

Удосконалення технології отримання технічного етанолу з альтернативної сировини

Improving the Technology of Obtaining Technical Ethanol from Alternative Raw Materials

Сергій Петров¹, Олег Чайка²
Sergij Petrov, Oleg Chaika

¹ *National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*

2 Kirpichov Street, Kharkiv, 61002, Ukraine

² *Kharkiv Physics and Mathematics Lyceum No 27*

12/14 Mariinskaya Street, Kharkiv, 61004, Ukraine

DOI: [10.22178/pos.34-2](https://doi.org/10.22178/pos.34-2)

LCC Subject Category:
[QD415-436](#)

Received 20.04.2018

Accepted 20.05.2018

Published online 28.05.2018

Corresponding Author:
Oleg Chaika
pandira12345@mail.ru

Анотація. Метою статті є дослідження властивостей опалого листа в якості сировини для виробництва біоетанолу; удосконалення технології переробки целюлозовмісної сировини в біоетанол максимально енергоефективним та екологічним способом.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що виробництву біопалива з відновлюваної сировини притаманні характерні ознаки інноваційної технології: швидке зростання цього сектора економіки супроводжується істотним збільшенням частки ринку. Застосування опалого листа в якості сировини дозволить усунути існуючий в даний час конфлікт інтересів, пов'язаний з використанням для виробництва біоетанолу харчової сировини, дозволить уникнути вилучення ресурсів зі сфери виробництва продуктів харчування. Істотними позитивними факторами виробництва і застосування біопалива є поліпшення екологічної обстановки, зниження шкідливого впливу на організм людини вихлопних газів, зниження забрудненості навколишнього середовища і, як наслідок, зниження захворюваності та супутніх витрат на медичне обслуговування. Використання біоетанолу в якості екобіопрісадок дозволяє підвищити октанове число палива, і, відповідно, підвищити ефективність роботи двигуна. Таким чином, використання біоетанолу призводить до якісного поліпшення техніко-економічних показників, що також є індикатором інноваційності. Загроза скорочення (вичерпання) невідновлюваних джерел енергії також є чинником, що обумовлює необхідність розвитку і вдосконалення технології виробництва біопалива.

Порівняно низька рентабельність виробництва біопалива пов'язана з низьким виходом цільового продукту і високою вартістю попередньої обробки целюлозної сировини. Було вдосконалено методику отримання біоетанолу з відновлюваної незатребуваної сировини – опалого листа. Методика дозволяє збільшити вихід біоетанолу за рахунок більш ефективного гідролізу важкогідролізуємих полісахаридів.

Дістало подальший розвиток дослідження відмінностей в мікроелементному складі листа, зібраного поблизу екологічно брудних виробництв і проїжджих вулиць, з одного боку, і на екологічно чистих територіях, з іншого боку. За допомогою спектрального аналізу встановлено, що мікроелементний склад опалого листа значно варіює залежно від місця збору. Цю обставину варто враховувати при організації збору сировини для подальшої переробки на біоетанол.

Результати дослідження можуть бути використані в практичній роботі, пов'язаній з впровадженням екологічно чистих технологій переробки відновлюваної незатребуваної сировини. Подальші перспективи дослідження можуть

бути пов'язані з більш глибоким дослідженням залежності між ступенем забрудненості території збору сировини для виробництва біоетанолу, та мікроелементного складу кінцевої продукції. Також подальші перспективи дослідження можуть бути пов'язані з уточненням ступеня інноваційності запропонованої технології і розрахунком її економічної ефективності.

Ключові слова: етанол; зелена хімія; екологія; целюлоза; гідроліз целюлози; отримання етанолу; технічний спирт.

Abstract. The purpose of the article is to study the properties of fallen leaves as raw materials for the production of bioethanol; Improvement of the technology of recycling cellulosic raw materials into bioethanol in the most energy-efficient and ecological way.

As a result of the study, it has been found out that the production of biofuels from renewable raw materials is characterized by features of innovative technology: the rapid growth of this sector of economy is accompanied by a significant increase in market share. The use of fallen leaves as raw material will eliminate the current conflict of interests associated with the use of food raw materials for the production of bioethanol, will prevent the withdrawal of resources from the sphere of food production. Significant positive factors in the production and use of biofuels are improvement of environmental conditions, reduction of the harmful effects of exhaust gases on the human body, reducing environmental pollution and, consequently, reducing morbidity and associated costs of medical care. The use of bioethanol as an ecobiopilot makes it possible to increase the octane number of fuel, and, accordingly, increase the efficiency of the engine. Thus, the use of bioethanol leads to a qualitative improvement of technical and economic indicators, which is also an indicator of innovation. The threat of reducing (exhausting) non-renewable sources of energy is also the factor that necessitates the development and improvement of biofuel production technology.

The relatively low profitability of biofuel production is due to the low yield of the target product and the high cost of pre-treatment of cellulose raw materials. The method of obtaining bioethanol from renewable non-demanded raw materials - fallen leaves - was improved. The technique allows to increase the bioethanol yield due to more effective hydrolysis of hard-hydrolysable polysaccharides.

Further development of the study of the differences in the microelement composition of leaves collected near environmentally-polluting industries and streets with busy traffic, on the one hand, and ecologically clean territories, on the other hand, has been further developed. With the help of spectral analysis it was established that the microelement composition of fallen leaves varies considerably depending on the place of collection. This circumstance should be taken into account when organizing the collection of raw materials for further processing of bioethanol.

The results of the study can be used in practical work related to the introduction of environmentally friendly technologies for the processing of renewable unclaimed raw materials.

Further research perspectives may be related to the deeper study of the relationship between the degree of contamination of the raw material collection area for the production of bioethanol and the trace element composition of the final product. Also, further research perspectives may be related to the specification of the degree of innovation of the proposed technology and the calculation of its economic efficiency.

Keywords: ethanol; green chemistry; ecology; cellulose; hydrolysis of cellulose; obtaining ethanol; technical alcohol.



ВСТУП

Відновлювана та (або) незатребувана сировина є суттєвим резервом підвищення ефективності сучасної промисловості. Пошук альтернативних видів сировини, дослідження їх властивостей – важливий етап створення інноваційних технологій виробництва біопалива. Удосконалення технології переробки целюлозовмістовної сировини у біоетанол максимально енергоефективним та екологічним способом є однією з пріоритетних задач сучасної екології.

Проблемам техногенного навантаження і впливу на здоров'я людини традиційних видів палива присвячені роботи Н. Йоркіної [4], N. Traviss [12], С. Pope, R. Brook, R. Burnett, D. Dockery [10].

Дослідженню проблем соціально-економічної затребуваності, екологічності та інноваційності виробництва біоетанолу присвячені роботи С. Чачіної і А. Двоян [2], С. Гармаш, В. Герасименко і Г. Рунової [5], Ф. Вільданова, Ф. Латипової, Р. Чанишева, С. Ніколаєвої [14], J. Boyce [1].

Проблемам переробки альтернативної сировини; питанням розробки і вдосконалення методики перетворення целюлози в біоетанол, присвячені роботи Н. Трофімової і В. Бабкіна [13], О. Яценкової [7], Б. Кузнецова, С. Кузнецової і В. Тарабанько [8], К. Шмідт і Г. Худайгулова [11], В. Glick і J. Pasternak [6].

Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених даній проблематиці, триває процес дослідження можливостей удосконалення технологічного процесу і підвищення прибутковості підприємств, що спеціалізуються на переробці целюлози. Використання при виробництві біоетанолу харчової сировини є істотним недоліком даної технології. Удосконалення технології шляхом використання в процесі виробництва біоетанолу альтернативних (нехарчових) сировинних ресурсів дозволить елімінувати непрямі витрати, пов'язані зі зниженням потенціалу виробництва харчових ресурсів. Супутніми завданнями є використання сировини нижчої собівартості і виключення (зниження впливу) проблеми нестабільності врожаю.

Метою статті є дослідження властивостей опалого листя в якості сировини для виробництва біоетанолу; удосконалення технології переробки целюлозовмістовної сировини в біо-

етанол максимально енергоефективним та екологічним способом.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При визначенні сутнісних характеристик сучасного стану виробництва біоетанолу використані системно-структурні і логіко-аналітичні методи дослідження. Процес гідролізу з попередньою обробкою і нагріванням з використанням сірчаної кислоти проводився на експериментальній установці, що була зібрана спеціально для проведення даного експерименту. Дослідження хімічного складу листя з територій з різною забрудненістю проводилося за допомогою спектрального аналізу (технічне обладнання - спектроаналізатор).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В даний час виробництво біоетанолу демонструє характерні ознаки інноваційного сектора економіки – швидке динамічне зростання, що супроводжується істотним збільшенням частки ринку. Як відзначають С. Чачіна, А. Двоян, «на його [виробництво біоетанолу] частку припадає 85% обсягу світового виробництва біопалив» [2]. Ресурсний потенціал виробництва біоетанолу також свідчить про перспективність даного напрямку виробництва палива. Як відзначають С. Гармаш, В. Герасименко, Г. Рунова, «енергетичний потенціал біомаси в Україні по виробництву біоетанолу становить 2,36 млн. тонн умовного палива» [5]. Відповідно до Директиви 2009/28/ЕС від 23 квітня 2009 року «Про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел», зобов'язання України щодо впровадження відновлюваної енергії регламентують досягнення до 2020 року питомої ваги відновлюваної енергії на рівні 11 % від загального споживання [3].

Слід зазначити, що виробництво біоетанолу все ще залишається досить низькорентабельною технологією. Вчені Ф. Вільданов, Ф. Латипова, Р. Чанишева, С. Ніколаєва відзначають: «вартість етанолу, одержуваного з ферментованої целюлози, на сьогоднішній день досить висока в порівнянні з продуктом, що одержується з крохмалю. Це пов'язано з кількома факторами: низький вихід цільового продукту; висока вартість стадії поперед-

ньої обробки целюлозної сировини; низька швидкість гідролізу целюлози» [14]. При розробці та вдосконаленні технологій виробництва біоетанолу, крім власне технологічних, необхідно враховувати також і економічні аспекти виробничого процесу. Пропоновані інноваційні технології повинні бути узгоджені з вимогою підвищення економічної ефективності виробництва.

Поліпшення екологічної обстановки є безумовно сприятливим елементом системи соціально-економічних переваг промислового виробництва біологічного етанолу. Забруднення повітря, викликане дорожнім транспортом, є серйозною загрозою для здоров'я населення і в першу чергу для людей із захворюваннями органів дихання. Причиною цього є частинки, які містяться в вихлопних газах транспорту. Н. Йоркіна зазначає: «головний внесок у забруднення повітряного басейну урбосистеми вносять промисловість, автотранспорт, теплові електростанції [4]. Вельми істотну роль (70–80 %) в забрудненні повітря великих міст грають відпрацьовані гази автомобілів, а також процеси випаровування палива. Вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів в значній мірі залежить від умов їх експлуатації. Двигун, що працює на бензині, є джерелом забруднення повітря такими речовинами, як оксид вуглецю, газоподібні вуглеводні парафінового і олефінового ряду, висококиплячі поліциклічні ароматичні вуглеводні і сажа, продукти неповного окислення палива (альдегіди), галогенвуглеводні, важкі метали та оксиди азоту» [4].

Вчений N. Traviss відзначає наявність «істотних наукових доказів негативних наслідків впливу вихлопних газів дизельних двигунів на здоров'я людини. Такі вихлопні гази включають дрібні ($\leq 2,5$ мкм) і понаддрібнозернисті ($\leq 0,1$ мкм) частинки, оксиди азоту (NOx), SO₂, карбоніли та інші органічні сполуки, такі як поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ)» [12].

Епідеміологічні та обсерваційні дослідження показали, що забруднення повітря призводить до погіршення симптомів стенокардії, обваження ішемії міокарда при фізичному навантаженні і може провокувати розвиток інфаркту міокарда. Негативні наслідки для здоров'я, пов'язані з впливом вихлопних газів традиційного палива, включають, як відзна-

чають С. Pope, R. Brook, R. Burnett, D. Dockery «збільшення відвідування невідкладної допомоги, зниження функції легень, загострення астми, аритмії, гіпертонії і збільшення рівня смертності» [10].

Основна відмінність етанолу від бензину в цій області – це здатність утворювати вихлопні гази (табл. 1).

Таблиця 1 – Склад вихлопних газів

Компоненти вихлопного газу	Питома вага (%) за типами палива		Примітки
	Бензин	Дизель	
Азот	74,0-77,0	76,0-78,0	Нетоксичний
Кисень	0,3-8,0	2,0-18,0	Нетоксичний
Водяна пара	3,0-5,5	0,5-4,0	Нетоксичний
Діоксид вуглецю	5,0-12,0	1,0-10,0	Нетоксичний
Оксид вуглецю	0,1-10,0	0,01-5,0	Токсичний
Альдегіди	0-0,2	0,001-0,009	Токсичний
Окис сірки	0-0,002	0-0,03	Токсичний
Сажа, г/м ³	0-0,04	0-0,03	Токсичний
Бензапирен, мг/м ³	0,01-0,02	до 0,01	Канцероген

Якщо точний склад бензину можна визначити тільки в лабораторії, то склад етанолу всім відомий, і розрахувати продукти горіння може кожен (1):



Як відзначають С. Гармаш, В. Герасименко, Г. Рунова, «біоетанол в багатьох країнах світу використовується як екобіопрісадка до бензинів, яку отримують із зернових культур. Крім екологічної вигоди (зменшення викидів на 30 %), застосування біоетанолу підвищує октанове число палива, збільшуючи ефективність роботи двигуна [5].

Таким чином, для виробництва біоетанолу характерною є і така ознака інноваційної технології, як якісне поліпшення техніко-економічних показників при її використанні (поліпшення якості бензину при використанні екобіопрісадок). Крім того, використання біоетанолу здатне ініціювати також виникнення непрямих вигод, пов'язаних з потен-

ційним зниженням захворюваності внаслідок поліпшення екологічної обстановки.

Об'єктивна необхідність удосконалення і впровадження нових технологій виробництва біоетанолу з целюлозовмістні сировини пов'язана також з проблемою скорочення запасів невідновлюваних паливних ресурсів. Важко переоцінити вплив вуглеводнів на індустріальний та постіндустріальний періоди економічного розвитку. Нафта займає провідне місце в світовому паливно-енергетичному господарстві. Її частка в загальному споживанні енергоресурсів безперервно зростала: 5 % перед 1-ою світовою війною, 17,5 % напередодні 2-ї світової війни (1939–1945), 41,5 % в 1972, і 46,2 % в 1973 році, але згодом стала зменшуватися, склавши 33,6 % в 2010 31,3 % в 2014 році. Одне з пояснень подібного зниження – так званий «пік нафти» (*peak oil*). Концепція «піку нафти» є досить дискусійною. Деякі дослідники відзначають, що світ вже пережив достатню кількість нездійснених прогнозів «нафтових піків». Погоджуючись з ними, висунемо припущення, що це пов'язано не з хибністю самої передумови вичерпності запасів нафти, а з деякою недоробленістю використовуваних моделей (наприклад, недостатнє врахування появи нових технологій, що дозволяють більш ефективно розробляти нафтові пласти). Так, J. Боусе [1], досліджуючи можливість спрогнозувати на основі *Hubbert-Deffeyes Peak Oil Mode (HDPO model)* наближення пікового видобутку нафти, робить обмовку про те, що дана модель недооцінює нелінійний фактор появи нових нерозвіданих раніше родовищ; тільки ретроспективних даних про обсяги видобутку в попередні періоди часу недостатньо, щоб робити прогнози запасів в видобутку нафти в майбутньому. Разом з тим, J. Боусе зазначає: «модель HDPO показує, що співвідношення виробництва до кумулятивного виробництва зменшується в сукупному виробництві, при цьому швидкість зниження цього співвідношення теж знижується» [1]. Таким чином, спостерігаємо тенденцію насичення видобутку нафти. На даний час розвідані світові запаси природного газу, за оцінкою Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), становлять близько 144 трлн. м³, забезпеченість – близько 70 років. У перерахунку на умовне паливо доведені запаси газу наблизилися до розвіданих запасів нафти, а н-

нішній видобуток газу становить менше 60 % від нафтовидобутку [9].

Все це приводить до висновку про те, що навіть якщо людина не може обійтися без продуктів нафтопромисловості, то використання цих продуктів необхідно звести до мінімуму. Одним з можливих рішень цієї проблеми буде використання біоетанолу в якості палива.

До існуючих в даний час основним методам отримання біоетанолу відносяться: гідроліз целюлози сірчаною кислотою і подальше зброджування [13, 7, 8]; використання бактерій, що переробляють целюлозу [5, 11].

Целюлоза – основний продукт для отримання штучних полімерних волокон, на основі яких виготовляють штучне хутро, мідно-аміачний шовк, віскозу і інше. Оскільки бавовна складається практично на 100% з целюлози, то бавовняну промисловість можна назвати самою основною галуззю, в якій застосовують цей полісахарид.

Целюлоза в живій рослині дуже стійка і по відношенню до біологічних агентів. Але в відмерлих рослинах вона легко піддається впливу мікроорганізмів (бактерій і грибків), які в процесі своєї життєдіяльності перетворюють її в вуглекислоту, метан, воду і найпростіші розчинні в органічні кислоти.

З широкого спектра видів різних бактерій, які можуть оселятися в природних умовах на стовбурах дерев, лише деякі здатні деградувати деревину. З 150 перевірених штамів бактерій при розведенні їх на різних субстратах 23 % здатні руйнувати пектини, 17-ксілан, 10-карбоксил-метилцелюлозу, 9-холоцелюлозу і 6%-альфа-целюлозу, а з 80 випробуваних штамів тільки два руйнували незмінену деревину. Деградація компонентів деревини бактеріями частіше відбувається в аеробних умовах, ніж в анаеробних [6].

Методами генної інженерії можна посилювати природну здатність певних видів бактерій до здійснення специфічних біологічних процесів. Наприклад, вже отримані штами бактерій, які більш ефективно руйнують токсичні відходи, що забруднюють навколишнє середовище, сприяють прискоренню зростання сільськогосподарських культур, ефективно розщеплюють целюлозу до низькомолекулярних вуглецевих сполук.

Наші практичні дослідження були пов'язані з отриманням глюкози із опалого листа методом гідролізу сірчаною кислотою. Недоліками відомих технологій отримання глюкози з целюлози є низька продуктивність технології внаслідок відсутності (або недостатності) попередньої обробки сировини. У порівнянні з іншими типами целюлозовмісної сировини, опале листя має наступні переваги: легко піддається попередній обробці; збір опалого листя входить в число обов'язків комунальних служб міст та інших населених пунктів, організація централізованого приймання зібраного опалого листя не вимагає істотних додаткових витрат.

У процесі експерименту сировину (опале листя) піддавали попередньому подрібненню, яке, з огляду на характер сировини, здійснюється досить просто. Також сировина піддавалася попередній обробці сірчаною кислотою з наступним нагріванням до температури $\approx 160\text{--}170^\circ\text{C}$. Власне процес гідролізу проводився концентрованою сірчаною кислотою (рис. 1). Якісна реакція на глюкозу проводилася за допомогою сульфату міді. Попередня обробка (подрібнення) і нагрів до $\approx 160\text{--}170^\circ\text{C}$ дозволяє залучати до процесу гідролізу не тільки легко-, але також і важкогідролізовані полісахариди, істотно збільшуючи ефективність процесу.

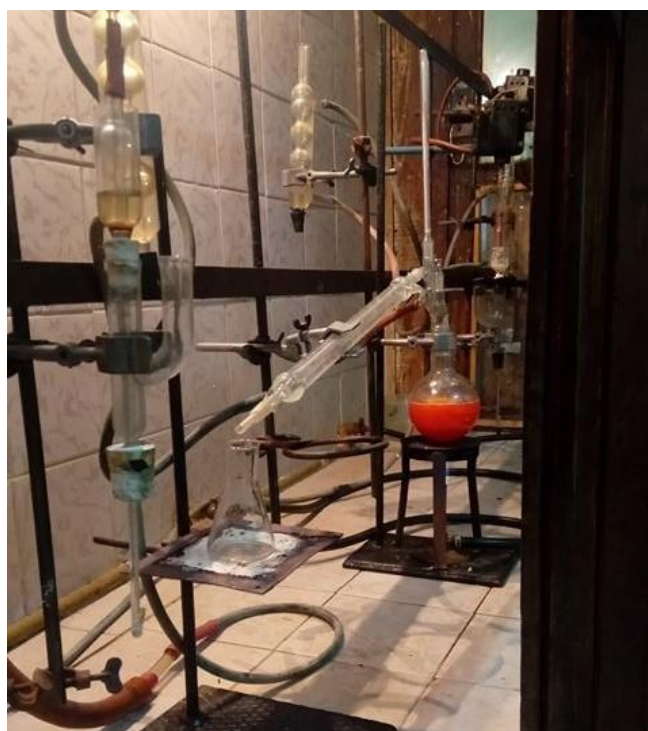


Рисунок 1 – Отримання біоетанолу з опалого листя

Наступним етапом є отримання з глюкози способом бродіння етилового спирту. Для більшої наочності отримана рідина була підфарбована барвником. За допомогою установки для перегонки (рис. 1) нагріваємо рідину. У холодильнику утворюється прозорий конденсат. При нагріванні рідини до 80 °С. починається бурхливе кипіння та утворення піни і конденсату. При зборі сировини (опалого листя) для подальшого отримання біоетанолу

слід враховувати місце збору. Дослідження на спектроаналізаторі хімічного складу листя з територій з різною забрудненістю проводилось наступним чином. Зразки опалого листя були згруповані на три групи: 1) опале листя з проїжджих вулиць; 2) опале листя з заміського лісового масиву; 3) опале листя, зібрані поблизу підприємства ПРАТ «Харківський коксовий завод». Елементний склад отриманих зразків представлений у табл. 2.

Таблиця 2 – Елементний склад зразків опалого листя

Ат. номер	Елемент	Концентрація за групами зразків		
		Група №1, проїжджі вулиці	Група №2, заміський лісовий масив	Група №3, поблизу підприємства ПРАТ «Харківський коксовий завод»
19	K	28,452	11,617	23,098
20	Ca	70,942	86,443	76,682
24	Cr	0,008	0,013	0,01
25	Mn	0,489	1,589	0,011
26	Fe	0,061	0,285	0,112
29	Cu	0,002	0,002	0,005
30	Zn	0,007	0,016	0,04
35	Br	0,002	0,002	0,004
37	Rb	0,001	0,001	0,001
38	Sr	0,036	0,032	0,037

Порівняльні профілі концентрацій елементного складу опалого листя (угрупованого за місцем збору) представлені на рис. 2 (за результатами спектрального аналізу).

За даними спектрального аналізу з'ясовано, що мікроелементний склад листя з екологічної зони і з вулиці або прилеглих заводів територій, значно відрізняється. Цю обставину доцільно враховувати при організації збору сировини для подальшого виробництва біоетанолу.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що виробництво біопалива з відновлюваної сировини має характерні ознаки інноваційної технології – швидке зростання цього сектора економіки супроводжується істотним збільшенням частки ринку. Застосування опалого листя в якості сировини дозволить усунути існуючий в даний час конфлікт інтересів, пов'язаний з використанням для виробництва біоетанолу харчової сировини, дозволить уникнути вилучення ресурсів зі сфери виробництва продуктів харчу-

вання. Істотними позитивними факторами виробництва і застосування біопалива є поліпшення екологічної обстановки, зниження шкідливого впливу на організм людини вихлопних газів, зниження забрудненості навколишнього середовища і, як наслідок, зниження захворюваності та супутніх витрат на медичне обслуговування. Використання біоетанолу в якості екобіопрісадок дозволяє підвищити октанове число палива, і, відповідно, підвищити ефективність роботи двигуна. Таким чином, використання біоетанолу призводить до якісного поліпшення техніко-економічних показників, що також є індикатором інноваційності. Загроза скорочення (вичерпання) невідновлюваних джерел енергії також є чинником, що обумовлює необхідність розвитку і вдосконалення технології виробництва біопалива.

Порівняно низька рентабельність виробництва біопалива пов'язана з низьким виходом цільового продукту і високою вартістю попередньої обробки целюлозної сировини. В результаті проведеного дослідження була вдосконалена методика отримання біоетанолу з відновлюваної незатребуваної сировини – опалого листя.

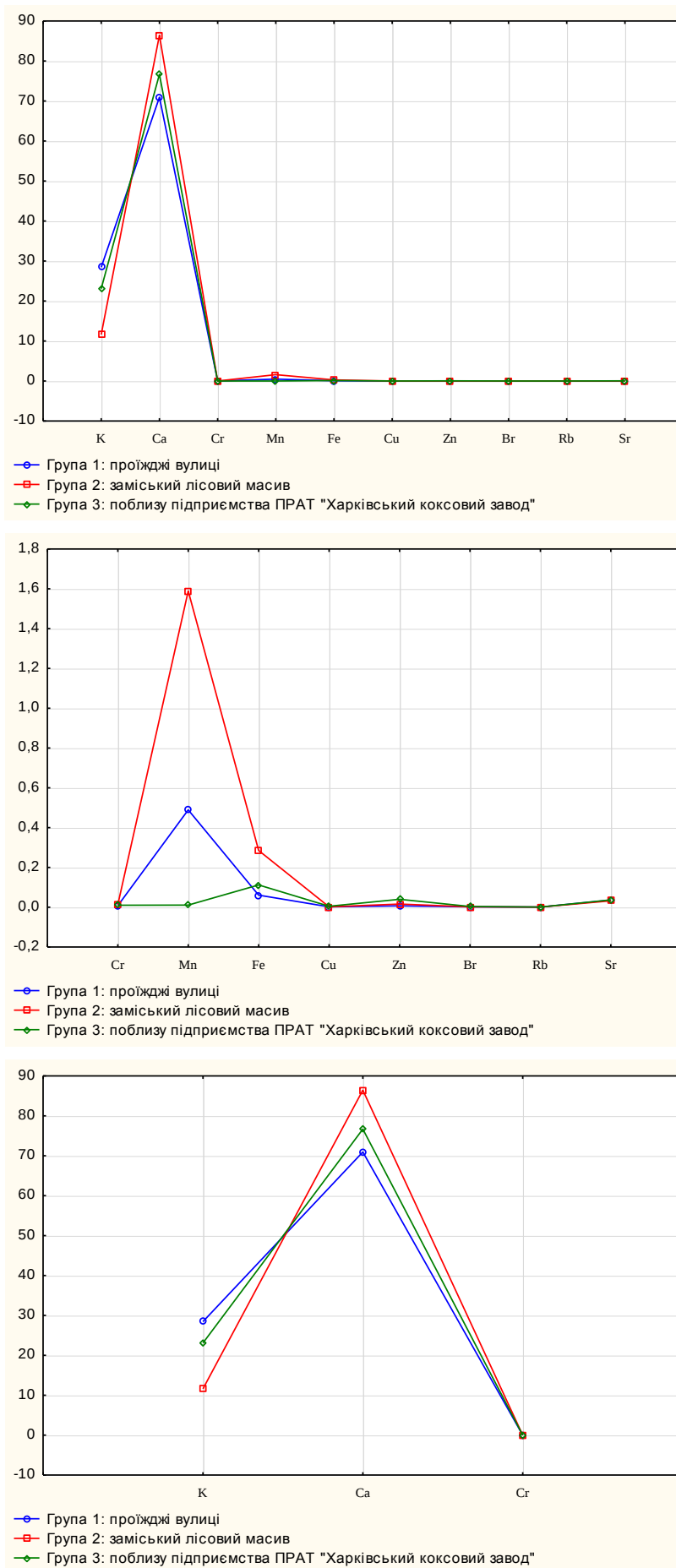


Рисунок 2 – Порівняльні профілі концентрацій елементного складу опалого листя (угрупованого за місцем збору) за результатами спектрального аналізу

Методика дозволяє збільшити ефективність процесу за рахунок більш інтенсивного залучення в процес гідролізу полісахаридів, що важко гідролізуються.

За допомогою спектрального аналізу встановлено, що мікроелементний склад опалого листя значно варіює залежно від місця збору і значною мірою відрізняється в забруднених районах міста порівняно з іншими територіями. Цю обставину доцільно враховувати при організації збору сировини для подальшої переробки на біоетанол.

За результатами дослідження удосконалено методику отримання біоетанолу з відновлюваної незатребуваної сировини – опалого листя. Методика дозволяє збільшити вихід біоетанолу за рахунок більш ефективного гідролізу важкогідролізуємих полісахаридів. Проведено спектрографічний аналіз опалого листя, зібраних з територій з різною забрудненістю. Дістало подальший розвиток дослідження відмінностей в мікроелементному

складі листя, зібраного поблизу екологічно брудних виробництв і проїжджих вулиць, з одного боку, і на екологічно чистих територіях, з іншого боку. Уточнено підходи щодо формування переліку місць збору сировини для виробництва біоетанолу з урахуванням ступеня забрудненості території.

Результати дослідження можуть бути використані в практичній роботі, пов'язаної з впровадженням екологічно чистих технологій переробки відновлюваної незатребуваної сировини. Подальші перспективи дослідження можуть бути пов'язані з більш глибоким дослідженням залежності між ступенем забрудненості території збору сировини для виробництва біоетанолу та мікроелементного складу кінцевої продукції. Також подальші перспективи дослідження можуть бути пов'язані з уточненням ступеня інноваційності запропонованої технології і розрахунком її економічної ефективності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Boyce, J. R. (2013). Prediction and Inference in the Hubbert-Deffeyes Peak Oil Model. *The Energy Journal*, 34(2). doi: [10.5547/01956574.34.2.4](https://doi.org/10.5547/01956574.34.2.4)
2. Chachina, S. B., & Dvojan, A. V. (2014). [Poluchenie biojetanola iz organicheskogo syr'ja](#) [Getting bioethanol from organic raw materials]. *Omskij nauchnyj vestnik*, 2(134), 224–228 (in Russian) [Чачина, С. Б., & Двоян, А. В. (2014). Получение биоэтанола из органического сырья. *Омский научный вестник*, 2(134), 224–228].
3. European Parliament and of the Council. (2009). *Official Journal of the European Union*, L 140/16. Retrieved May 16, 2018, from <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>
4. Erkina, N. V. (2012). Zdorov'e naselenija v kontekste jekologicheskogo monitoringa vozdušnoy sredy urbosistemy [Public health in the context of environmental monitoring of the urban environment]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo*, 25(1), 75–83 (in Russian) [Еркина, Н. В. (2012). Здоровье населения в контексте экологического мониторинга воздушной среды урбосистемы. *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского*, 25(1), 75–83].
5. Garmash, S. N., Gerasimenko, V. A., & Runova, G. G. (2015). [Ekobiotechnology of processing of the wastes for the receipt of bioethanol](#). *Construction, materials science, mechanical engineering*, 83, 77–82.
6. Glick, B. R., & Pasternak, J. J. (2017). *Molecular biotechnology: principles and applications of recombinant DNA* (5th ed.). Washington: ASM press.
7. Jacenkova, O. V., Pen, R. Z., Skripnikov, A. M., Beregovcova, N. G., & Kuznecov, B. N. (2016). Optimizacija processa gidroliza mikrokristallicheskoj celljulozy koncentrirovannoj sernoj kislotoj [Optimization of the process of hydrolysis of microcrystalline cellulose with concentrated sulfuric acid]. *Himija v interesah ustojchivogo razvitija*, 24(6), 811–819. doi: [10.15372/KhUR20160612](https://doi.org/10.15372/KhUR20160612) (in Russian)

- [Яценкова, О. В., Пен, Р. З., Скрипников, А. М., Береговцова, Н. Г., & Кузнецов, Б. Н. (2016). Оптимизация процесса гидролиза микрокристаллической целлюлозы концентрированной серной кислотой. *Химия в интересах устойчивого развития*, 24(6), 811–819. doi: 10.15372/KhUR20160612].
8. Kuznecov, B. N., Kuznecova, S. A., & Taraban'ko, V. E. (2004). *Novye metody poluchenija himicheskikh produktov iz biomassy derev'ev sibirskih porod* [New methods of obtaining chemical products from the biomass of trees of Siberian breeds]. *Rossiiskij himicheskij zhurnal*, 3(48), 4–20 (in Russian)
[Кузнецов, Б. Н., Кузнецова, С. А., & Тарабанько, В. Е. (2004). Новые методы получения химических продуктов из биомассы деревьев сибирских пород. *Российский химический журнал*, 3(48), 4–20].
9. Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy. (2013). *Prohnozne otsiniuvannia ta khid osvoiennia vydobuvannia netradytsiinykh dzherel pryrodnoho hazu v umovakh konkurentsii na enerhetychnomu rynku* [Forecast assessment and development of extraction of non-traditional sources of natural gas in conditions of competition in the energy market]. Kyiv: Ukrenerho (in Ukrainian)
[Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. (2013). *Прогнозне оцінювання та хід освоєння видобування нетрадиційних джерел природного газу в умовах конкуренції на енергетичному ринку*. Київ: Укренерго].
10. Pope, C. A., Brook, R. D., Burnett, R. T., & Dockery, D. W. (2011). *How is cardiovascular disease mortality risk affected by duration and intensity of fine particulate matter exposure? An integration of the epidemiologic evidence*. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 4(1), 5–14. doi: 10.1007/s11869-010-0082-7
11. Shmidt K. N., & Hudaigulov, G. G. (2016). *Vydelenie novykh shtammov-destruktorov cellulozy, ih rol' v snizhenii antropogennoj nagruzki na jekosistemu* [Isolation of new cellulose destruction strains, their role in the decrease of anthropogenic load to the ecosystem]. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 4(4), 54–63 (in Russian)
[Шмидт К. Н., & Худайгулов, Г. Г. (2016). Выделение новых штаммов-деструкторов целлюлозы, их роль в снижении антропогенной нагрузки на экосистему. *Вестник Южно-Уральского государственного университета*, 4(4), 54–63].
12. Traviss, N. (2012). *Breathing easier? The known impacts of biodiesel on air quality*. *Biofuels*, 3(3), 285–291.
13. Trofimova, N. N., & Babkin, V. A. (2009). *Izuchenie kislotnogo gidroliza polisaharidov drevesiny listvennicy dlja poluchenija kristallicheskoj glukozy* [Study of acid hydrolysis of larch polysaccharides to obtain crystalline glucose]. *Himija rastitel'nogo syr'ja*, 3, 31–34 (in Russian)
[Трофимова, Н. Н., & Бабкин, В. А. (2009). Изучение кислотного гидролиза полисахаридов древесины лиственницы для получения кристаллической глюкозы. *Химия растительного сырья*, 3, 31–34].
14. Vil'danov, F. Sh., Latypova, F. N., Chanyshev, R. R., & Nikolaeva, S. V. (2011). *Sovremennye metody poluchenija biojetanola* [Modern methods of production of bioethanol]. *Bashkirskij himicheskij zhurnal*, 18(2), 128–134 (in Russian)
[Вильданов, Ф. Ш., Латыпова, Ф. Н., Чанышев, Р. Р., & Николаева, С. В. (2011). Современные методы получения биоэтанола. *Башкирский химический журнал*, 18(2), 128–134].