

УДК 663.52

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ СПИРТОВИХ ВИРОБНИЦТВ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ТА РОЗШИРЕННЯ СИРОВИННОЇ БАЗИ

Грушецький Р. І., д.т.н., с.н.с., гол. наук. співробітник
відділу технології продуктів бродіння
<https://orcid.org/0000-0002-1513-4015>

Данілова К. О., к.т.н., с.н.с., вчена секретарка
<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>

Гріненко І. Г., д.т.н., с.н.с., заст. зав.
відділу технології цукру, цукровмісних продуктів і інгредієнтів
<https://orcid.org/0000-0002-7832-7578>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-06>

Предмет. Різноманітна сировина для одержання спирту, відходи спиртового виробництва – післяспиртова барда і стічні води. **Мета.** Аналітичне дослідження проблем і визначення можливостей покращення екологізації спиртового виробництва за рахунок розширення сировинної бази з урахуванням зміни кліматичних умов. **Методи.** Інформаційна база дослідження – наукові статті у вітчизняних та закордонних виданнях, інформаційні електронні ресурси. **Результати.** Аналізуючи ситуацію, що склалася в спиртовій галузі, а саме: високі коефіцієнти використання енергії і води, велика кількість відходів, зокрема, післяспиртової барди, що без ретельної очистки спричиняє забрудненість стічних вод, стає очевидним, що екологізація спиртових підприємств є важливою і актуальною. Причому, при вирішенні цієї задачі важливу роль відіграє сировина. У зв'язку із глобальним потеплінням клімату варто більше уваги привернути до посухостійких культур, які призначені до вирощування в зоні підвищених температур. До таких культур відноситься цукрове сорго, батат, топінамбур тощо. При проектуванні спиртових заводів варто приймати до уваги відстань до сировинної бази для зниження логістичного навантаження. При виборі технологічної схеми переробки необхідно використовувати ефективні способи очистки стоків і застосовувати ті, що дають можливість користуватися альтернативною енергією (біогаз), а також очищати, охолоджувати і повторно використовувати воду в межах виробництва. Очищення стічних вод варто проводити максимально екологічними методами, до яких відносять біологічні методи і фіторе mediaцію, для реалізації якої використовують біологічні водоймища. **Сфера застосування результатів.** Одержані результати можуть слугувати підґрунтям при розробленні методів екологізації спиртової промисловості.

Ключові слова: спиртове виробництво, екологізація, післяспиртова барда, фіторе mediaція, очистка стічних вод

SOME ASPECTS OF THE ECOLOGIZATION OF ALCOHOL INDUSTRIES IN MODERN CONDITIONS AND EXPANSION OF THE RAW MATERIAL BASE

Roman Grushetskiy, D-r of sc., Senior Researcher,
Chief Researcher of Department of fermentation product technology
<https://orcid.org/0000-0002-1513-4015>

Kateryna Danilova, PhD, Technics, Senior Researcher, scientific secretary
<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>

Irina Grinenko, D-r of sc., Senior Researcher,
Deputy Head of Department of Sugar Technology, Sugar Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0002-7832-7578>
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. Various raw materials and waste of alcohol production – distillery stillage and wastewater. **Purpose** An analytical study of problems and identification of opportunities for improving the ecologization of alcohol production, taking into account changing climatic conditions. **Methods.** The information base of the study is scientific articles in domestic and foreign publications, information electronic resources. **Results.** Analyzing the situation in the alcohol industry, namely: high energy and water consumption rates, a large amount of waste, in particular, distillery stillage, which without

thorough treatment causes wastewater pollution, it becomes obvious that the ecologization of alcohol enterprises is important and relevant. Moreover, raw materials play an important role in solving this problem. Due to global warming, it is worth paying more attention to drought-resistant crops that are accustomed to growing in a zone of elevated temperatures. Such crops include sugar sorghum, sweet potatoes, Jerusalem artichoke, etc. When designing alcohol plants, it is worth taking into account the distance to the raw material base to reduce the logistical load. When choosing a technological scheme for processing, it is necessary to use effective methods of wastewater treatment and apply those that make it possible to use alternative energy (biogas), as well as purify, cool and reuse water within the production. Wastewater treatment should be carried out using the most environmentally friendly methods, which include biological methods and phytoremediation, for the implementation of which biological reservoirs are used. **Scope of results.** The results obtained can serve as a basis for developing methods for greening the alcohol industry.

Key words: alcohol production, ecologization, distillery stillage, phytoremediation, wastewater treatment.

Постановка проблеми. Очікується, що ринок етанолу суттєво розшириться в найближчі роки. Зокрема, обсяг світового ринку етанолу в минулому році становив 103,62 мільярда доларів США, по розрахункам в 2024 році буде становити 109,11 мільярда доларів США, і очікується, що він досягне приблизно 182,88 мільярда доларів США до 2034 року, збільшуючись із середньорічним темпом зростання на 5,3% з 2024 по 2034 рік [1].

У найбільш вигідній позиції будуть компанії з інтегрованими виробничими установками, які пропонують різноманітні сорти спирту, а також ті, які суттєву увагу приділяють питанням захисту довкілля. Зокрема, які мають замкнутий цикл виробництва та застосовують альтернативні джерела енергії, утилізацію CO₂, виробництво органічних добрив з відходів. Цей комплексний підхід не тільки максимізує прибутковість, але й прокладає шлях до більш стійкої та енергоефективної промисловості етанолу.

Варто зазначити, що виробництво етанолу, як і інших міцних алкогольних напоїв, є самими енерго- і водозатратними в індустрії бродильних виробництв [2] (рис. 1 і 2).

Як видно із наведених діаграм, якщо тенденція використання води є більш менш стабільною, то використання енергії суттєво варіюється по роках. Коефіцієнт використання води останнім часом знижується.

Енергозбереження є однією з головних проблемою в спиртовій промисловості. Багато компаній почали впроваджувати енергозберігаючі заходи, такі як встановлення енергозберігаючих систем освітлення та опалення та використання відновлюваних джерел енергії. Деякі пивоварні та лікєро-горілчані заводи навіть перейшли на біопаливо для своїх котлів і парогенераторів. Це не тільки допомагає знизити викиди діоксиду вуглецю, але й зменшити залежність від викопного палива [3].

Але найбільшу увагу останнім часом надають проблемам збереження води. Основним процесом, що потребує використання великої кількості води при виробництві етилового спирту є дистиляція. Саме охолодження та очищення є двома найбільшими факторами споживання води під час цього процесу. Щоб отримати один літр вина потрібно 870 літрів води. На виробництво одного літра пива витрачається 298 літрів, одного літра спирту – 170 л води. У світовій практиці використовують різноманітні методи для зменшення витрат води. Суттєвим кроком для зменшення використання води може бути встановлення на місці очищення стічних вод замкнутих систем охолодження з виявленням витоків, а також методи хімічного впливу, такі як сухий лід або озон [4].

Але питання збереження води стосується не лише самого виробництва, але й вирощування сільськогосподарської сировини. Крім того, зміна клімату загрожує зривом поставок сільськогосподарської продукції [5].

Тому актуальним є питання пошуків перспективних видів сировини, яка забезпечує максимальну урожайність в сучасних кліматичних умовах.

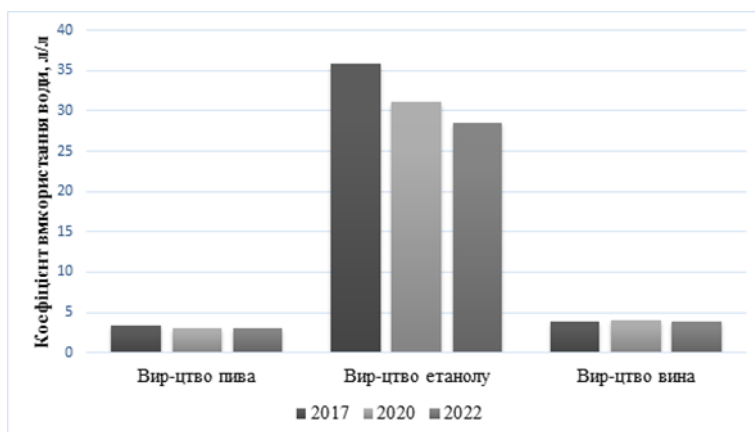


Рис. 1. Коефіцієнт використання води

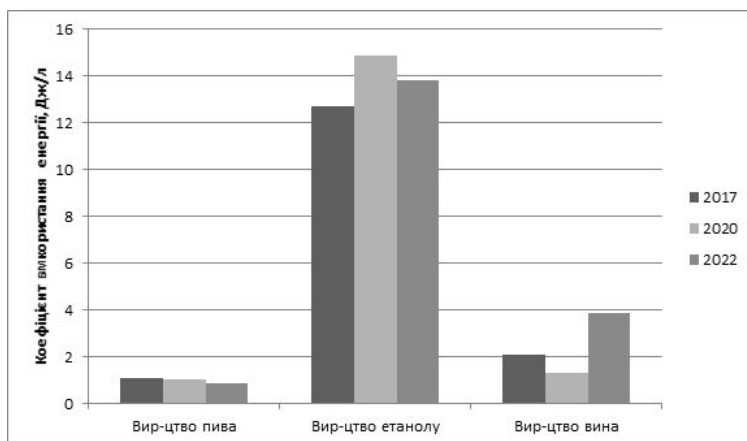


Рис. 2. Коефіцієнт використання енергії

Метою роботи є аналітичне дослідження проблем і визначення можливостей покращення екологізації спиртового виробництва за рахунок розширення сировинної бази з урахуванням зміни кліматичних умов.

Матеріали та методи. Інформаційна база дослідження – наукові статті у вітчизняних та закордонних виданнях, інформаційні електронні ресурси. *Методологічною основою* дослідження є аналіз проблем та систематизація відомостей про можливості екологізації спиртового виробництва.

Результати та обговорення. Проведені дослідження показали, що екологічність спиртового виробництва досить тісно пов'язана з аспектом вибору сировини. Вона повинна відповідати таким вимогам: бути дешевою і добре зберігатись,

мати високий вміст вуглеводів або крохмалю, які за допомогою існуючих технічних засобів можна перетворити в зброджувані вуглеводи [6]. При цьому варто приймати до уваги також і інші важливі фактори:

- наявність, доступність сировини з урахуванням умов зміни клімату;
- розташування заводу і можливість мінімізувати затрати на логістику;
- попередня обробка сировини;
- енерго- і водозатратність виробництва;
- наявність відходів і спосіб їх вторинної переробки чи утилізації;
- очищення та скидання стічних вод.

Традиційною сировиною для виробництва етилового спирту в Україні вважається цукровмісна-, крохмалевмісна та лігніноцелюзна. Основною сировиною, що містить цукор є цукровий буряк і продукти його переробки.

До цукровмісної сировини найчастіше відносять відходи цукрового виробництва, зокрема, патоку і дифузійний сік. Однак останнім часом велику увагу приділяють також і іншому продукту переробки цукрового буряка – жмиху. Зокрема, польські дослідники оцінювали ефективність виробництва етанолу з жому цукрових буряків з використанням різних підходів, включаючи варіації попередньої обробки, ферментативні процеси та мікробний гідроліз [7, 8]. Інші польські дослідники оцінювали можливості використання некрохмалистих матеріалів цукрового виробництва без ферментативної обробки для виробництва етанолу з використанням відібраних штамів дріжджів. Дослідження процесів бродіння показало, що буряковий жом дає змогу отримати більш високий вихід етанолу – 87% від теоретичного, ніж густий сік цукрових буряків – 84% від теоретичного [9]. Американські дослідники вважають, що жом цукрових буряків (ЖБЦ) у отриманому вигляді має досить високу вологість 75–85%, що ускладнює його зберігання. Силос

досліджували протягом 90 днів і виявили, що він ефективно зберігається без інокуляції молочнокислих бактерій. Вища щільність пакування дала дещо кращу якість силосу. Встановлено, що вихід етанолу з силосованого жмиху був майже на 50% вищим, ніж із сирого [10].

До крохмалевмісної сировини відносять зернові культури, а саме пшеницю, ячмінь, кукурудзу, жито, а також картоплю. Однак із зміною клімату велику увагу привертають такі культури, як цукрове сорго і батат. Ці культури краще адаптовані до умов глобального потепління. Зокрема, цукрове сорго це одна з найбільш посухостійких рослин, йому ідеально підходять наші кліматичні умови. З однорічних культур цукрове сорго є однією із найбільш високоенергетичних та економічно вигідних культур, виходячи з наступних показників: – високий фотосинтетичний потенціал (у два рази вищий, ніж у цукрових буряків, пшениці та інших культур); – низька потреба у водоспоживанні (значно нижча, ніж у кукурудзи, ячменю, пшениці). На створення однієї одиниці сухої речовини сорго в середньому витрачає 300 частин води, кукурудза – 340, пшениця – 515, ячмінь – 545, цукровий буряк – 470. Висока стійкість до посухи цукрового сорго забезпечується ксерофітністю, потужною кореневою системою, щільним епідермісом, білим восковим нальотом на листках у жаркий період. Крім того, сорго здатне припиняти ріст у період особливо несприятливих умов для росту й розвитку, перебуваючи в анабіозі до настання сприятливих умов. Цукрове сорго відрізняється високою урожайністю зеленої маси, що дає можливість отримувати 4–5 т етанолу з 1 га посівів, а також низькою нормою висіву насіння (5–7 кг/га) [11–13].

Ще одна культура, яка може вважатися перспективною при виробництві спирту, є батат або солодка картопля (*Ipomoea batatas*). Родом ця рослина із Північної Америки, але вже непогано освоюється в Україні, добре переносить жаркий клімат і відносно стійкий до посухи. І хоча в даний час він виступає в якості конкурента картоплі, так як має більший розмір, відмінні смакові та поживні якості, стійкість до хвороб і шкідників, а також вищі показники врожайності. Так як батат не вражається колорадським жуком і слабо вражається хворобами, він не потребує оброблення ядохімікатами. Зелена маса батату може використовуватися в якості корму для тварин і птахів. Тому сама культура є досить екологічною [14].

Вміст цукрів солодкої картоплі становить 4,5–7,5% до сирі маси, а вміст крохмалю складає 12,5–14,5%. Урожайність батату становить від 40 до 100 т з гектару. Варто зазначити, що при збиранні урожаю завжди мають місце травмовані і дрібні бульби і саме вони можуть бути використані для виробництва алкоголю (особливо на міні-спиртзаводах).

Проведені дослідження в умовах України показали, що вихід спирту складав 64,88 дал з 1 т батату. Органолептичні характеристики одержаного спирту наведені в табл. 1 [15].

Таблиця 1

Органолептичні характеристики спирту з батату

Назва	Зовнішній вигляд	Колір	Смак	Запах
Спирт з батату	Прозора рідина без сторонніх часток	Безбарвна рідина	Чистий, без стороннього присмаку	Приємний фруктовий аромат
Спирт з картоплі	Прозора рідина без сторонніх часток	Безбарвна рідина	Характерний для цього виду, але дещо різкий	Різкий, з вираженим запахом.

Аналізуючи перспективні культури для виробництва спирту, варто взяти до уваги не лише крохмалевмісні, але й інуліновмісні культури, зокрема топінамбур. Людину здавна привертала унікальна сила цієї рослини, яка дозволяє йому вижити в самих екстремальних

умовах навколишнього середовища. Стійкість цієї рослини до посухи можна пояснити розвиненістю кореневої системи цієї рослини. Топінамбур має дуже міцну розгалужену кореневу систему, завдяки чому використовує поживні речовини ґрунту набагато краще, ніж інші рослини, наприклад картопля. А великий вегетативний апарат, крім цього, дозволяє використовувати сонячну енергію в достатніх кількостях.

Беручи до уваги, що у топінambuра вегетаційний період триває 150–180 днів, то стає очевидно, чому ця культура дає високий урожай. Характерною особливістю топінambuра є його висока продуктивність. Його досліджували в різних географічних зонах. І практично у всіх зонах, починаючи від південних до північних, він давав значний урожай, який зростав у південному напрямку. Автори цієї статті були очевидцями невідомого сорту топінambuру, вирощуваного в Казахстані, врожайність якого досягала 70 т/га і більше.

Топінамбур також відрізняється не тільки невибагливістю до ґрунтів і клімату, але і до агротехніки.

Серед важливих переваг топінambuра слід відзначити його економічність. Оскільки топінамбур можна кілька років вирощувати на одному місці, то витрати на його посадку можна розподілити на кілька років. Тварини поїдають топінамбур в сирому вигляді, що дозволяє заощадити на його запарюванні та інших операціях з підготовки кормів [16].

Крім цього, встановлено, що 1 га посівів топінambuру виробляє в 1,5 разів більше кисню, ніж лісонасадження на відповідній площі, що має істотне значення в сучасних екологічних умовах [17]. Також варто зазначити, що топінамбур можна використовувати для очищення забруднених територій [18].

Топінамбур в даний час визнано новою енергетичною культурою для виробництва біоетанолу; однак виробництво етанолу з топінambuра має довгу історію. У 19 столітті французький хімік Ансельм Паєн рекламував у Франції бульби топінambuра для виробництва пива. Цікаво, що пиво, отримане з бульб топінambuра, солодке і має фруктовий смак [19]. Завдяки унікальному аромату етанол із топінambuра також використовувався для виробництва бренді у Франції та Німеччині, а також sake в Японії [20]. Під час і після Першої світової війни британський Департамент наукових і промислових досліджень проводив масштабні дослідження з розробки паливного етанолу з топінambuра. Було продемонстровано, що топінамбур здатний виробляти таку ж кількість зброджуваних вуглеводів на гектар землі, як і цукровий буряк. За даними наукової літератури він становить 95–114 л/га [21–22].

Що стосується переробки відходів, а саме лігніноцелюлозної біомаси, то нажаль, вона переробляється не так легко, як сировина першого покоління, і вимагає багатоетапної обробки, що збільшує кінцеву вартість виробленого біоетанолу. Кожен етап – попередня обробка, гідроліз, ферментація та дистиляція – вимагає витрат енергії та видалення залишків.

Останнім часом спеціалістів зацікавила зелена маса водоростей, таких як ряска, хлорелла, що обіцяє багато переваг у порівнянні з вищенаведеною сировиною. Але поки виробництво біоетанолу з використанням водоростей досліджується переважно в лабораторних масштабах [23].

Українські вчені вважають, що промивні води фруктових вичавок – відхід виробництва пектину – також можуть бути використані для зброджування в спирт [24].

Вважають, що в якості сировини для спиртового виробництва можуть бути використані такі зернові культури з високим вмістом крохмалю, як амарант і сориз або сорго рисозернисте [25].

Ще одна дуже важлива проблема, яка займає суттєву частку в екологічній характеристиці спиртових заводів, це відходи і стічні води виробництв. В цій галузі працює багато вчених. Зокрема українськими вченими обґрунтована можливість зменшення об'єму післяспиртової мелясної та зернової барди шляхом повернення її на приготування суслу без погіршення якості хлібопекарських дріжджів і виходу спирту, а

також за рахунок збільшення концентрації сухих речовин зброженого сусла з 22 (традиційна технологія) до 27% і накопичення спирту в зрілій бражці до 11–12% об. Це істотно зменшить витрати пари на брагоректифікацію спирту та обсяги забруднених і важко утилізованих відходів виробництва – післяспиртової барди [24].

Взагалі, в будь-якому разі питання очистки післяспиртової барди є досить актуальним в плані екологічної характеристики спиртового виробництва. Причому даний аспект в значній мірі залежить від сировини, яку переробляє підприємство, а також технології переробки. Ступінь забруднення стічних вод визначають за фізико-хімічними і біологічними показниками – кольорністю, прозорістю, запахом, вмістом сухого залишку, рН, біохімічним споживанням кисню (БСК), хімічним споживанням кисню (ХСК) та ін. [26]

Від показника рН залежить можливість безпосереднього скиду стічних вод у природні водоймища чи необхідністю попередньої нейтралізації. Біологічне споживання кисню (БСК) показує, яку кількість кисню у міліграмах необхідно витратити на біологічне окислення органічних речовин у 1 л стоків. Через тривалість визначення біологічного споживання кисню частіше у заводській практиці використовують показник хімічного споживання кисню (ХСК) – кількість кисню у міліграмах, яка необхідна для окислення органічних сполук у 1 л води розчином біхромату калію. Визначення ХСК є найбільш надійним способом оцінки вмісту органічних сполук, оскільки хімічним способом окислюється більше речовин, ніж біологічним шляхом [26]. Цей показник є індикатором техногенного впливу на довкілля.

В таблиці наведені показники ХСК післяспиртової барди різного походження, що були визначені авторами статті [27].

Таблиця 2
**Вміст ХСК в післяспиртовій барді
з різних видів сировини**

Сировина	ХСК мг/дм ³
Зерно (кукурудза, пшениця)	30000 – 35000
Меляса	120000 – 140000
Батат	5500 – 6000

Таким чином, стічні води спиртових заводів, що переробляють крохмалевмісну і цукровмісну сировину, відносяться до категорії висококонцентрованих за органічним забрудненням. Їх склад і кількість залежать від технології виробництва спирту, а необхідна ефективність

очищення обумовлена умовами скидання. В процесі одержання спирту в барді залишаються майже всі, за виключенням крохмалю і цукрів, поживні речовини, тому барда представляє собою цінний кормовий продукт незалежно від виду використовуваної сировини.

Що стосується самої очистки, то на сьогодні застосовують механічні, хімічні, фізико-хімічні і біологічні способи очистки стічних вод. Вибір способу очистки залежить від кількості стоків, концентрації і виду забруднень, необхідного ступеня очистки, розмірів водоймища, що призначене для скидання стічних вод, а також від впливу їх на стан водоймища [28].

Існуючі технології переробки післяспиртової барди можна умовно розділити на чотири основні технологічні схеми [29–31]:

- випаровування на випарних станціях;
- біологічна очистка стічних вод шляхом аеробної переробки рідкої фази з допомогою мікроорганізмів і одержанням кормових дріжджів;
- анаеробний спосіб очистки барди з одержанням біогазу в метантенках;
- комбіновані схеми, в основу яких покладені відомі технологічні прийоми, що успішно зарекомендували себе – поділ рідкої й твердої фази післяспиртової барди на центрифугах, вирощування кормових дріжджів на субстраті, сушіння продукції.

Для утилізації мелясної барди в світовій практиці застосовується, як правило, технологія упарювання барди на випарних станціях. Однак вартість випарних станцій і

відповідно всього обладнання для утилізації, досить висока (більше 3 млн. Євро), процес випарювання вимагає значних енергетичних витрат, а утилізація одержуваного конденсату стає окремим завданням, розв'язання якого усередині технології не закладено. Процес випарювання потребує значних енергетичних витрат, а також не повністю вирішує екологічні проблеми. Все це негативно відображається на собівартості готового продукту – сухої барди. Зниження собівартості можна досягнути заміною випарювання на технологію біологічної переробки барди з одержанням концентрованих кормових дріжджів. Кормові дріжджі – це високоефективна білкова добавка до кормів з вмістом білка 45–46%.

Процеси окислення при біологічному очищенні концентрованих стічних вод супроводжуються виділенням великої кількості вільної енергії, яка може використовуватися в реакціях клітинного синтезу і для енергетичних потреб клітини. При аеробному окисненні отримання енергії є більш економічним, ніж при анаеробному, і однакова кількість субстрату здатна підтримувати значно більше біомаси аеробного активного мулу, ніж анаеробного. Процес окислення забруднень в аеробних умовах проходить з утворенням діоксиду вуглецю і води, тоді як в анаеробних умовах утворюються низькомолекулярні органічні сполуки – метан, органічні кислоти тощо. Процес очищення в аеробних умовах протікає більш глибоко, ніж в анаеробних.

Найбільш відома технологія переробки барди на біогаз заснована на анаеробному бродінні, коли барда подається в спеціальні ємності разом з анаеробними бактеріями, які переробляють поживні речовини барди і утворюють біогаз, що містить до 75% метану та за умов відповідної підготовки може бути заміником природного газу. Так, на спиртовому заводі потужністю 3000 дал спирту за добу, можна одержати впродовж року 1,8 млн м³ біогазу і 6000 т білкового корму. Використання біогазу у котельній заводу заощаджує 1500 т умовного палива за рік.

Поєднання анаеробного і аеробного способів очистки барди дає змогу очищувати її до показників, що дозволяють скидати стоки у водойми. Таким чином вирішуються одночасно кілька проблем: енергетична, екологічна й утилізації відходів [30].

Приймаючи до уваги боротьбу за екологію, однією із найбільш перспективних методів очистки є фіторе mediaція. І в даному аспекті варто розглянути біологічні водоймища. Це штучні або природні водоймища, призначені для біологічної і фізичної очистки стічних вод. Особливу роль для очистки у біологічних водоймищах відіграють водні рослини, водорості і бактерії, що розкладають органічні речовини стічних вод, після чого водорості використовують продукти, що утворилися, для нарощування своєї біомаси. Під дією сонячного світла водорості виділяють кисень, необхідний для аеробного окислення органічних сполук мікроорганізмами.

В природних водоймах розвиваються типові для певних місцевостей біоценози: водорості, бактерії, гриби, найпростіші, вищі, рослини й тварини. Ці біоценози перебувають у певній біологічній рівновазі, властивій даним кліматичним та екологічним умовам. Стічні води, що потрапляють до водойм, призводять до зміни умов середовища і біологічного складу. Якщо хімічний склад та інші властивості стічних вод сталі, у водоймі складається співтовариство організмів, що відповідає новим екологічним умовам. Різні групи організмів поетапно розкладають органічні речовини вуглеводи, білки та жири на простіші сполуки. Кінцевими продуктами є мінеральні солі (сульфати, нітрати, фосфати), гази (вуглекислий газ, водень, гідрогенсульфід, аміак) і вода. Ці сполуки споживають із води водорості та вищі рослини. Водорості за наявності сонячного випромінювання засвоюють вуглекислий газ і виділяють кисень, який використовується для окиснення органічних сполук. Слід зазначити, що саме поглинання вуглекислого газу – це важливий аспект декарбонізації, що вже є суттєвим кроком в екологізації спиртового виробництва. Очищення стічних вод за допомогою мікробіодоростей не створює вторинних відходів, таких як відпрацьований активний мул тощо, які потребують утилізації.

Висновки. Аналізуючи ситуацію, що склалася в спиртовій галузі, а саме: високі коефіцієнти використання енергії і води, велика кількість відходів, зокрема, післяспиртової барди, яка без ретельної очистки спричиняє забрудненість стічних вод, стає очевидним, що екологізація спиртових підприємств є вкрай важливою і актуальною. Причому, при вирішенні цієї задачі головну роль відіграє сировина. У зв'язку із глобальним потеплінням клімату варто більше уваги привернути до посухостійких культур, які призвичаєні до вирощування в зоні підвищених температур. До таких культур відноситься цукрове сорго, батат, топінамбур тощо. При проектуванні спиртових заводів варто приймати до уваги відстань до сировинної бази, щоб знизити логістичне навантаження, що теж суттєво впливає на екологічність. При виборі технологічної схеми переробки необхідно використовувати ефективні способи очистки стоків і застосовувати ті, що дають можливість користуватися альтернативною енергією (біогаз), а також очищати, охолоджувати і повторно використовувати воду в межах виробництва. Очищення стічних вод варто проводити максимально екологічними методами, до яких відносять біологічні методи і фіторе mediaцію, для реалізації якої використовують біологічні водоймища. Одержані результати можуть слугувати підґрунтям при розробленні методів екологізації спиртової промисловості.

Бібліографія

1. Ethanol Market Size, Share and Trends 2024 to 2034. Precedence Research. <https://www.precedenceresearch.com/ethanol-market>. 07.11.2024.
2. Beverage Industry Continues to Drive Improvement in Water, Energy, and Emissions Efficiency. Beverage Industry Environmental Roundtable. <https://www.bierroundtable.com/wp-content/uploads/2023-BIER-Benchmarking-Executive-Summary-Report.pdf>. 05.11.2024.
3. Sustainability and Environment in the Alcohol Industry Moving Spirits. <https://movingspirits.eu/blog/sustainability-and-environment-in-the-alcohol-industry>. 04.11.2024.
4. Three climate challenges facing alcoholic beverage industry. Sia partners 2022. <https://www.sia-partners.com/en/insights/publications/three-climate-challenges-facing-alcoholic-beverage-industry>. 03.11.2024.
5. Alcohol as obstacle to environmental development. Movendy International. <https://movendi.ngo/the-issues/the-problem/obstacle-to-development-2/alcohol-as-obstacle-to-environmental-development>. 30.10.2024.
6. Олександрюк В. І., Омельченко Н. М., Кучерява В. А. Цукрове сорго як сировина для виробництва біоетанолу. Біологічні дослідження. Збірник наукових праць. Житомир: ПП «Рута». 2015. с. 449–451. <http://eprints.zu.edu.ua/16675/1/%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D1%8E%D0%BA.pdf>.
7. Patelski A., Dziekońska-Kubczak U., Balcerek M., Pielech-Przybylska K., Dziugan P., Berłowska A. The Ethanol Production from Sugar Beet Pulp Supported by Microbial Hydrolysis with *Trichoderma viride*. *Energies*, 2024, № 17(4), P. 809. <https://doi.org/10.3390/en17040809>.
8. Berłowska J., Balcerek M., Dziugan P., Dziekońska-Kubczak U., Pielech-Przybylska, K., Patelski, P., Robak, K. Use of Saccharose and Structural Polysaccharides from Sugar Beet Biomass for Bioethanol Production. *Int. Agrophys.* 2020, № 34, P. 151–159. <https://doi.org/10.31545/intagr/116572>.
9. Gumienna M., Lasik M., Czarnecki Z., Szambelan K. Applicability of unconventional energy raw materials in ethanol production. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 2009, № 8 (4), P. 17–24.
10. Yi Zheng, Chaowei Yu, Yu-Shen Cheng, Christopher Lee. Integrating sugar beet pulp storage, hydrolysis and fermentation for fuel ethanol production. *Applied Energy* Volume, 2012, № 93, P. 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.084>.
11. Левандовський Л. В., Олійничук С. Т., Ткаченко Л. В. Нетрадиційні види сировини для спиртового виробництва. Інституційний репозитарій НУХТ. 2011. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/531>.
12. Кусяк Г. Т., Думанська Ю. А., Кучерява В. А., Омельченко Н. М. Використання цукрового сорго, як біоенергетичної культури при виробництві біоетанолу. Екологічні проблеми традиційних і альтернативних видів енергії. Горбуновські читання. Чернівці: ЧФ НТУ «ХПІ», 2014. С. 56–58.

13. Гунчак Т. І. Особливості вирощування сорго цукрового в якості сировини для виробництва біопалива в умовах Південно-західного Лісостепу України. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, 2014, № 21, С. 240–244.
14. Sabadoš V., Ivan J., Sekulić O., Dorotić D. Results of investigation with different varieties of sweet potato in sombor area. Матеріали VIII International Scientific Agriculture Simposium, Jahorina, Oktober, 5–8. 2017. <https://agrosym.ues.rs.ba>, https://agrosym.ues.rs.ba/article/showpdf/BOOK_OF_PROCEEDINGS_2017_FINAL.pdf.
15. Данілова К. О., Грінченко І. Г., Грушецький Р. І. Батат як перспективна сировина для одержання спирту етилового і крафтових напоїв на його основі. Наукові праці Національного університету харчових технологій, 2024, Т. 30, № 3, С. 156–167. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-3-14>.
16. Грушецький Р. І., Грінченко І. Г., Хомічак Л. М. Природні джерела здоров'я. К.: Аграрна наука, 2016. 108 с.
17. Jerusalem Artichoke for Eating and Drinking. Die Topinambur Manufactur. <https://www.topinambur-manufaktur.de/origin-botany-and-varietes>. Дата звернення 07.11.2024.
18. Antonkiewicz J., Kołodziej B., Bielińska E., Witkiewicz R., Tabor S. Using Jerusalem Artichoke to Extract Heavy Metals from Municipal Sewage Sludge Amended Soil. Pol. J. Environ. Stud., 2018, Т. 27, № 2, Р. 513-527. <https://doi.org/10.15244/pjoes/75200>.
19. Hu J. F., Qiu S. Y. Research process in ethanol production by the fermentation of Jerusalem artichoke. Liq.-Mark. Sci. Technol., 2009, № 182, Р. 100–104.
20. Hui, Y. H. Data Source Book for Food Scientists and Technologist. Wiley-Interscience, 1991. 976 p.
21. Roy M., Sachs Clifford B. Low, Vasavada A., Sully Michael J., Williams Lynn A., Ziobro George C. Fuel alcohol from Jerusalem artichoke. California Agriculture, 1981, № 9. с. 4–6.
22. Linxi Yang, Quan Sophia He, Kenneth Corscadden, Chibuike C. Udenigwe. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. Biotechnology Reports, 2015, Vol. 5, Р. 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.12.004>.
23. Продукти переробки цукрових буряків як сировина для виробництва хімічних речовин та біорозкладних полімерів. УкрЦУКОР. 2021. <http://ukrsugar.com/uk/post/produkti-pererobki-cukrovih-burakiv-ak-sirovina-dla-virobnictva-himicnih-recovin-ta-biorozkladnih-polimeriv-castina-1>. 31.10.2024.
24. Олійнічук С. Т., Левандовський Л. В., Атаманенко О.Б., Шалабанов С.М. Сировина для виробництва спирту. Харчова і переробна промисловість, 1995, № 10, С. 26–27. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/1736>.
25. Ghosh Ray S., Ghangrekar M.M. Comprehensive review on treatment of high-strength distillery wastewater in advanced physico-chemical and biological degradation pathways International Journal of Environmental Science and Technology, 2019, 16, № 1, С. 527–546. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1786-8>.
26. Shinde, P.A., Ukarde, T.M., Pandey, P.H. Distillery spent wash: An emerging chemical pool for next generation sustainable distilleries. Journal of Water Process Engineering., 2020. № 36, 101353 <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101353>.
27. КНД 211.1.4.021-95. Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах.
28. Levandovskiy L., Vitriak O., Hrabovska O. Ecologization of joint production of alcohol and bakery yeast from molasses. Товари і ринки, 2020, Вип. 36, № 4. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020\(36\)07](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020(36)07).
29. Zielińska, M., Bułkowska, K., Mikucka, W. Valorization of distillery stillage for bioenergy production: A review. Energies, 2021, №14, 7235. <https://doi.org/10.3390/en14217235>.
30. Mikucka, W., Zielińska, M. Distillery Stillage: Characteristics, Treatment, and Valorization. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2020, V. 792, p. 770–793. <https://doi.org/10.1007/s12010-020-03343-5>.
31. Шворов С., Поліщук В., Давіденко Т. Інтенсифікація процесу метанового бродіння в біогазових установках на основі використання мелясної барди. Енергетика та автоматика. 2019. № 1. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.01.037>.

References

1. Ethanol Market Size. Share and Trends 2024 to 2034. Precedence Research. <https://www.precedenceresearch.com/ethanol-market>. 07.11.2024.
2. Beverage Industry Continues to Drive Improvement in Water, Energy, and Emissions Efficiency. Beverage Industry Environmental Roundtable. <https://www.bieroundtable.com/wp-content/uploads/2023-BIER-Benchmarking-Executive-Summary-Report.pdf>. 05.11.2024.
3. Sustainability and Environment in the Alcohol Industry Moving Spirits. <https://movingspirits.eu/blog/sustainability-and-environment-in-the-alcohol-industry/>.
4. Three climate challenges facing alcoholic beverage industry. Sia partners 2022. <https://www.sia-partners.com/en/insights/publications/three-climate-challenges-facing-alcoholic-beverage-industry>. 03.11.2024.
5. Alcohol as obstacle to environmental development. Movendi International. <https://movendi.ngo/the-issues/the-problem/obstacle-to-development-2/alcohol-as-obstacle-to-environmental-development>. 30.10.2024.
6. Oleksandryuk, V. I., Omelchenko, N. M., Kucheriava, V. A. (2015). Tsukrove sorgo yak syrovyna dlya vyrobnytstva bioetanolu. Biologichni doslidzennya [Sugar sorghum as raw material for bioethanol production] Zbirnyk naukovykh prats. Gitomir: PP «Ruta», 449–451. <http://eprints.zu.edu.ua/16675/1/%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D1%8E%D0%BA.pdf> [in Ukrainian].
7. Patelski, A., Dziekońska-Kubczak, U., Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K., Dziugan, P., Berłowska, A. (2024). The Ethanol Production from Sugar Beet Pulp Supported by Microbial Hydrolysis with *Trichoderma viride*. *Energies*, 17(4), 809. <https://doi.org/10.3390/en17040809>.
8. Berłowska, J., Balcerek, M., Dziugan, P., Dziekońska-Kubczak, U., Pielech-Przybylska, K., Patelski, P., Robak, K. (2020) Use of Saccharose and Structural Polysaccharides from Sugar Beet Biomass for Bioethanol Production. *Int. Agrophys.* 34, 151–159. <https://doi.org/10.31545/intagr/116572>.
9. Gumienna, M., Lasik, M., Czarnecki, Z., Szambelan, K. (2009) Applicability of unconventional energy raw materials in ethanol production. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 8 (4), 17–24.
10. Yi Zheng, Chaowei Yu, Yu-Shen Cheng, Christopher Lee (2012). Integrating sugar beet pulp storage, hydrolysis and fermentation for fuel ethanol production. *Applied Energy* Volume, 93, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.084>.
11. Levandovskiy, L., Oliynichuk, S. T., Tkachenko L. V. (2011). Netradytsiyni vydy syrovyny dlya spyrtoвого vyrobnytstva [Non-traditional types of raw materials for alcohol production] Instytutsiyni repozytarii NUHT. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/531>. [in Ukrainian].
12. Kusiak, G. T., Dumanska, Yu. A., Kucheryava, V. A., Omelchenko N. M. (2014). Vykorystannya tsukrovogo sorgo yak bioenergetychnoi kultury pry vyrobnytstvi bioetanolu [The use of sugar sorghum as a bioenergy crop in the production of bioethanol]. *Ekologichni problemy tradytsiynykh I alternatyvnykh vydiv energii. Gorbunovski chytannya. Chernivtsi, ChF NTU «HPI»*, 56–58. [in Ukrainian].
13. Gunchak, T. I. (2014). Osoblyvosti vyroscuvannya sorgo tsukrovogo v yakosti syrovyny dlya vyrobnytstva biopalyva v umovah Pivdenno-zahidnogo Lisostepu Ukrainy [Features of growing sugar sorghum as a raw material for the production of biofuel in the conditions of the South-Western Forest Steppe of Ukraine]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenergetychnykh kultur I tsukrovyyh buryakiv*, 21, 240–244 [in Ukrainian].
14. Sabadoš, V., Ivan, J., Sekulić, O., Dorotić, D. (2017). Results of investigation with different varieties of sweet potato in sombor area. VIII International Scientific Agriculture Simposium, Jahorina, Oktober, 5–8. <https://agrosym.ues.rs.ba>.
15. Danilova, K. O., Grinenko, I. G., Grushetski, R. I. (2024). Batat yak perspektyvna syrovyna dlya odergannya spyrtu etylovogo I kraftovykh napoiv na yoho osnovi [Sweet potato as a promising raw material for obtaining ethyl alcohol and craft drinks based on it]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*, 30(3), 156–167. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-3-14>. [in Ukrainian].
16. Grushetski, R. I., Grinenko, I. G., Homichak, L. M. (2016). Pryrodni dzherela zdorovia. K.: Agrarna nauka, 108 p. [in Ukrainian].
17. Jerusalem Artichoke for Eating and Drinking. Die Topinambur Manufactur. <https://www.topinambur-manufaktur.de/origin-botany-and-varietes>. 07.11.2024.

18. Antonkiewicz, J., Kołodziej, B., Bielińska, E., Witkiewicz, R., Tabor, S. (2018). Using Jerusalem Artichoke to Extract Heavy Metals from Municipal Sewage Sludge Amended Soil. *Pol. J. Environ. Stud.*, 27 (2), 513–527. <https://doi.org/10.15244/pjoes/75200>.
19. Hu, J. F., Qiu, S. Y. (2009). Research process in ethanol production by the fermentation of Jerusalem artichoke. *Liq.-Mark. Sci. Technol.*, 182, 100–104.
20. Hui, Y. H. (1991). *Data Source Book for Food Scientists and Technologist*. Wiley-Interscience, 976 p.
21. Roy M., Sachs Clifford B. Low, Vasavada A., Sully Michael J., Williams Lynn A., Ziobro George C. (1981) Fuel alcohol from Jerusalem artichoke. *California Agriculture*, 9. P.4–6.
22. Linxi Yang, Quan Sophia He, Kenneth Corscadden, Chibuike C. Udenigwe (2015). The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnology Reports*, 5, 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.12.004>.
23. Produkty pererobky tsukrovyykh buriakiv yak syrovyna dla vyrobnytstva khimichnykh rehovyn ta biorozkladnykh polimeriv [Sugar beet processing products as raw materials for the production of chemicals and biodegradable polymers] (2021). UkrTSUKOR. <http://ukrsugar.com/uk/post/produkti-pererobki-cukrovih-burakiv-ak-sirovina-dla-virobnictva-himicnih-recovin-ta-biorozkladnih-polimeriv-castina-1>. 31.10.2024 [in Ukrainian].
24. Oliynichuk, S. T., Levandovskiy, L. V., Atamanenko, O. B., Shalabanov, S. M. (1995). Syrovyna dla vyrobnytstva spyrtu [Raw material for the production of alcohol] *Kharchova i pererobna promyslovist*, 10, 26–27. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/1736>. [in Ukrainian].
25. Ghosh Ray, S., Ghangrekar, M. M. (2019). Comprehensive review on treatment of high-strength distillery wastewater in advanced physico-chemical and biological degradation pathways *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (1), 527–546. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1786-8>.
26. Shinde, P. A., Ukarde, T. M., Pandey, P. H. (2020). Distillery spent wash: An emerging chemical pool for next generation sustainable distilleries. *Journal of Water Process Engineering*. 36, 101353. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101353>.
27. KND 211.1.4.021-95. Metodika viznachennya hImIchnogo spozhivannya kisnyu (HSK) v poverhnevih I stIchnih vodah/[in Ukrainian].
28. Levandovskiy, L., Vitriak, O., Hrabovska, O. (2020). Ecologization of joint production of alcohol and bakery yeast from molasses. *International Scientific-practical Journal Commodities and Markets*. 36(4). 74–81. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020\(36\)07](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020(36)07).
29. Zielińska, M., Bułkowska, K., Mikucka, W. (2021). Valorization of distillery stillage for bioenergy production: A review. *Energies*, 14, 7235. <https://doi.org/10.3390/en14217235>.
30. Mikucka, W., Zielińska, M. (2020) Distillery Stillage: Characteristics, Treatment, and Valorization. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 792, 770–793. <https://doi.org/10.1007/s12010-020-03343-5>.
31. Shvorov, S., Polischuk, V., Davidenko, T. (2019). Intensyfikatsiia protsesu metanovoho brodinnia v biohazovykh ustanovkakh na osnovi vykorystannia meliasnoi bardy [Intensification of the methane fermentation process in biogas plants based on the use of molasses]. *Energetyka ta avtomatyka*. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya> 2019.01.037 [in Ukrainian].