

17. Nyzhnyk T., Mahlova T., Strikalenko T. e. a. Experimental study of the hydrodynamically reagent for energy saving. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 2025, 26(6), P. 29–36
18. Maglyovana T. e. a. Analysis of the possibility of environmental risk management by using innovative water treatment technology. *Sciences of Europe (Prague, Czech Republic)*. 2021. No 85. Vol. 1. P. 29-39

БІОЕКОНОМІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ШКІРЯНОЇ ГАЛУЗІ

*Туркот Катерина Володимирівна¹
Мокроусова Олена Романівна^{1,2}*

¹*Державний торговельно-економічний університет, Україна, Київ, k.turkot@knu.edu.ua*

²*Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, Київ, olenamokrousova@gmail.com*

Сучасні напрями біоекономічних перспектив розвитку європейського Союзу в 2021 році були запропоновані у звіті «Форсайт-сценарій для біоекономіки ЄС у 2050 році: майбутній перехід біоекономіки до сталого розвитку та кліматично нейтральної економіки» [1]. Основними завданнями стратегій біоекономічного розвитку ЄС стали: сталий розвиток, кліматична нейтральність, інклюзивність в економічних і соціальних реаліях країн-членів ЄС [1, 2].

В Україні біоекономічна стратегія розвитку окреслюється та реалізується повільними темпами, характеризуючись, переважно, фрагментарним характером. Перспективними галузями в економіці України для реалізації біоекономічних стратегій є сільське господарство, легка промисловість та біоенергетика. В зв'язку з цим, цілеспрямована політика розвитку біоекономіки в Україні, підтримка промислового сектору може стати рушійною силою у сталому розвитку національної економіки [2].

Шкіряна промисловість України є стабільною складовою галузі легкої промисловості, підґрунтям для чого є наявність сировинних вітчизняних ресурсів, розвиток тваринництва, фермерського господарства тощо [2, 3].

Шкіряне виробництво передбачає послідовне виконання різноманітних рідинних та механічних обробок сировини і напівфабрикату. При цьому в технологічних процесах використовують суттєву кількість різноманітних ресурсів: повітря, воду, хімічні матеріали, біологічно-активні сполуки тощо [2]. З однієї тони шкур отримують приблизно 150-200 кг готової шкіри, а також близько 750-850 кг твердих відходів. Щороку світова шкіряна галузь генерує значну долю рідких та твердих відходів [2, 3]. Серед твердих відходів утворюється близько 200 кг відходів дубленої шкіри та 250 кг недублених відходів, які створюють велику економічну та екологічну проблему для довкілля. Встановлено [2], що склад твердих відходів шкіряного виробництва, які утворюються під час процесів виробництва шкіри, включає солі, відходи волосся, обрізь голину та шкіряну, стружку, пил тощо. Також, під час очистки стічних вод шкіряного виробництва утворюються осади (шлами, мул) та інші тверді відходи [3]. Самим простим способом поводження з твердими відходами шкіряної промисловості є їх розміщення на сміттєзвалищах. Продукти гниття білоквісних та жироквісних відходів шкіряного виробництва порушують баланс «грунт та/або водні ресурси» навколишнього середовища [2]. У зв'язку з цим світова шкіряна галузь змушена шукати способи повторного використання відходів, що утворюються в процесі виробництва шкіри на різних стадіях технологічних процесів, або започатковувати способи

їх утилізації [3]. Відомі способи використання тверди відходів у виробництві таких матеріалів, як клей, желатин, білковий корм для домашніх тварин тощо. Сучасні продукти переробки колагенвмісних відходів, а саме, екстрагований колаген, пептиди, амінокислоти, отримані із відходів шкіряного виробництва активно використовуються в косметології, біофармацевтиці, ранозагоювальних матеріалах тощо [4]. Наприклад, перспективним є спосіб отримання екстрагованого колагену з колагенвмісних відходів після підготовчих процесів переробки шкіряної сировини [4]. Постадійна та триразова обробка подрібнених відходів оцтовою кислотою у присутності етилендіамінтетраоцтової кислоти та наступне осадження білка хлоридом натрію продемонструвала ефективний спосіб екстрагування колагену. Найбільшу кількість колагену було отримано з колагенвмісних відходів після першого та другого екстрагування. Отриманий колаген класифіковано як тип I та чистий. Отриманий екстрагований колаген як біополімер може повторно бути використаний в технології виробництва шкіри або як самостійна матриця у створенні біоматеріалів та лікувальних препаратів [4].

Після рідинних процесів переробки сировини з кожної тони акумулюється близько 50-150 м³ стічних вод та 500 кг мулу [5]. Враховуючи, що на кожен тону сирих шкур шкіряно галузь використовується приблизно 30–40 м³ води, з яких 35 % йде під час промивання, а 55 % використовується під час рідинних процесів чи механічних операцій, можна спрогнозувати рівень забруднення водних ресурсів навколишнього середовища [2, 5]. Загалом відомо про щорічне утворення близько 600 млн м³ стічних вод шкіряних виробництв за світовим обсягом. Стічні води шкіряних заводів є одними з найбільш забруднюючих серед промислових відходів шкіряної промисловості.

Різноманітні хімічні сполуки (кислоти, луги, солі хрому, дубильні речовини, розчинники, сульфідні, барвники тощо), які використовуються в переробці шкіряної сировини для отримання шкір повністю не фіксуються в дермі, що провокує підвищення рівня біологічного та хімічного споживання кисню, загальної кількості розчинених твердих та завислих речовин. Встановлено, що хімічні сполуки, які практично не піддаються утилізації зі стічних вод, утворюються під час хромового дублення [3].

Сучасні методи перетворення рідких відходів шкіряного виробництва на енергію є перспективними, економічно вигідними та технологічно можливими. Підґрунтям для цього є присутність в них органічних речовин з оптимальним масовим співвідношенням C : N та їх рідкий агрегатний стан [5].

Виробництво біоенергетичних продуктів у вигляді біогазу з біомаси набуло значного поширення в багатьох країнах. Прогресивні країни ЄС для вирішення питань ресурсозбереження та кліматичної нейтральності впроваджують технології виробництва відновлювальних джерел енергії. Для шкіряної галузі відкривається практична перспектива біоекономічної стратегії використання відходів через реалізацію принципу «переробка відходів→виробництво енергії». Отже, відходи шкіряного виробництва є потенційним сировинним ресурсом для виробництва біоенергії та здатні сприяти вирішенню екологічних та соціальних питань.

Стічні води шкіряних підприємств є потенційним джерелом виробництва біогазу, але основними проблемами їх ефективної метанізації є високий вміст азоту та наявність речовин, що не піддаються біологічному розкладанню (сполуки Cr, Al танідів та інше)[6]. Для посилення продуктивності зброджування запроваджені технології додавання ферментів. Відомо [7] напрями спільного використання шламу, мулу або концентрованих стічних вод шкіряних підприємств як субстрату для зброджування й отримання біогазу. Під час процесу спільного зброджування рекомендують додавати також ліпазу для покращення стадії гідролізу та сповільнення анаеробного зброджування, що сприяє збільшенню кількості отриманого біогазу на ~ 15%, а період зброджування скорочується на ~ 30% [8].

Встановлено [9], що попередня обробка осаду шкіряних підприємств ферментами для анаеробного зброджування збільшує вихід біогазу.

Перспективним спрямуванням є дослідження впливу озонування [10] для підвищення хімічної потреби в розчинному кисні, враховуючи, що гідроліз осаду потребує більш тривалого часу відстоювання. Озонування для розчинення клітин і гідролізу осаду стічних вод шкіряних підприємств руйнує клітинну стінку та активізує виробництво біогазу.

Активно досліджуються напрями комплексних технологій зброджування. Встановлено зростання ефективності отримання біогазу при спільному зброджуванні відходів шкіряного підприємства та коров'ячого гною при масовому співвідношенні 70:30% (коров'ячий гній до осаду шкіряного заводу) [10]. Спільне зброджування осаду стічних вод та інших відходів шкіряного або харчового виробництва є альтернативним сировинним джерелом отримання біогазу. Зазначені відходи можна використовувати безпосередньо на шкіряних заводах як джерело тепла або для виробництва електроенергії [8-11]. Доведено доцільність комбінування вихідної сировини та оптимізовано параметри виробництва біогазу, згідно яких осади стічних вод шкіряного підприємства використовують спільно з іншими видами біомаси: мікродоростями та волосяним покривом великої рогатої худоби. Спільне зброджування шкіряних відходів та стружки з мікродоростями підвищує ефективність виробництва біогазу. У цьому випадку швидкість виробництва біогазу збільшується із збільшенням співвідношення C: N [12].

Загалом, продемонстровано, що біоекономічні стратегії розвитку України, гармонізовані із планами ЄС, можуть бути ефективно вирішені розвитком та впровадженням технологій переробки відходів шкіряної галузі. Тверді та рідкі відходи шкіряного виробництва містять активні складові, в тому числі білокмісні та жиромісні, що відкриває можливості для біоенергетичних розробок та створенні препаратів для фармацевтичної, біотехнологій та промислової складової економіки України.

Список використаних джерел

1. European Commission. Foresight Scenarios for the EU Bioeconomy in 2050.
2. Жалдак М.П., Полюга В.О., Мокроусова О.Р. Запровадження принципів сталої біоекономіки у переробці сировини біогенного походження. Зелена трансформація та стала біоекономіка: моногр. Київ: КНУТД, 2024. С. 383-415.
3. Kanagaraj J., Panda Rames C., Kumar Vinodh M. Trends and advancements in sustainable leather processing: Future directions and challenges—A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2020. 8, 5. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104379>
4. Maistrenko L., Iungin O., Pikus P., Pokholenko I., Gorbatiuk O., Moshynets O., Okhmat O., Kolesnyk T., Potters G., Mokrousova O. Collagen Obtained from Leather Production Waste Provides Suitable Gels for Biomedical Applications. *Polymers*. 2022. 14(21). 4749. <https://doi.org/10.3390/polym14214749>
5. Мокроусова О. Р., Охмат О. А., Маріїн Д. В., А. Кулик А., Сакалова Г. В. Утилізація осадів стічних вод шкіряної промисловості. енергетичні перспективи, *Вісник ВІІІ*, вип. 1, Лют. 2025. с. 51–57. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-178-1-51-57>
6. Korol R., Sakalova H. Methanogenesis of waste in technical systems as an energy conservation factor. *Personal. Environ. Is.*, 2022, no.2, P. 22-25. URL: [https://doi.org/10.31652/2786-6033-2022-1\(2\)-22-25](https://doi.org/10.31652/2786-6033-2022-1(2)-22-25).
7. Li Y., Park S.Y., Zhu J. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 2010, Vol.15, no.1, P. 821-826. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.201007042>.

8. Golub N.B., Shinkarchuk M.B., Shynkarchuk A.V., Xinhua Zh. Y., Kozlovets O. A. Vulnerabilities in the Production of Biogas from the Fat-Containing Tannery Waste. *Innov Biosyst Bioeng.* 2019. Vol.3, no.4, P. 253-260. URL:<https://doi.org/10.20535/ibb201934185425>.
9. Agustini C.B., Da Fontoura J.T., Mella B., Gutierrez M. Evaluating co-substrates to supplement biogas production from tannery solid waste treatment– cattle hair, microalgae biomass, and silicone. *Biofuels. Bioprod. Biorefin.*, 2018, Vol.12, no.6, P.1095-1102. URL:<https://doi.org/10.1002/bbb.1929>.
10. Md. Abdul Moktadir, Jingzheng Ren, Jianzhao Zhou A systematic review on tannery sludge to energy route: Current practices, impacts, strategies, and future directions. *Science of the Total Environment.* 2023. no. 901, P.901166244. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166244>.
11. Muralidharan V., Palanivel S., Balaraman M., Turning problem into possibility: a comprehensive review on leather solid waste intra-valorization attempts for leather processing. *J. Clean. Prod.* 2022. no.367, P.133021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133021>.
12. Kameswari SB.K., Kalyanaraman C., Porselvam S., Thanasekaran K. Enhancement of biogas generation by addition of lipase in the co-digestion of tannery solid wastes. *Clean Soil Air Water.* 2011. no.20, P.100040. <https://doi.org/10.1002/clen20100040>

**ФОТОХІМІЧНА ТА ФОТОКАТАЛІТИЧНА ДЕСТРУКЦІЯ ПАРАЦЕТАМОЛУ
У ВОДІ РІЗНИМИ ОКИСНИКАМИ ПІД ДІЄЮ УФ-ВИДИМОГО СВІТЛА**
Швадчина Ю.О., Вакуленко В.Ф.

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, м. Київ
yu.shvadchina@ukr.net

Вступ. Одночасно з розвитком фармацевтичної індустрії, зростанням об'ємів виробництва та розширенням асортименту фармацевтичних препаратів все частіше фіксується присутність залишків ліків та їх метаболітів в навколишньому середовищі, зокрема, у воді. Так широкий діапазон концентрацій (від десятків нг/дм³ до десятків мкг/дм³) одного з найпоширеніших анальгетиків і жарознижуючих засобів - парацетамолу, був виявлений у водах різного призначення. Максимальна концентрація парацетамолу (ПЦ) в поверхневих водах досягає ~ 100 мкг/дм³, що в десять разів перевищує прогнозований параметр концентрації без ефекту (predicted noneffect concentration parameter (PNEC)), який становить 9,2 мкг/дм³ [1]. Враховуючи токсичність ПЦ та його деяких більш токсичних, ніж він сам, метаболітів для людини та інших форм життя [2, 3], вкрай важливо знизити присутність цього препарату в різних водних екосистемах. Вдосконалені процеси окиснення (AOPs), зокрема, класичний процес фото-Фентона, здатний забезпечити глибоку деструкцію (мініралізацію) багатьох екотоксикантів. Сучасною стратегією щодо розширення можливостей недорогого, простого в експлуатації та ефективного процесу фото-Фентона є використання замість пероксиду водню інших окисників, зокрема, персульфату натрію, який, активуючись під дією джерел випромінювання, генерує потужні сульфат-радикали з перспективними для цього процесу властивостями: меншою залежністю від рН реакції та більш високими окисним потенціалом і коефіцієнтом екстинкції в УФ-А області, порівняно з пероксидом водню, що робить його застосування привабливою альтернативою.