



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291329>

УДК 628.16

ВИРОБНИЦТВО І МОДИФІКАЦІЯ АКТИВОВАНОГО БІОВУГІЛЛЯ З ЛОКАЛЬНО-ДОСТУПНОЇ БІОМАСИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Олексій ТОМІН

незалежний дослідник, м. Еспо, Фінляндія

e-mail: tomin.oleksii@ukr.net

Коли проблемні забруднювачі, такі як нутрієнти, природні органічні речовини (ПОР) або барвники, знаходяться в поверхневих водах, з'являється необхідність у додаткових методах очищення води, щоб зменшити їхній шкідливий вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище [1]. ПОР безпосередньо впливає на якість процесу очищення води, сприяючи забрудненню мембран та конкуруючи з видаленням інших забруднюючих речовин [2]. Додатковий етап, такий як адсорбція, часто виконується як метод третинного очищення для видалення такого забруднення. Процес адсорбції широко використовується для більш повного очищення питної води. Традиційно адсорбцію зазвичай проводять активованим вугіллям (АВ). Однак АВ не можна вважати екологічно чистим матеріалом. Активоване вугілля здебільшого виготовляється з кам'яного вугілля, видобуток і транспортування якого до кінцевих споживачів має значний вуглецевий слід [3]. Таким чином, біологічне АВ (БАВ), вироблене з локально-доступної, місцевої біомаси, стає все більш популярним як заміник традиційного АВ [4].

Подібно до АВ, БАВ є результатом термічної обробки сировини в середовищі з обмеженим вмістом кисню (піролізу), отже БАВ є відносно простим і економічно ефективним у виробництві. Перевагами БАВ, окрім місцевої доступності та відновлюваного походження сировини, є висока питома поверхня та пористість. Крім того, після використання у очищенні води, відпрацьований БАВ може бути використаний як вторинний матеріал, наприклад, як добриво [5]. Однак найбільшою, але маловивченою перевагою БАВ є можливість задавання їх кінцевих властивостей під час виробництва. Параметри виробництва, метод активації або тип біомаси впливають на кінцеві властивості БАВ. Таким чином, контролюючи температуру піролізу та метод активації, можна створювати специфічні сорбенти для покращеного видалення цільових забруднюючих речовин.

БАВ можна виробляти з багатьох типів біомаси, таких як водорості, рисове лушпиння, кістки тварин, тощо. Наприклад, останні дослідження демонструють ефективне видалення антибіотиків [6] або важких металів [7] за допомогою БАВ, виробленими з місцевої біомаси. Тим не менш, найпоширенішими джерелами біомаси є побічні продукти лісового господарства та сільського господарства [8]. Щодо варіативності способів виробництва БАВ, поширеними методами є швидкий, повільний та мікрохвильовий піроліз [9]. Температура піролізу є одним із ключових факторів, що визначає властивості БАВ. Тоді як низькотемпературний (200-300 °С) піроліз призводить до пористого БАВ з низьким вмістом кисню та водню, високі температури (600-800 °С) призводять до збільшення площі поверхні та гідрофобності [10]. Виробництво може включати стадію активації, яка може бути фізичною

або хімічною. Фізична активація збільшує пористість за допомогою високих температур в окисному середовищі. Переважними агентами активації, які використовуються для такого методу, є CO₂ або водяна пара [9]. При хімічній активації біомаса реагує з хімічним активатором - кислотою, лугом або сіллю, під час термічної обробки. Хімічна активація покращує властивості БАВ шляхом окислення його поверхні та введення функціональних груп у його структуру. Створені функціональні групи полегшують специфічні взаємодії на поверхні адсорбенту, наприклад π-π взаємодії, полярні/електростатичні взаємодії, тощо. Такі взаємодії покращують ефективність адсорбції забруднюючих речовин із води [11].

Останніми роками виробництво та активація БАВ широко вивчалася для застосувань БАВ у очищенні води. Тим не менш, досі відсутні фундаментальні та систематичні знання про вплив типу біомаси та умов активації на кінцеві властивості адсорбенту [12]. В літературі бракує знань щодо створення селективних вуглецевих адсорбентів за допомогою модифікації БАВ і механізм створення таких адсорбентів недостатньо досліджений. Це дослідження має на меті частково заповнити цю прогалину в знаннях.

За основу цього дослідження взято припущення що властивості БАВ можна змінювати та проектувати за допомогою контролю параметрів виробничого процесу для створення БАВ для конкретних цільових застосувань. Ілюстрацію цієї гіпотези можна знайти на рис. 1. Іншими словами, створення певної структури пор і хімічного складу поверхні БАВ є процесом вибору правильної процедури виробництва. Правильна процедура виробництва дозволяє створити БАВ з покращеними властивостями для адсорбції певного цільового забруднювача, що робить БАВ селективним.



Рис.1. Ілюстрація гіпотези, синя та зелена лінії представляють можливі шляхи вибору параметрів виробництва та результати цього вибору

У цьому дослідженні БАВ був вироблений з тирси – простої та доступної деревної біомаси. Спочатку біомасу було карбонізовано за допомогою низькотемпературного піролізу (300 °C). Потім отримане БАВ активували двома різними хімічними речовинами – хлоридом заліза та міді (мокре просочення). Нарешті, активований БАВ повторно піролізували високотемпературним піролізом (800 °C). Отримані зразки БАВ було названо вугілля активоване залізом (ВАЗ) і вугілля активоване міддю (ВАМ). Окремо було створено БАВ за тією ж схемою але без додавання активаційного агента, як зразок для порівняння – не активоване вугілля (НАВ). Для ідентифікації селективності було проведено тест з використанням природної озерної води, забрудненої органічними сполуками і фосфором. Для цього певну кількість БАВ помістили у розчин і залишили на шейкері на дві години. Після

проходження заданого часу БАВ було відфільтровано з розчину. Тест було виконано з трьома репліками.

Результати дослідження представлені на рис. 2а. ВАЗ було спроможне видалити 86 % фосфору і лише 8 % органічних речовин. Грунтуючись на отриманому результаті можна сказати що ВАЗ проявило селективність до фосфору. Крім того, окремою перевагою модифікацію БАВ за допомогою солі заліза є магнітні властивості такого вугілля (рис. 2б). Магнітні властивості спрощують видалення вугільного порошку з води. ВАЗ, що адсорбував фосфати, можна згодом вторинно використовувати як добриво повільної дії, тим самим регенеруючи фосфор, який є вичерпним ресурсом.

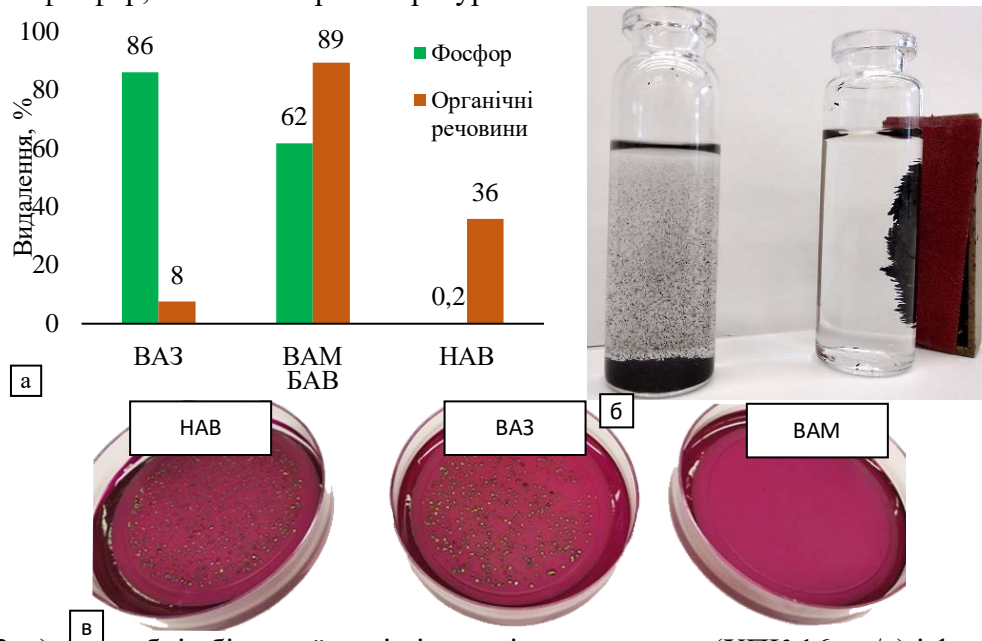


Рис.2. а) Адсорбція бінарної суміші органічних речовин (ХПК 16 мг/л) і фосфору (10 мг/л); б) Магнітні властивості ВАЗ; в) Дослідження інактивації E-coli бактерій на НАВ, ВАЗ і ВАМ

ВАМ видалило до 90 % органічних речовин з розчину і 62 % фосфору. Отже результат протилежний порівняно з ВАЗ. ВАМ має гірші показники адсорбції фосфору але натомість селективний до органічних сполук. Додатковою властивістю ВАМ є значний антимікробний ефект, що підтверджує дослідження на бактеріях E-coli (рис. 4).

В свою чергу зразок НАВ показав неспроможність у адсорбції фосфору, але за рахунок пористості, отриманої за високої температури піролізу, видалив з розчину 36% органічних сполук. При цьому, з Таблиці 1 видно, що питома поверхня НАВ найбільша серед отриманих зразків БАВ, за рахунок того що кристали активаційних агентів займають місце у порах і зменшують питому поверхню ВАЗ і ВАМ.

Отримані результати підтверджують гіпотезу щодо модифікації БАВ і можливості впровадження необхідних властивостей, таких як селективність, у БАВ в процесі виробництва. Порівняння модифікованих БАВ з НАВ виявило, що хоча НАВ мало більшу площу питомої поверхні, ніж ВАЗ і ВАМ, воно не було спроможне до адсорбції. Таким чином, площа поверхні не є ключовим фактором адсорбції цільових забруднювачів, але БАВ повинен мати відповідні функціональні групи (такі як оксид заліза чи міді) на своїй поверхні для комплексоутворення з забруднюючими речовинами.

Таблиця 1. Основні характеристики поверхні БАВ

Зразок	Питома поверхня, м ² /г	Об'єм пор, см ³ /г	Розмір пор, нм
BA3	101	0.28	12.2
BAМ	98	0.11	4.3
BAВ	570	0.29	2.3

Наведений вище приклад модифікації БАВ є частиною великого дослідження з створення, модифікації і використання БАВ для конкретних цілей. На поточному етапі дослідження вже було порівняно як змінюватися адсорбційна здатність і властивості БАВ, виробленого за аналогічних умов виробництва, але з різної біомаси, за різних методів активації, за різних температур, тощо. Наступними етапами дослідження буде використання модифікованих БАВ у пілотному масштабі і оптимізація процесу. Модифікований БАВ з деревної біомаси буде вироблятися у великих масштабах у повномасштабній печі та використовуватися в пілотній колоні безперервного потоку для очищення озерної води. Пілотний проект включає порівняння ефективності адсорбції виробленого БАВ з кількома іншими конвенційними АВ, які існують на ринку.

Література:

- [1] T. Rasheed, M. Bilal, F. Nabeel, M. Adeel, and H. M. N. Iqbal, "Environmentally-related contaminants of high concern: Potential sources and analytical modalities for detection, quantification, and treatment," *Environ. Int.*, vol. 122, pp. 52–66, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.envint.2018.11.038.
- [2] A. Matilainen, M. Vepsäläinen, and M. Sillanpää, "Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 159, no. 2, pp. 189–197, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.cis.2010.06.007.
- [3] M. H. Kim, I. T. Jeong, S. B. Park, and J. W. Kim, "Analysis of environmental impact of activated carbon production from wood waste," *Environ. Eng. Res.*, vol. 24, no. 1, pp. 117–126, 2019, doi: 10.4491/eer.2018.104.
- [4] S. Wu and H. Wu, "Incorporating Biochar into Wastewater Eco-treatment Systems: Popularity, Reality, and Complexity," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 53, no. 7, pp. 3345–3346, Apr. 2019, doi: 10.1021/acs.est.9b01101.
- [5] Y. Zheng *et al.*, "Reclaiming phosphorus from secondary treated municipal wastewater with engineered biochar," *Chem. Eng. J.*, vol. 362, pp. 460–468, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.cej.2019.01.036.
- [6] X. Fan, Z. Qian, J. Liu, N. Geng, J. Hou, and D. Li, "Investigation on the adsorption of antibiotics from water by metal loaded sewage sludge biochar," *Water Sci. Technol.*, no. wst2020578, Dec. 2020, doi: 10.2166/wst.2020.578.
- [7] H. Deng *et al.*, "Removal of Zn(II), Mn(II) and Cu(II) by adsorption onto banana stalk biochar: adsorption process and mechanisms," *Water Sci. Technol.*, vol. 82, no. 12, pp. 2962–2974, Nov. 2020, doi: 10.2166/wst.2020.543.
- [8] M. Tripathi, J. N. Sahu, and P. Ganesan, "Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, pp. 467–481, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.122.
- [9] A. K. Sakhiya, A. Anand, and P. Kaushal, "Production, activation, and applications of biochar in recent times," *Biochar*, vol. 2, no. 3, pp. 253–285, Sep. 2020, doi: 10.1007/s42773-020-00047-1.
- [10] H. S. Kambo and A. Dutta, "A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 45, pp. 359–378, May 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.01.050.
- [11] W. Gwenzi, N. Chaukura, C. Noubactep, and F. N. D. Mukome, "Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision," *J. Environ. Manage.*, vol. 197, pp. 732–749, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.jenvman.2017.03.087.
- [12] X. Tan *et al.*, "Biochar as potential sustainable precursors for activated carbon production: Multiple applications in environmental protection and energy storage," *Bioresour. Technol.*, vol. 227, pp. 359–372, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2016.12.083.