

УДК 665.73:54-41

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ТИРСИ РІЗНИХ ПОРІД ДЕРЕВ ЯК СОРБЕНТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ

О. М. Калівоско, М. Ф. Калівоско

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 – квітень 2021, акцептовано – серпень 2021, опубліковано – 30 вересня 2021 року.
Бібл. 22, рис. 4, табл. 3.

Анотація. В роботі проаналізовано екологічний стан довкілля, в зв'язку з забрудненням його паливно-мастильними матеріалами (через проливи та виливи), а також наслідки викликані їх накопиченням в ґрунті та воді. Показано, що нафтопродукти, які потрапляють в ґрунт та водне середовище можуть суттєво забруднювати їх. Дана оцінка засобам, методам та технологіям очищення ґрунтового і водного середовища від нафтопродуктів та продуктів їх розкладання. Обґрунтовано доцільність очищення забруднень методом сорбції, як ефективного, простого, доступного прийому, коли при невеликих затратах, в якості сорбуючого матеріалу використовується тирса різних порід дерев. Подано фізико-хімічні, структурні, поглинальні та сорбційні характеристики тирси різних порід дерев, їх переваги та ефективність, в порівнянні з іншими сорбентами рослинного походження, при використанні для очищення ґрунтового і водного середовища. Розкрито екологічні та економічні переваги очищення ґрунтового і водного середовища від нафтопродуктів тирсою різних порід дерев, в порівнянні з іншими методами очищення.

Ключові слова: довкілля, екологічна безпека, економічні показники, нафтопродукти, сорбенти, сорбційна ємність, тирса.

Постановка проблеми

Нафтопродукти, через широке розповсюдження та використання, часто потрапляють в довкілля [1-3]. Вони та їх продукти розпаду можуть суттєво забруднювати навколишнє середовище [4]. Небезпеку для довкілля представляють та завдають негативного впливу біоті як нафтопродукти [5], так їх шкідливі та токсичні речовини [6], що утворюються в результаті хімічних і біологічних перетворень [7]. Очищення від нафтопродуктів ґрунтів [8] та води методом сорбції екологічно ефективно [9], доступно [10] та економічно доцільно [11]. Особливої ролі, значення та поширення набувають сорбенти рослинного походження [12]. Дослідження суті процесів сорбції, коли сорбентами являється побічна продукція рослинного походження

не втратили своєї актуальності [13]. Вивчення фізико-хімічних [14], структурних [15], поглинальних [16] та сорбційних [17] властивостей тирси різних порід дерев як сорбентів [18], процесів сорбції ними нафтопродуктів [19], екологічної, виробничої та економічної оцінки і аналізу результатів їх ефективності [20], потребують подальшої уваги [21], обґрунтувань та пропозицій [22].

Аналіз останніх досліджень

Через широке застосування продуктів нафтопереробки, значна їх кількість потрапляє в довкілля та спричиняє суттєві екологічні зміни водного та ґрунтового середовища [1, 2, 10]. Нафтопродукти стали розповсюдженими, дієвими та небезпечним забруднювачем навколишнього середовища [5, 7]. Очищення ґрунтових та водних екосистем від нафтопродуктів методом сорбції не втратило своєї актуальності та значення [14, 15]. Завдяки практичності, ефективності і безпечності сорбенти були, а в останні десятиліття набувають ще більшого поширення та використання в усіх галузях народного господарства, в тому числі і для очищення від нафтопродуктів ґрунтів і води [8, 9, 12]. Досліджується будова, властивості, ефективність застосування сорбентів рослинного походження [3, 4, 5, 6, 11, 13]. Слід відзначити, що фізико-хімічні, структурні, поглинальні та сорбційні характеристики та ефективність тирси різних порід дерев, як сорбентів, для очищення водних і ґрунтових екосистем, їх екологічну і економічну оцінку, недостатньо глибоко та повно вивчено.

Мета досліджень

Метою наших досліджень стало вивчення: фізичних, хімічних структурних, сорбційних та поглинальних властивостей тирси різних порід дерев; техніки, технологічних процесів та технологій її застосування; повноти очищення, екологічної та економічної переваги використання тирси різних порід

дерев, при очищенні водного середовища і ґрунтів від нафтопродуктів, в порівнянні з іншими методами.

Результати досліджень

За результатами наших досліджень та інших дослідників, тирса різних порід дерев має кращі сорбційні властивості, в порівнянні з іншими сорбентами рослинного походження [3, 4, 6]. Наші дослідження фізико-хімічних, структурних, поглинальних та сорбційних характеристик та ефективності тирси найбільш поширених порід дерев, показують (табл. 1), що вони суттєво різняться між собою. Як видно з (табл. 1), найвищі вони у тирси сосни, дещо поступаються їм тирса граба, а найнижчі – у тирси берези. Тирса горіха та осики займають, відповідно, проміжне положення.

Таблиця 1. Поглинальні та сорбційні характеристики тирси різних порід дерев при природній (в межах 70%) вологості.

Table 1. Absorption and sorption characteristics of sawdust of various tree species under natural (within 70%) humidity.

Показники	Сосна	Горіх	Береза	Осина	Граб
Нафтоємність, г/г	2,3	1,9	1,5	1,7	2,1
СОЄ, мг-екв/г	2,4	1,8	1,5	1,7	2,2
Vs (H ₂ O), см ³ /г	0,09	0,04	0,03	0,04	0,06
Vs (C ₆ H ₆), см ³ /г	0,06	0,02	0,02	0,02	0,04
S _{пит.} , м ² /г	8,0	7,5	7,5	7,5	7,5

Вже при незначному зниженні вологи тирси всіх порід дерев, коли вологість знижується з 70-80% до 50-60%, як видно з (табл.2), всі структурні та фізико-хімічні характеристики, поглинальні та сорбційні властивості суттєво підвищуються. Причому нафтоємність та сорбційна ємність тирси сосни і граба значно перевищують дві одиниці.

Таблиця 2. Поглинальні та сорбційні характеристики тирси найбільш поширених порід дерев при вологості 50-60%.

Table 2. Absorption and sorption characteristics of sawdust of most common tree species at a humidity level of 50-60%.

Показники	Сосна	Горіх	Береза	Осина	Граб
Нафтоємність, г/г	2,7	2,3	1,9	2,1	2,4
СОЄ, мг-екв/г	2,6	1,9	1,6	1,7	2,2
Vs (H ₂ O), см ³ /г	1,0	0,05	0,04	0,04	0,06
Vs (C ₆ H ₆), см ³ /г	0,07	0,03	0,03	0,03	0,04
S _{пит.} , м ² /г	8,4	7,9	7,9	7,9	8,0

Оцінка поглинальної здатності нафтопродуктів матеріалами рослинного походження, проведена нами та іншими дослідниками [3, 4, 8], показує, що сорбенти можна ефективно використовувати, коли їх сорбційна

ємність знаходиться в межах 2-3 мг-екв/г та більше. З таблиць 1 та 2 видно, що таким вимогам, повністю відповідають, тирса сосни та граба до певної міри горіха. Через підвищений вміст смолистих речовин, тирса сосни має найкращі фізико-хімічні, структурні, сорбційну та поглинальні характеристики та властивості серед інших порід дерев. Тирсу сосни та граба, а при їх відсутності горіха, можна безпосередньо на місцях їх виробництва, застосовуватися як сорбенти для очищення від забруднення нафтопродуктами ґрунтів та водного середовища. Проте, тирса при природній вологості, через підвищену вологість, навіть у приміщеннях, що мають добру вентиляцію, погано зберігається. Вона швидко псується бактеріальними мікроорганізмами та грибовими представниками, тому її практично важко тривалий час зберігати. Тирсу, що має вологість 50-60% при належній вентиляції приміщень та догляду при зберіганні можна певний час зберігати.

Як показують наші дослідження, між поглинальною та сорбційною ємністю тирси всіх видів дерев та вологістю спостерігається обернено пропорційна залежність (табл. 1,2,3). Коли ми висушили тирсу всіх досліджуваних порід дерев, при температурі в межах 100°C, її сорбційні показники зросли більше ніж в 1,5 рази, в порівнянні з аналогічними характеристиками при вологості 70%. Поглинальні та сорбційні властивості такої тирси всіх порід дерев характеризуються досить високими показниками, особливо у тирси сосни, сорбційна ємність якої досягає майже чотирьох одиниць. Її, в першу чергу, слід застосовувати при очищенні при забрудненнях. При відсутності тирси сосни, можна використовувати, в таких випадках, як сорбент, тирсу інших порід дерев, але передусім граба. Причиною зростання сорбційних показників тирси досліджуваних порід дерев, мабуть, слід вважати, випаровування вологи з мікропор, що збільшує площу їх активної поверхні. Такі тирси мають вологість в межах 15%, добре зберігаються тривалий час, мають добрі сорбційні і поглинальні показники та властивості, а тому можуть широко використовуватися для сорбції нафтопродуктів.

Таблиця 3. Поглинальні та сорбційні характеристики тирси найбільш поширених порід дерев висушеної при 90-110 °C.

Table 3. Absorption and sorption characteristics of sawdust of most common tree species dried at 90-110 °C.

Показники	Сосна	Горіх	Береза	Осина	Граб
Нафтоємність, г/г	3,7	3,2	2,8	3,0	3,4
СОЄ, мг-екв/г	2,9	2,1	1,8	1,9	2,5
Vs (H ₂ O), см ³ /г	1,0	0,05	0,04	0,04	0,06
Vs (C ₆ H ₆), см ³ /г	0,07	0,03	0,03	0,03	0,04
S _{пит.} , м ² /г	9,2	8,7	8,2	8,3	8,8

Основна характеристика, яка нас цікавить з точки зору оцінки сорбційної здатності тирси різних порід дерев, які можуть використовуватися в якості сорбентів при очищенні від нафтопродуктів являється

їх поглинальна здатність (активність). Вона залежить від багатьох факторів: як від особливостей самих взаємодіючих компонентів, що приймають участь в перетвореннях, так і від зовнішніх умов, які складаються під час процесу сорбції. Досить важливим показником є швидкість процесів поглинання, так як його необхідно враховувати при розробці технології ліквідації екологічних наслідків від розливів нафтопродуктів. Викликає зацікавленість дослідження активності тирси різних порід дерев, ще й тому, що об'єкт дослідження (тирса), має однакову природу походження з деревини.

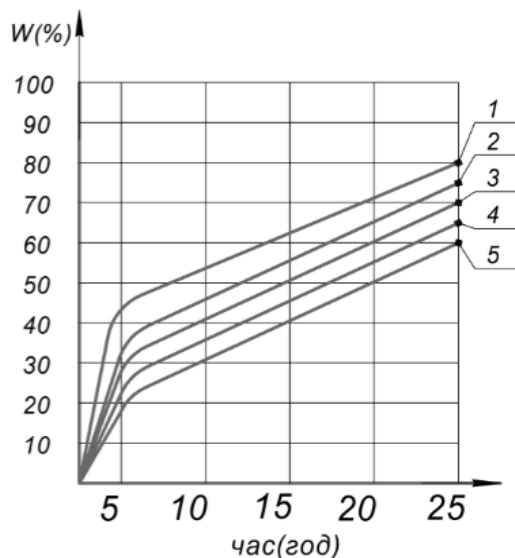


Рис. 1. Кінетика процесу поглинання дизельного пального тирсою різних порід дерев: 1 – сосна; 2 – граб; 3 – горіх; 4 – осика; 5 – береза.

Fig. 1. The absorption kinetics of diesel fuel by sawdust of various tree species: 1 – pine; 2 – hornbeam; 3 – walnut; 4 – aspen; 5 – birch.

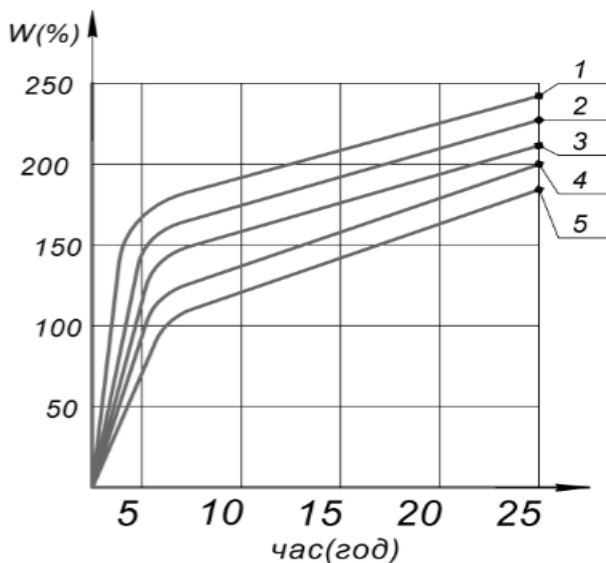


Рис. 2. Кінетика процесу поглинання бензину тирсою різних порід дерев: 1 – сосна; 2 – граб; 3 – горіх; 4 – осика; 5 – береза.

Fig. 2. The absorption kinetics of petrol by sawdust of various tree species: 1 – pine; 2 – hornbeam; 3 – walnut; 4 – aspen; 5 – birch.

Кінетику протікання процесу поглинання тирсою різних порід дерев досліджували для дизельного пального та бензину (рис. 1, рис. 2).

Звертає на себе факт великої швидкості насичення тирси всіх порід дерев бензином, порівняно з дизельним паливом. Це передусім пов'язано з відносно високою в'язкістю останнього, що особливо проявляється у процесі заповнення закритих мікропор та каналів невеликих розмірів, а також природою вихідної деревини. Тирса сосни містить в своєму складі більше смолистих речовин, а граба велику кількість мікропор, тому вони мають найвищі поглинальні властивості, а також активність поглинання. Найнижча активність виявилася у тирси берези, проміжне положення займає тирса горіха та осики. Слід відзначити, що процеси поглинання тирсою різних порід дерев як бензину, так і дизельного пального відбуваються з однаковою послідовною закономірністю в часі. Причому, через 25 годин поглинання сорбентами нафтопродуктів, процес їх сорбції ще повністю не закінчується, хоча він підходить майже до завершення.

Виконаний нами аналіз характеру поглинання нафтопродуктів тирсою різних порід дерев вказує, що на кінетику і рівновагу процесів поглинання суттєво впливає вологість сорбенту. На рисунку 3 демонструється вплив вологості – W_L тирси різних порід дерев на їх поглинальну здатність – v_L , в відношенні до дизельного пального при температурі 20°C. Спостерігається протилежна залежність між поглинаючою здатністю, що викликано, напевно, передусім, різною природою молекул води (полярні молекули) і молекул дизельного пального (неполярні молекули) та вуглеводневою частиною тканин деревини. Що стосується впливу вологості тирси на особливості поглинання, дизельного пального в залежності від породи дерев, то вона корелює з загальною тенденцією їх нафто та сорбійною ємністю.

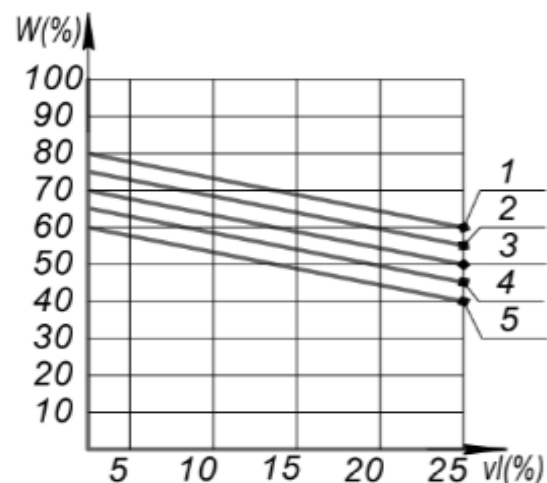


Рис. 3. Вплив вологості на поглинаючу здатність тирси різних порід дерев дизельного пального: 1 – сосна; 2 – граб; 3 – горіх; 4 – осика; 5 – береза

Fig. 3. Influence of humidity on the absorption of diesel fuel by sawdust of various tree species: 1 – pine; 2 – hornbeam; 3 – walnut; 4 – aspen; 5 – birch

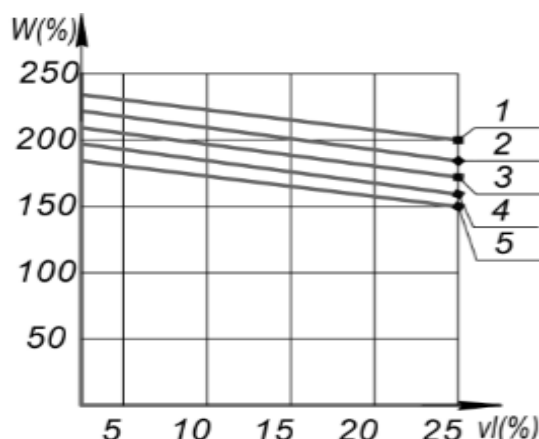


Рис. 4. Вплив вологості на поглинаючу здатність тирси різних порід дерев бензину: 1 – сосна; 2 – граб; 3 – горіх; 4 – осика; 5 – береза.

Fig. 4. Influence of humidity on the absorption of petrol by sawdust of various tree species: 1 – pine; 2 – hornbeam; 3 – walnut; 4 – aspen; 5 – birch.

Аналіз впливу вологості на поглинальну здатність різних порід дерев, в відношенні до бензину (рис. 4), при температурі 20°C, показує, що у всіх випадках підвищення вологості викликає суттєве зниження їх поглинальної здатності. Це пов'язано з перешкодами, які виникають на шляху руху бензину у вологих порах і капілярах, заповненням капілярів і пор водою, що зменшує їх об'єм для заповнення та площу поверхні при сорбції і співпадає з попередніми спостереженими тенденціями та процесами до дизельного пального.

Висновки

1. Тирсу сосни та граба, а при їх відсутності горіха, можна безпосередньо з місць їх виробництва, застосовувати як сорбенти для очищення від забруднення нафтопродуктами ґрунтів та водного середовища.

2. Найвищі поглинальні та сорбційні властивості та характеристики, має тирса сосни, дещо поступається їй тирса граба, а найнижчі відповідні показники у тирси берези.

3. Просушену тирсу, при температурі 90-110°C, всіх видів дерев, можна використовувати для очищення ґрунтів і води при забрудненні нафтопродуктами та зберігати необмежений час.

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.
22. Kalivoshko O. M., Kalivoshko M. F. Technical and insurance evaluation of carbon sorbents on basis of vegetable raw materials for purification of petroleum products. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 2. P. 83-88. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy> 2021.02.083.
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., Rohovskyi I. (2019). Properties of hornbeam (*Carpinus betulus*) wood thermally treated under different conditions. *Acta Facultatis Xylologiae 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.
18. Klavins M., Porshnov D. (2013). Development of a new peat-based oil sorbent using peat pyrolysis.

References

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., Pírlä 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.

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.

22. Kalivoshko O. M., Kalivoshko M. F. (2021). Technical and insurance evaluation of carbon sorbents on basis of vegetable raw materials for purification of petroleum products. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(2). 83-88. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy> 2021.02.083.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПИЛОК РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДЕРЕВЬЕВ КАК СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

А. Н. Каливошко, Н. Ф. Каливошко

Аннотация. В работе проанализировано экологическое состояние внешней среды, в связи с загрязнением ее горюче-смазочными материалами (из-за проливов и выливаний), а также последствия обусловленные их накоплением в почве и воде. Показано, что нефтепродукты, которые попадают в почву и водную среду могут существенно загрязнять их. Дана оценка средствам, методам, технологиям очистки почвенной и водной среды от нефтепродуктов и продуктов их распада. Обосновано целесообразность очистки загрязнений методом сорбции, как эффективного, простого и доступного приема, когда при небольших расходах, в качестве сорбционного материала используются опилки разных пород деревьев. Подано физико-химические, структурные, поглощающие и сорбционные характеристики опилок разных пород деревьев, их преимущества и эффективность, в сравнении с другими сорбентами растительного происхождения, при использовании для очистки почвенной и водной среды. Раскрыто экологические и экономические преимущества очистки почвенной и водной среды от нефтепродуктов опилками разных пород деревьев, в сравнении с другими методами очистки.

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

TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF SAWDUST OF VARIOUS TREE SPECIES AS SORBENTS FOR REMOVING OIL PRODUCT

O. M. Kalivoshko, M. F. Kalivoshko

Abstract. The work analyses the ecological state of the environment when its contaminated with fuels and lubricants (through spills and flows), as well as the consequences that are caused by their accumulation in soil and water. As it has been shown, oil products that enter the soil and water environment can significantly pollute them. An assessment is given to the means, methods and technologies for cleaning the soil and water environment from petroleum products and their decomposition products. The feasibility of cleaning up by the method of sorption is substantiated as an effective, simple, affordable method, when at low cost sawdust of various types of trees is used as a sorbed material. The physicochemical, structural, absorbing and sorption properties of sawdust of various tree species, their advantages and effectiveness in comparison with other sorbents of plant origin, for cleaning up soil and water environment are presented. It has been revealed the ecological and economic advantages of cleaning the soil and water environment from oil products with sawdust of various tree species in comparison with other methods of cleaning.

Key words: carbon sorbents, environment, ecological safety, economic indicators, oil products, sorbents, sorption capacity, sawdust/

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

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