено суть процесу отримання вуглецевих сорбентів на базі рослинної сировини. Подано фізико-хімічні та структурно-сорбційні характеристики рослинної сировини та отриманих з неї вуглецевих сорбентів. Розкрито екологічні та економічні переваги вуглецевих сорбентів для очищення від нафтопродуктів, в порівнянні з іншими методами очищення.

Ключові слова: вуглецеві сорбенти, довкілля, інфраструктура, екологічна безпека, економічні показники, карбонізація, нафтопродукти, сорбенти, сорбційна ємність.

Постановка проблеми

Нафтопродукти досить поширені забруднювачі біосфери. Як вказує [2], з загальної кількості нафтопродуктів, що виробляється, майже 2% потрапляє в навколишнє середовище. Небезпеку становлять не лише самі нафтопродукти, а також і домішки, які вони можуть містити. При потраплянні в ґрунт та воду, вони, в наслідок хімічних реакцій та біологічного перетворень, здатні перетворюватися в

токсичні речовини, що завдають шкідливого впливу біоті. Очищення ґрунту та води від нафтопродуктів методом сорбції екологічно та економічно вигідне. Особливої ролі та значення набувають вуглецеві сорбенти на основі рослинної сировини. Дослідження суті процесів карбонізації, коли сировиною являється побічна продукція рослинного походження, фізико-хімічних та сорбційних властивостей вуглецевих сорбентів, процесів сорбції ними нафтопродуктів, екологічної та економічної оцінки і аналізу вуглецевих сорбентів потребують подальшої уваги та досліджень.

Аналіз останніх досліджень

Водне та ґрунтове середовища надзвичайно складні природні комплекси з широким спектром взаємозв'язків та взаємовідносин між живими організмами та природним середовищем, що склалися в процесі еволюції. Вони невід'ємна частина біосфери в якій відбуваються багатосторонні, стабільні перетворення життя [12]. Широке застосування продуктів нафтопереробки свідомо чи несвідомо призвело до значного забруднення ними довкілля [2], що викликало значні екологічні зміни водного та ґрунтового середовища [1, 2, 9]. Нафтопродукти перетворилися в дієвих забруднювачів довкілля, в першу чергу ґрунту та води [1]. Очищення ґрунтових та водних екосистем методом сорбції не втратило своєї актуальності [13, 14]. Сорбенти як ефективні та безпечні засоби були, а в останні десятиліття набувають ще більшого застосування в усіх галузях народного господарства, в тому числі і для очистки ґрунтів і води від нафтопродуктів [3, 9]. Увага приділяється отриманню, будові, властивостям, застосуванню вуглецевим сорбентам з побічної продукції сільського та комунального господарства, деревообробної промисловості [5-8, 10, 11]. На високу ефективність, доступність, екологічну безпечність вуглецевих сорбентів, коли сировиною для їх отримання є різноманітна побічна продукція рослинного походження, що накопичується безпосередньо в процесі виробництва вказують [3-8, 10, 11, 15-21]. Проте, природу отримання сорбції, в

процесі перетворення побічної продукції рослинного походження, комплексне використання різних видів вуглецевих сорбентів для очищення водних і ґрунтових екосистем, їх сорбційну, екологічну і економічну характеристики та оцінку, недостатньо глибоко вивчено.

Мета досліджень

Метою досліджень стало вивчення: структурних, сорбційних, поглинальних та фізико-хімічних, властивостей рослинної сировини та отриманих з неї вуглецевих сорбентів; техніки, технологічних процесів та технологій при отриманні вуглецевих сорбентів з побічної продукції рослинного походження; повноти очищення, екологічної та економічної переваги використання вуглецевих сорбентів при очищенні водного середовища і ґрунтів від нафтопродуктів.

Результати досліджень

Тирсі дерев, що накопичується у деревообробній промисловості, соломі, полові, як вторинній продукції сільськогосподарського виробництва, листю дерев, притаманні сорбційні властивості. Вони можуть безпосередньо застосовуватися як сорбенти для очищення від забруднення нафтопродуктами ґрунту та водного середовища. За даними (табл. 1), структурні та фізико-хімічні характеристики, поглинальні та сорбційні властивості кращі у тирси деревини, що мала вологість 60%, а найгірші – у листя дерев. При очищення ґрунтів і води від нафтопродуктів, в разі використання сорбентів рослинного походження, необхідно, враховувати не лише їх високі сорбційні та поглинальні властивості, а також практичність у використанні. Тому листя дерев через те, що воно легко переноситься (зноситься) вітром, практично важко використовувати в реальних умовах.

Таблиця 1. Поглинальні та сорбційні характеристики побічної рослинної продукції при вологості 60%.

Table 1. Absorption and sorption characteristics of plant by-products at a humidity of 60%.

Показник	Тирса			Солома	Листя
	сосни	горіха	берези		
Нафтоємність, г/г	2,7	2,3	1,9	1,6	1,1
СОЕ, мг-екв/г	2,6	1,9	1,6	0,3	0,2
Vs (H ₂ O), см ³ /г	1,0	0,05	0,04	0,04	0,04
Vs (C ₆ H ₆), см ³ /г	0,0-0,07	0,03	0,03	0,03	0,2
S _{пит.} , м ² /г	8,4	7,9	7,9	7,3	6,2

За результати наших досліджень та інших дослідників [3, 4, 8], сорбенти мають високу ефективність, коли сорбційна ємність дорівнює 2-3 г мг-екв/г та більше. З таблиці 1 видно, що

повністю відповідає таким вимогам лише тирса сосни та до певної міри горіха. Виходячи з того, що тирса сосни має найкращі фізико-хімічні, сорбційну та поглинальні характеристики та властивості серед інших сорбентів рослинного походження, ми провели дослідження її нафтоємності, при розмірах фракцій 1-3 мм та вологості (табл. 2).

Таблиця 2. Залежність нафтоємності тирси сосни (фракція 1-3 мм) від її вологості.

Table 2. The dependence of the oil content of pine sawdust (fraction 1-3 mm) on its humidity.

№ п/п	Вихідні показники вологості тирси сосни	а, г/г
1	Просушена при 90-110°C до 15%	3,6
2	Вологість 60 %	2,7
Підвищена вологість:		
3	100%	1,3
4	200%	0,6
5	400%	0 (тоне у воді)

Як показують дані таблиці 2, сорбційна ємність тирси сосни дуже залежна від вологості. При вологості 60% її сорбційна ємність нафтопродуктів становить 2,7 г/г, а висушеної, при температурі 90-110°C, сягає вже – 3,6 г/г. Зростання вмісту води в тирсі сосни призводить до обернено пропорційного зниження її сорбційної ємності, опускаючись при 400% до нуля. Отже, можна зробити висновок, що тирсу сосни можна ефективно використовувати як сорбент нафтопродуктів при вологості, що не перевищує 60%.

Підвищити ефективність сорбційної здатності матеріалів рослинного походження можливо використовуючи процес карбонізації.

Карбонізація – прийом отримання вуглецевих сорбентів з рослинної сировини при нагріванні вихідної сировини понад 120°C.

Оскільки, вуглеводнева частина побічної продукції рослинної природи складається з геміцелюлози та целюлози, то при карбонізації відбуваються процеси деструкції полімерних ланцюгів з виділенням смолистих речовин складної будови та великої кількості летких сполук.

Процес карбонізації ми досліджували через кожні 50°C, в діапазоні від 100 до 500°C.

Нами встановлено, що процес карбонізації розпочинається при температурі 120-130°C. В межах температур 200-250°C ідуть головні реакції розпаду целюлози, а в діапазоні 250-300°C лігніну, що супроводжуються виділенням простих вуглецевих сполук (оксиду вуглецю і вуглекислого газу), зрідженої суміші та смол. Причому на різних стадіях процесу карбонізації величина енергії активації деструктивних перетворень змінюється, тому що у різних температурних діапазонах відбувається розклад різних компонентів рослинних тканин, геміцелюлози, потім целюлози і лігніну (табл. 3).

Таким чином, отримані результати вказують на складність процесу карбонізації. Цей процес, очевидно, складається з комплексу елементарних

радикальних реакцій, які мають різні кінетичні параметри.

Особлива роль при сорбції різного роду забруднювачів належить лігніну. Його вміст як у вихідній сировині рослинного походження, так і в отриманих вуглецевих сорбентах відіграє важливу роль в сорбційних характеристиках сорбентів.

Таблиця 3. Температурні зони деструкції компонентів рослинної тканини.

Table 3. Temperature zones of destruction of plant tissue components.

Компонент	Температура зони деструкції, °C	Температура максимуму швидкості розкладання, °C
лігнін початок розкладу	160	
активний розклад лігніну 1 стадія	280-325	310-320
активний розклад лігніну 2 стадія	325-460	350-360
геміцелюлоза	160-280	250-260
целюлоза	220-370	290-300

Дослідження процесу карбонізації тирси сосни дозволило встановити, що при кожній досліджуваній температурі процесу карбонізації має певне оптимальне значення її тривалості, при якому нафтоємність карбонізату є максимальною, що графічно показано на рисунку 1.

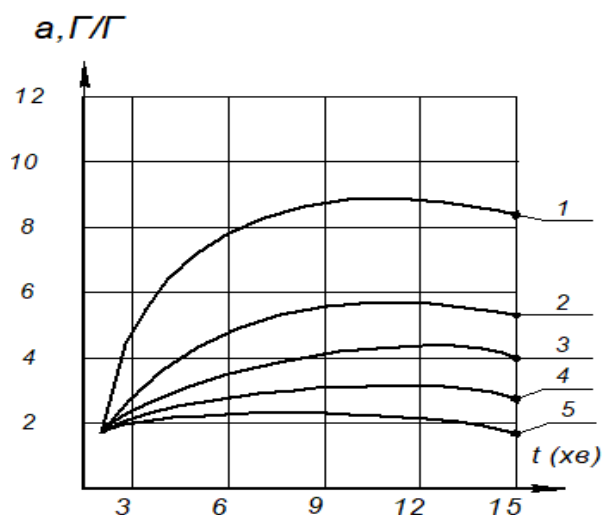


Рис. 1. Залежність величини нафтоємності вуглецевих сорбентів на основі рослинної сировини, при температурі карбонізації 300°C, від тривалості: 1 – тирса сосни, 2 – тирса горіха, 3 – тирса берези, 4 – солома, 5 – листя

Fig. 1. Dependence of the oil capacity value of carbon plant-based sorbents at a carbonization temperature of 300 °C, on the duration: 1 – pine sawdust, 2 – walnut sawdust, 3 – birch sawdust, 4 – straw, 5 – leaves.

Появу максимумів на рисунку 1 можна пояснити зміною пористої структури сорбентів та хімічними

перетвореннями поверхні вуглецевих матеріалів у процесі карбонізації.

Так, на початковій стадії процесу карбонізації тирси з різних порід дерев до 350°C, внаслідок вилучення вологи, летких простіших та смолистих складових, утворюються пори, що приводить до підвищення її сорбційної ємності нафтопродуктів до деякого максимального значення. При подальшій карбонізації (350-450°C), очевидно, відбувається вигорання вуглецю та, відповідно, збільшення кількості макропор, що змінює структуру карбонізаторів у сторону зменшення мікропористості. В соломі і листі дерев процеси карбонізації розпочинаються при температурі дещо нижчій і закінчуються до 300°C. Як бачимо, під впливом високих температур частково деградує пориста структура, що приводить до зниження сорбційної ємності карбонізату. Оптимальним режимом карбонізації тирси з різних порід дерев є 300 (± 10°C) та час 8-10 хвилин, а для соломи і листя дерев 250°C.

Як показали дослідження, отримані вуглецеві сорбенти, внаслідок карбонізації рослинної сировини, мають в декілька разів вищу нафтоємність та величину сорбції до нафтопродуктів, кращі фізико-хімічні показники, в порівнянні з вихідною продукцією (табл. 4). Слід відмітити, що у вуглецевих сорбентів з листя та соломи сорбційна ємність невисока і знаходиться в межах 0,3-0,5 мг-екв/г. Величина сорбції карбонізаторів з тирси горіха та берези знаходиться у діапазоні 1,9-2,2 мг-екв/г, а максимальна вона у тирси сосни та досягає 3,5 мг-екв/г. Слід звернути увагу на те, що нафтоємність вихідної сировини тирси дерев не дуже різнилася між собою. В той час як карбонізатор отриманий із тирси сосни має більшу ніж у 2 рази нафтоємність, в порівнянні з карбонізатами з тирси горіха та берези.

Таблиця 4. Поглинальні та сорбційні характеристики вуглецевих сорбентів із рослинної сировини, що мала вологість 60%

Table 4. Absorption and sorption characteristics of carbon sorbents from vegetable raw materials with a humidity of 60%

Показник	Тирса		
	сосни	горіха	берези
Нафтоємність, г/г	10,8	5,3	4,2
Vs (C ₆ H ₆), см ³ /г	0,09	0,05	0,04
Vs (H ₂ O), см ³ /г	0,12	0,09	0,07
COE, мг-екв/г	3,5	2,2	1,9
S _{пит} , м ² /г	12,8	9,7	9,6
Зольність, %	1	2,1	1

Показники сорбційної здатності вихідної рослинної сировини та вуглецевих сорбентів подані в таблицях 1 та 4 свідчать, що у процесі термічної обробки вона збільшується у півтора рази, а нафтоємності в 2,3-4,1 рази і становлять майже 11 г/г.

Важливе значення має оцінка фінансової та економічної доцільності використання сорбентів. При використанні побічної сировини рослинного походження в якості сорбентів, витрати при їх застосуванні, пов'язані з внесенням та збиранням.

Отримання вуглецевих сорбентів з побічної продукції рослинного походження ґрунтується на використанні процесів карбонізації, що обумовлено додатковими енергетичними витратами, а отже і здороженням сорбентів. Проте наші розрахунки показали, що внесення вуглецевих сорбентів більш доцільне ніж побічної сировини рослинного походження, з яких вони отримані. Карбонізовані вуглецеві сорбенти мають нафто ємністю у 3-4,1 рази вищу, в порівнянні з відповідними показниками вихідної сировини рослинного походження, тому їх вноситься відповідно в 3-4 рази менше, при тій самій сорбційній та нафто поглинальній ефективності. Фінансово-економічний аналіз застосування сорбентів показує, що витрати на використання побічної продукції рослинного походження як сорбентів вищі в порівнянні з вуглецевими сорбентами. Це обумовлено тим, що побічної продукції рослинного походження необхідно вносити і збирати в 3-4 рази більше, ніж відповідно вуглецевих сорбентів.

Внесення, а особливо збирання, сорбентів складний та, до певної міри, затратний процес. Процес карбонізації побічної сировини рослинного походження в 1,5-2 рази дешевший, ніж відповідне внесення та збирання в 3-4 рази більшої маси (об'єму) сорбентів. Крім того, при використанні побічної продукції рослинного походження, в якості сорбентів, необхідно їх мати в 3-4 рази більше, що на практиці не завжди буває можливим. Побічна продукція рослинного походження, в залежності від технологій, часто використовується як джерело енергії, при отриманні вуглецевих сорбентів, що здешевлює їх виробництво. Процес утилізації більшої маси сорбентів потребує додаткових витрат та пов'язаний з екологічними наслідками.

Висновки

1. Карбонізацію побічної рослинної продукції доцільно проводити при температурі в межах 200-300°C на протязі 8-10 хв., що підвищує поглинальні та структурно-сорбційні характеристики вуглецевих сорбентів.

2. Вуглецеві сорбенти отримані в процесі карбонізації мають сорбційну ємність у 1,5 рази, а нафто ємність у 2,3-4,1 рази вищу в порівнянні з відповідними показниками вихідної продукції рослинного походження.

3. Вуглецеві сорбенти отримані з тирси сосни мають у 1,5-4 рази вищі сорбційні характеристики в порівнянні з карбонізатами отриманими з тирси горіха і берези, соломи та листя дерев.

4. Застосування вуглецевих сорбентів фінансово-економічно та екологічно більш доцільно, ніж безпосередньо побічної продукції рослинного походження.

Список літератури

1. Hassan A. Review of the global oil and gas industry: a concise journey from ancient time to modern

world. *Petroleum Technology Development Journal*. 2019. Vol. 3(2). P. 123-141.

2. Diemer R. Transport in the European Union – current trends and issues. *Mobility and Transport*. 2019. Vol. B-1049. P. 143-191.

3. Cruz J. F., Matejova L., Pirilä M., Ainassaari K., Canepa C., Mousavi S. M. A comparative study on activated carbons derived from a broad range of agro-industrial wastes in removal of large-molecular-size organic pollutants in aqueous phase (water, air, and soil pollution). *Water Air and Soil Pollution*. 2015. Vol. 226(11). P. 213-235. doi 10.1007/s11270-015-2540-1.

4. Morteza A., Mohammad Reza Masnavi M. R., Khalighi N. Use of natural purification of water cycle and water management as a solution towards eco-design. *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society*. 2012. Vol. 7. P. 6-18. doi 10.1007/978-94-007-3010-6_18.

5. Koumanova B. Fate of chemicals in the aquatic environment. *Chemicals as Intentional and Accidental Global Environmental Threats*. 2016. Vol. XVIII. P. 93-103.

6. Azat S., Pavlenko V. V., Kerimkulova A. R., Mansurov Z. A. (2012). Synthesis and structure determination of carbonized nano mesoporous materials based on vegetable raw materials. *Advanced Materials Research*. 535. 1041-1045. doi 10.4028/www.scientific.net/AMR.535-537.1041.

7. Pinchevska O., Sedliačik J., Horbachova O., Spirochkin A., Rohovskyi I. Properties of hornbeam (*Carpinus betulus*) wood thermally treated under different conditions. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 2019. Vol. 61(2). P. 25-39. doi: 10.17423/afx.2019.61.2.03.

8. Ngene S., Tota-Maharaj K., Eke P., Hills C. Environmental and economic impacts of crude oil and natural gas production in developing countries. *International Journal of Economy, Energy and Environment*. 2016. Vol. 1(3). P. 64-73. doi 10.11648/j.ijee.20160103.13.

9. Sun Y., Webley P. A. Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. *Chemical Engineering Journal*. 2010. Vol. 162(3). P. 883-892.

10. Mohan D., Pittman C. U., Steele P. H. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy and Fuels*. 2006. Vol. 20(3). P. 848-889.

11. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P. Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 57(1). P. 141-146.

12. Ahmad F., Daud W. W., Ahmad M. A., Radzi R. Shell-based activated carbon by CO₂ activation in removing of cationic dye from aqueous solution: kinetics and equilibrium studies. *Chemical Engineering Research and Design*. 2012. Vol. 90(10). P. 1480-1490.

13. Nieto-Delgado C., Rangel-Mendez J. R. In situ transformation of agave bagasse into activated carbon by use of an environmental scanning electron microscope. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2013. Vol. 167. P. 249-253.

14. Haiping Y., Yan R., Chen H., Zheng C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel Journal*. 2007. Vol. 86(12-13). P. 1781-1788. doi 10.1016/j.fuel.2006.12.013.
15. Widner K., Naisse C., Rumpel C., Glaser B. Chemical modification of biomass residues during hydrothermal carbonization. *Organic Geochemistry*. 2013. Vol. 54. P. 91-100. doi 10.1016/j.orggeochem.2012.10.006.
16. Coq L. L., Duga A. Syngas treatment unit for small scale gasification-application to IC engine gas quality requirement. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 2012. Vol. 5(1). P. 95-103.
17. Dias J. M., Alvim-Ferraz M., Almeida M. F., Rivera-Utrilla J., Sánchez-Polo M. Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review. *Journal of Environmental Management*. 2007. Vol. 85(4). P. 833-846.
18. Klavins M., Porshnov D. Development of a new peat-based oil sorbent using peat pyrolysis. *Environmental Technology*. 2013. Vol. 34(9-12). P. 1577-1582. doi 10.1080/09593330.2012.758668.
19. Kovalenko O., Novoseltseva V., Kovalenko N. Biosorbents – prospective materials for heavy metal ions extraction from wastewater. *Food Science and Technology*. 2018. Vol. 12(1). P. 118-122. doi 10.15673/fst.v12i1.841.
20. Rogovskii I. L., Kalivoshko O. M., Maksimovich K. Yu., Maksimovich E. Yu. Research of mixed carbon sorbents for removal of oil products from water and soil for preservation of environmental infrastructure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 720. P. 012108. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012108>.
21. Rogovskii I. L., Kalivoshko S. M., Voinash S. A., Korshunova E. E., Sokolova V. A., Obukhova I. A., Kebko V. D. Research of absorbing properties of carbon sorbents for purification of aquatic environment from oil products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 548. P. 062040. doi:10.1088/1755-1315/548/6/062040.
1. Hassan A. (2019). Review of the global oil and gas industry: a concise journey from ancient time to modern world. *Petroleum Technology Development Journal*. 3(2). 123-141.
2. Diemer R. (2019). Transport in the European Union – current trends and issues. *Mobility and Transport*. B-1049. 143-191.
3. Cruz J. F., Matejova L., Pirilä M., Ainassaari K., Canepa C., Mousavi S. M. (2015). A comparative study on activated carbons derived from a broad range of agro-industrial wastes in removal of large-molecular-size organic pollutants in aqueous phase (water, air, and soil pollution). *Water Air and Soil Pollution*. 226(11). 213-235. doi 10.1007/s11270-015-2540-1.
4. Morteza A., Mohammad Reza Masnavi M. R., Khalighi N. (2012). Use of natural purification of water cycle and water management as a solution towards eco-design. *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society*. 7. 6-18. doi 10.1007/978-94-007-3010-6_18.
5. Koumanova B. (2006). Fate of chemicals in the aquatic environment. *Chemicals as Intentional and Accidental Global Environmental Threats*. XVIII. 93-103.
6. Azat S., Pavlenko V. V., Kerimkulova A. R., Mansurov Z. A. (2012). Synthesis and structure determination of carbonized nano mesoporous materials based on vegetable raw materials. *Advanced Materials Research*. 535. 1041-1045. doi 10.4028/www.scientific.net/AMR.535-537.1041.
7. Pinchevska O., Sedliačik J., Horbachova O., Spirochkin A., Rohovsky I. (2019). Properties of hornbeam (*Carpinus betulus*) wood thermally treated under different conditions. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 61(2). 25-39. doi: 10.17423/afx.2019.61.2.03.
8. Ngene S., Tota-Maharaj K., Eke P., Hills C. (2016). Environmental and economic impacts of crude oil and natural gas production in developing countries. *International Journal of Economy, Energy and Environment*. 1(3). 64-73. doi 10.11648/j.ijeee.20160103.13.
9. Sun Y., Webley P. A. (2010). Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. *Chemical Engineering Journal*. 162(3). 883-892.
10. Mohan D., Pittman C. U., Steele P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy and Fuels*. 20(3). 848-889.
11. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P. (2019). Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH Agricultural Engineering*. 57(1). 141-146.
12. Ahmad F., Daud W. W., Ahmad M. A., Radzi R. (2012). Shell-based activated carbon by CO₂ activation in removing of cationic dye from aqueous solution: kinetics and equilibrium studies. *Chemical Engineering Research and Design*. 90(10). 1480-1490.
13. Nieto-Delgado C., Rangel-Mendez J. R. (2013) In situ transformation of agave bagasse into activated carbon by use of an environmental scanning electron microscope. *Microporous and Mesoporous Materials*. 167. 249-253.
14. Haiping Y., Yan R., Chen H., Zheng C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel Journal*. 86(12-13). 1781-1788. doi 10.1016/j.fuel.2006.12.013.
15. Widner K., Naisse C., Rumpel C., Glaser B. (2013). Chemical modification of biomass residues during hydrothermal carbonization. *Organic Geochemistry*. 54. 91-100. doi 10.1016/j.orggeochem.2012.10.006.
16. Coq L. L., Duga A. (2012). Syngas treatment unit for small scale gasification-application to IC engine gas quality requirement. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 5(1). 95-103.
17. Dias J. M., Alvim-Ferraz M., Almeida M. F., Rivera-Utrilla J., Sánchez-Polo M. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review. *Journal of Environmental Management*. 85(4). 833-846.

References

18. Klavins M., Porshnov D. (2013). Development of a new peat-based oil sorbent using peat pyrolysis. *Environmental Technology*. 34(9-12). 1577-1582. doi 10.1080/09593330.2012.758668.

19. Kovalenko O., Novoseltseva V., Kovalenko N. (2018). Biosorbents – prospective materials for heavy metal ions extraction from wastewater. *Food Science and Technology*. 12(1). 118-122. doi 10.15673/fst.v12i1.841.

20. Rogovskii I. L., Kalivoshko O. M., Maksimovich K. Yu., Maksimovich E. Yu. (2021). Research of mixed carbon sorbents for removal of oil products from water and soil for preservation of environmental infrastructure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 720. 012108. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012108>.

21. Rogovskii I. L., Kalivoshko S. M., Voinash S. A., Korshunova E. E., Sokolova V. A., Obukhova I. A., Kebko V. D. (2020). Research of absorbing properties of carbon sorbents for purification of aquatic environment from oil products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 548. 062040. doi:10.1088/1755-1315/548/6/062040.

ТЕХНИКО-СТРАХОВАЯ ОЦЕНКА УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

А. Н. Каливошко, Н. Ф. Каливошко

Аннотация. Использование горюче-смазочных материалов в Украине увеличивается, что связано, прежде всего, со стремительным увеличением количества транспортных средств. Это приводит к увеличению вредных выбросов, разливов и проливов нефтепродуктов, что оказывает вредное влияние на внешнюю среду. Показано, что нефтепродукты, которые используются в народном хозяйстве, попадая в почву и воду, загрязняют их. Очистка почвы и воды зависит от выбора методов, технологий и приемов. Особую популярность приобретает метод сорбции (поглощения). Сорбция, при относительно не высоких затратах, способна обеспечить, полную очистку от нефтепродуктов. Обосновано эффективность углеродных сорбентов полученных методом карбонизации вторичной продукции растительного происхождения. Сырьем для получения углеродных сорбентов могут быть опилки, стружка, солома, стебли, солома, листья. Их объемы для синтеза углеродных сорбентов практически не ограничены. Освещено суть процесса получения углеродных сорбентов на базе растительного сырья. Представлены физико-химические и структурно-сорбционные характеристики растительного сырья, а также полученных с него углеродных сорбентов. Раскрыты экологические и экономические преимущества углеродных сорбентов для очистки от нефтепродуктов в сравнении с другими методами очистки.

Ключевые слова: углеродные сорбенты, внешняя среда, инфраструктура, экологическая безопасность, экономические показатели, карбонизация, нефтепродукты, сорбенты, сорбционная емкость.

TECHNICAL AND INSURANCE EVALUATION OF CARBON SORBENTS ON BASIS OF VEGETABLE RAW MATERIALS FOR PURIFICATION OF PETROLEUM PRODUCTS

O. M. Kalivoshko, M. F. Kalivoshko

Abstract. The use of fuels and lubricants in Ukraine is rising, primarily due to a rapid growth in the number of vehicles. This results in an increase in harmful emissions, flowout and spills of petroleum products, which negatively affects the ecological condition of the environment. It is revealed that oil products used in the national economy, getting into the soil and aquatic environment pollute them. Soil and water purification depends on the choice of methods, technologies and techniques. The method of sorption (absorption). Sorption, at relatively low cost, is able to provide complete purification from petrochemicals. The efficiency of carbon sorbents obtained by carbonization from secondary products of plant origin is substantiated. Raw materials for production of carbon sorbents can be sawdust, shavings, straw, stems, chaff, leaves. Their quantity for the synthesis of carbon sorbents is practically unlimited. The essence of the process of obtaining carbon sorbents on the basis of plant raw materials is highlighted. The physicochemical and structural sorption characteristics of plant raw materials and carbon sorbents obtained from it are presented. Advantages of carbon sorbents for purification from oil products in comparison with other purification methods are revealed.

Key words: carbon sorbents, environment, infrastructure, ecological safety, economic indicators, carbonization, oil products, sorbents, sorption capacity.

О. М. Калівошко ORCID 0000-0003-0417-4529.

М. Ф. Калівошко ORCID 0000-0001-8450-940X.