



**БЛЮМ**  
**Ярослав Борисович** — академік НАН України, директор Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки Національної академії наук України», голова Науково-технічної ради цільової програми наукових досліджень НАН України «Біопаливні ресурси і біоенергетика»

## ПРО РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ЦІЛЬОВОЇ ПРОГРАМИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ «БІОПАЛИВНІ РЕСУРСИ І БІОЕНЕРГЕТИКА»

Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 3 травня 2023 року

*У доповіді наведено окремі вагомі наукові результати, отримані в 2018—2022 рр. під час виконання цільової програми наукових досліджень НАН України «Біопаливні ресурси і біоенергетика». Опрацьовано важливі науково-технічні аспекти створення вихідної сировини поліпшеної якості для різних видів біопалив, розроблено оригінальні підходи для одержання біопалив та підвищення ефективності процесів їх виробництва, а також комплексного використання відходів виробництва біопалив, підготовлено рекомендації щодо розроблення відповідної нормативно-правової бази.*

Вельмишановний Анатолію Глібовичу!  
Вельмишановні члени Президії!

Цільова програма наукових досліджень НАН України «Біопаливні ресурси і біоенергетика» була розрахована на 2018—2022 рр., і сьогодні маю честь доповісти вам результати, отримані під час її виконання. Ця програма поєднала в собі цілий комплекс проблем — від поліпшення біомаси як сировини для отримання біопалив до розроблення й удосконалення технологічних процесів їх виробництва. Нещодавно, 2 травня 2023 р., Верховна Рада України прийняла за основу комплексний законопроект № 9011-д «Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та «зеленої» трансформації енергетичної системи України», який передбачає відповідні зміни до низки нормативних актів і підсилює значення відновлюваних джерел енергії, в тому числі енергії біомаси та біогазу.

Термін «біомаса» по-різному трактують у різних галузях, але в Законі України «Про альтернативні види палива» наведено його базове визначення як сировини для енергетичного використання: «біомаса — невикопна біологічно відновлювана речо-

вина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу».

Отже, сировиною для отримання біопалив є ферментовані вуглеводні (цукри, крохмаль), олії, протеїни, целюлозні волокна, лігнін тощо. Основні технології виробництва різних видів біопалива наведено в таблиці. Їх можна поділити на технології першого покоління (більш прості, давно відомі процеси) і технології другого покоління, які ґрунтуються на новітніх досягненнях біотехнологій.

Програма складалася з трьох основних розділів, за якими виконувалося 14 проектів, у яких брали участь 13 установ з чотирьох відділень НАН України, а саме: Відділення фізико-технічних проблем енергетики, Відділення хімії, Відділення біохімії, фізіології і молекулярної біології та Відділення загальної біології. Таке поєднання зусиль науковців різних

спеціальностей дало змогу забезпечити комплексний підхід до реалізації завдань Програми і отримати вагомні наукові результати.

Наведу лише окремі приклади цих результатів.

За першим розділом «**Біоенергетичні ресурси та покращення первинної сировини для отримання біопалив**» уперше в Україні створено сорти цукрового сорго (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) для виробництва біоетанолу зі значно вищим вмістом цукрів (понад 20 %) порівняно з кормовими сортами (12–15%). Вихід біоетанолу становить 5–8 т/га. Зібрано колекцію генотипів цукрового сорго (близько 100 зразків). Вивчено біохімічні характеристики та показники продуктивності біомаси цукрового сорго як енергетичної сировини другого покоління. Відібрано найцінніші генотипи (14 зразків) як вихідні форми, на основі яких виведено нові сорти Енергодар, Ботанічний та Соргодар, у яких визначено склад цукрів соку і проаналізовано їх придатність для ферментації в біоетанол та біобутанол. Встановлено енергетичний потенціал цих сортів та оцінено вихід компонентів рідких палив.

#### Технології виробництва біопалива

Тип біопалива	Сировина	Виробничий процес
<i>Біопаливо першого покоління</i>		
Біогаз	Волога біомаса, метан	Виділення і спалювання
Біоетанол	Зернові, цукрова тростина, цукровий буряк	Гідроліз і ферментація
Біодизель	Олійні, відходи олійних	Холодне пресування, екстракція і трансетерифікація
Етил-трет-бутиловий етер	Біоетанол	Хімічний синтез
<i>Біопаливо другого покоління</i>		
Біодизель	Рослинні олії	Гідрогенізація, двофазна тандемна каталітична конверсія
Біоетанол з целюлози	Лігноцелюлоза	Вдосконалені піроліз і ферментація
Біодизель, біоетанол, біокеросин	Мікроводорості	Біокрекінг
Синтетичне біопаливо	Лігноцелюлоза, крохмалевмісні культури, вугілля	Газифікація і синтез, що забезпечують отримання надчистих видів палива, зменшення викидів парникових газів, більшу зручність у транспортуванні
Диметиловий етер, дизельне паливо	Целюлоза/чорний луг	Хімічний синтез і газифікація
GTL-біопаливо з газу	Вугілля, природний газ	Хімічний синтез
Біогаз	Лігноцелюлоза	Газифікація і метанізація

Зазначені сорти апробовано, тобто їх було висіяно і використано для виробництва біоетанолу, в ТОВ «Компанія «Еко-Енергія» (Сумська обл.) та на Гайсинському спиртзаводі. Отримані результати свідчать про те, що посіви цукрового сорго нашої селекції на 2 тис. га забезпечують отримання 17,5 тис. т соргової меласи і 36,4 тис. т пелет на рік, що дозволяє знизити енергетичну залежність виробництва від таких джерел викопних енергоресурсів, як природний газ або мазут. Фінансової окупності такого проєкту можна досягти вже на другий рік.

Удосконалено технології отримання біобутанолу на основі нових штамів з підвищеною конверсією для ферментації соргового субстрату. Відібрано новий штам — продуцент біобутанолу *Clostridium sp.* IMB B-7570. Показано високий рівень накопичення спиртів при культивуванні цього штаму на незерновій біомасі з різною попередньою підготовкою. Розшифровано геном цього штаму — продуцента біобутанолу. Результати впроваджено у ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства НААН України».

Розроблено оригінальну систему селекції для відбору мутантів метилотрофних дріжджів з підвищеним рівнем продукції етанолу при високотемпературному зброджуванні ксилози за здатністю до росту на 15 %-й L-арабінозі. За допомогою сайт-специфічного мутагенезу модифіковано гомологічний ген *Hxt1* та гетерологічні *Gal2*, *Hxt7*, які є транспортерами цукрів, для забезпечення одночасного транспорту глюкози та ксилози у клітини рекомбінантних штамів дріжджів *Ogataea polymorpha*. Ці штами характеризуються поліпшеною алкогольною ферментацією пентозних цукрів, зокрема ксилози, яка є другим за вмістом цукром після глюкози у складі гідролізатів лігноцелюлози.

Відпрацьовано технологію отримання біоетанолу другого покоління з лігноцелюлозних відходів основних зернових культур України. Технологія полягає у попередній обробці рослинних субстратів лугом та мікрохвильовим опроміненням, гідролізі (оцукрюванні) їх мультиферментними комплексами мікроско-

пічних грибів *Fennellia flavipes* IMB F-100112 і *Penicillium funiculosum* IMB F-100111 та в подальшій ферментації отриманих цукрів дріжджами: глюкози — *Saccharomyces cerevisiae* УКМ Y-1979 і ксилози — рідкісними ксилотозоброджуючими дріжджами *Scheffersomyces stipitis*, з потенційним виходом етанолу 6,1–7,7 г/л. Ідентифіковано новий штам гриба *Irpex lacteus*, активність целюлаз якого перевищує показники відомих комерційних культур. Запропоновано технологічну схему виробництва й підвищення виходу целюлаз *I. lacteus*.

Створено колекції рослин різних форм і сортів рижію посівного (*Camelina sativa*), гірчиці ефіопської (*Brassica carinata* A. Braun) та роду катран (*Crambe*), а також колекції штамів водоростей родин *Scenedesmaceae*, *Chlorella*-подібних, *Selenastraceae*, серед яких відібрано перспективні для отримання біодизелю штами — ефективні продуценти жирних кислот і біомаси, одержано пробні партії біодизелю з них.

З метою підвищення продуктивності біомаси за допомогою оригінального методу поліплоїдизації в культурі *in vitro* отримано рослини міскантусу гігантського та китайського з підвищеним рівнем плоідності і адаптовано їх до умов відкритого ґрунту.

Проведено відбір нових стресостійких генотипів та оцінку продуктивних характеристик низки біоенергетичних трав'янистих і деревних культур як біопаливної сировини. Мобілізовано наявні і виведено нові генотипи швидкозрослих дерев — тополі, верби, павловнії (36 зразків) та багаторічної трав'яної рослини сільфію (35 зразків), перспективних для біопаливної галузі. Розроблено технологічні протоколи для введення в культуру *in vitro* та мікроклонального розмноження клонів тополь та верб. Проведено комплексну оцінку адаптивного, біохімічного та продуктивного потенціалу нових стресостійких генотипів цих рослин для використання їх як альтернативних джерел твердого біопалива першого і другого покоління.

У рамках другого розділу Програми «Хімічні етапи отримання біопалив та їх супутніх продуктів» створено ефективний спосіб одер-

жання етилових естерів, які повністю відповідають вимогам стандартів до біодизельного палива. На цю розробку, яка полягає у лужній переестерифікації використаних кулінарних олій з кислотністю до 6 мг КОН/г на етилаті калію, отримано патент. Крім того, вдосконалено органосольвентний спосіб одержання мікрокристалічної целюлози з технічних культур (льон, просо прутоподібне) та сільськогосподарських відходів (солома пшениці, солома сої, стебла соняшнику, качани кукурудзи, рисова лузга, відходи очищення сої). Ці розробки впроваджено у ТОВ «Біотех ЛТД» (с. Городище Бориспільського району), ТОВ «Укравіт Сайенс ПАРК» та Національному авіаційному університеті.

На основі відновлюваної рослинної сировини та відходів виробництва біопалив (рослинні олії, «чорний гліцерин») розроблено методи синтезу олігомерів з функціональними групами: епоксидними, циклокарбонатними, уретановими та аміноамідними. Досліджено їх будову та фізико-хімічні властивості.

Для одержання полімерних матеріалів із заданими властивостями на основі рослинних олій (як приклад обрано соєву олію) отримано епоксидциклокарбонати соєвої олії з різним вмістом циклокарбонатних та епоксидних груп. Ці сполуки використано як модифікатори епоксидних клеїв, пластифікатори та уретанамідні затверджувачі епоксидних композиційних полімерних матеріалів із застосуванням екологічно безпечного неізоціанатного методу отримання поліуретанів, що дозволило виключити з синтезу токсичні ізоціанати, підвищити еластичність і поліпшити фізико-хімічні властивості епоксидних композитів.

Розроблено еластичний композиційний матеріал на основі рідкого каучуку і відходів виробництва біопалива (біогліцерину) з використанням полімерних відходів та відпрацьованого машинного масла. З метою зниження собівартості створено і відпрацьовано технологію використання в композиції мінеральних наповнювачів, що розширює спектр сировинних ресурсів для виробництва гідроізоляції для будівництва.

Розроблено ТУ на затверджувач АТ-1, в якому використано модифіковані рослинні олії. Результати роботи впроваджено у ТОВ «Резинпромсервіс».

За третім розділом «**Технологічні засади використання біопалив**» створено дослідно-промислову установку для комплексної переробки рослинних відходів сільського господарства та лісотехнічної промисловості на біопаливо і побічні види продукції. Установка дозволяє одночасно в одному апараті проводити процеси диспергування, розчинення, нагрівання, перемішування та гідролізу, що приводить до зменшення часу приготування в 2,0–2,5 раза, зниження енерговитрат на 30–35 % і собівартості – на 20–25 %. Застосування цієї установки на етапі попередньої підготовки рослинної сировини до гідролізу дає можливість видалити до 86,5 % лігніну.

Створено технологію використання відходів для енергетичного самозабезпечення виробництва біоетанолу. Це дозволяє замінити викопні енергоносії на підприємствах з отримання біоетанолу відходами від його виробництва. Одержані результати використано при проектуванні промислової установки з метанової ферментації мелясної барди та супутніх субстратів для виробництва біогазу як основи технологічної частини робочого проекту, що реалізується у ТОВ «Компанія «Еко-Енергія». Результати цих робіт узагальнено у вигляді технологічних рішень з комплексного перероблення рослинної енергетичної сировини (біомаси цукрового сорго та пальчастого проса) у паливний етанол, біогаз та органічні добрива.

Запропоновано технологічні рішення для перетворення бурякової віноси на альтернативне паливо для енергозабезпечення промислових підприємств з виробництва біоетанолу. Розроблено узагальнену схему процесу отримання біогазу та органічних добрив з відходів виробництва біоетанолу. Створено промислову енергоощадну установку і технологічний регламент для концентрування бурякової віноси як альтернативного палива. Результати роботи впроваджено на ДП «Гайсинський спиртовий завод» для енергозабезпечення підприємства.

Проведено чисельне моделювання процесів тепло- і масопереносу, що супроводжують горіння пелет сільськогосподарського походження (агророслинних та деревних). Надано рекомендації стосовно використання найоптимальніших режимів спалювання пелет різного типу в біокотлах з пелетним пальником. Результати роботи впроваджено на підприємстві ТОВ «Теплові насоси ВДЕ».

Створено технології модернізації вихрових пальникових пристроїв типів ГМ, ГМГ, ГМГБ та подових пальників. Модернізовано амбразури 3 пальників котла ДКВР-20-13, що уможливило його роботу як на природному газі, так і на біогазі на Бортницькій станції аерації.

Результати роботи впроваджено у департаменті експлуатації каналізаційного господарства ПрАТ «АК «Київводоканал».

Результати досліджень, проведених під час виконання Програми, доповідалися на міжнародних і вітчизняних науково-практичних конференціях та семінарах, їх висвітлено у понад 290 публікаціях, серед яких 5 монографій і статті у високореєтингових фахових журналах. Отримано 20 патентів України на корисні моделі та винаходи, 7 свідоцтв про авторство на сорти рослин та 4 свідоцтва про депонування нових штамів, подано 5 заявок на патенти та сорти рослин.

Дякую за увагу!

Yaroslav B. Blume

*Institute of Food Biotechnology and Genomics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-7548>

ABOUT THE RESULTS OF THE IMPLEMENTATION OF THE TARGET PROGRAM OF SCIENTIFIC RESEARCH OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE "BIOFUEL RESOURCES AND BIOENERGY"

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, May 3, 2023

The report presents some important scientific results obtained in 2018-2022 during the implementation of the target scientific research program of the NAS of Ukraine "Biofuel resources and bioenergy". Important scientific and technical aspects of the creation of feedstock of improved quality for various types of biofuels are elaborated, original approaches are developed for obtaining biofuels and increasing the efficiency of their production processes, as well as comprehensive use of biofuel production waste, recommendations are prepared for the development of appropriate regulatory and legal framework.

**Cite this article:** Blume Ya.B. About the results of the implementation of the target program of scientific research of the National Academy of Sciences of Ukraine "Biofuel resources and bioenergy". *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (7): 56–60. <https://doi.org/10.15407/visn2023.07.056>