

НАУКОВІ ЗАСАДИ ПРОЄКТУ БІОРЕФАЙНЕРУ – ДОМІНАНТИ БІОЕКОНОМІЧНОГО КЛАСТЕРУ В РЕГІОНІ

В. В. Никифоров

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: v-nik@kdu.edu.ua

М. С. Мальований

Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С.Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. E-mail: myroslav.mal@gmail.com

А. О. Касич

Київський національний університет технологій та дизайну
вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ, 01011, Україна. E-mail: kasich.alla@gmail.com

Сьогодні біоекономіка Європейського Союзу наближається до трьох трлн € і забезпечує 25 млн. робочих місць, що становить більше 10 % робочого ринку в таких галузях європейської економіки, як аграрна і лісова, харчова та фармацевтична біотехнологія, а також в екологічній і енергетичній біотехнології. Біоeconomy Technology Platforms визначає біоекономіку як процес сталої (раціональної та збалансованої) конверсії біомаси в харчові, медичні, фармацевтичні та інші промислові товари, а також біотрансформації її в енергію, а запорукою її розвитку – збільшення інвестицій у наукові розробки. Саме тому проєкт спрямований на залучення інвестицій розбудови біорефайнеру на відновлювальній безкоштовній сировині – біомасі ціанобактерій та інших масових форм гідробіонтів водосховищ дніпровського каскаду, що є субстратом для декількох промислових біотехнологій. Упровадження розробки спрямоване на забезпечення біоекономічного кластеру Середнього Придніпров'я дешевим метаном і добривом та поліпшити екологічний стан р. Дніпро, прибережних населених пунктів і місць відпочинку, збільшити продуктивність риби, а також знизити витрати на очистку води відповідно до ДСТУ «вода питна», оскільки вилучення ціанобактерій із води призведе до поліпшення її якості.

Ключові слова: біоекономіка, біотехнологія, біорефайнер, гідробіонти, Середнє Придніпров'я.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТА БИОРЕФАЙНЕРА – ДОМИНАНТЫ БИОЭКОНОМИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА В РЕГИОНЕ

В. В. Никифоров

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: v-nik@kdu.edu.ua

М. С. Малеванный

Национальный университет «Львовская политехника»
ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина. E-mail: myroslav.mal@gmail.com

А. А. Касич

Киевский национальный университет технологий и дизайна
ул. Немировича-Данченко, 2, г. Киев, 01011, Украина. E-mail: kasich.alla@gmail.com

Сегодня биоэкономика Европейского Союза приближается к трем трлн € и обеспечивает 25 млн. рабочих мест, что составляет более 10 % рабочего рынка в таких отраслях европейской экономики, как аграрная и лесная, пищевая и фармацевтическая биотехнология, а также в экологической и энергетической биотехнологии. Bioeconomy Technology Platforms определяет биоэкономику как процесс постоянной (рациональной и сбалансированной) конверсии биомассы в пищевые, медицинские, фармацевтические и другие промышленные товары, а также биотрансформации ее в энергию, а залогом ее развития – увеличение инвестиций в научные разработки. Именно поэтому проєкт направлен на привлечение инвестиций развития биорефайнера на восстановительном бесплатном сырье – биомассе цианобактерий и других массовых форм гидробионтов водохранилищ Днепровского каскада, которая является субстратом для нескольких промышленных биотехнологий. Внедрение разработки направлено на обеспечение биоэкономического кластера Среднего Приднепровья дешевым метаном и удобрением и улучшение экологического состояния р. Днепр, прибрежных населенных пунктов и мест отдыха, увеличение производительности рыбы, а также снижение затрат на очистку воды в соответствии с ГОСТ «вода питьевая», поскольку изъятие цианобактерий из воды приведет к улучшению ее качества.

Ключевые слова: биоэкономика, биотехнология, биорефайнер, гидробионты, Среднее Приднепровье.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Антропогенна евтрофікація штучних та природних водойм у Європі погіршує якість питної води, від якої залежить тривалість життя людини. В екосистемах каскаду дніпровських водосховищ результатом евтрофікації є «цвітіння» води, зумовлене масовим розвитком ціанобактерій. Разом з тим сучасна біоекономіка передбачає розбудову мережі біокластерів, основною структурною одиницею яких є біорефайнери – підприємства, що здійснюють

конверсію біомаси на паливо, енергію та хімічні речовини у повному циклі. Біорефайнер, що працює на біомасі ціанобактерій, стане енергопластичним ядром інфраструктури біокластеру в умовах Середнього Придніпров'я (газогенератор, установка зі скраплення біогазу, паливний котел на біомасі, когенераційна установка, підприємства з виробництва мікроцистину, фікоціаніну, амінокислотного гідролізату, переробки дигестату на біодобриво, тепличний комплекс тощо).

Упровадження проекту в умовах Середнього Придніпров'я дозволить розв'язати ряд соціальних (поліпшення якості питної води, забезпечення робочими місцями тощо), економічних (забезпечення ринку цільовими продуктами біорефайнеру), природоохоронних (реабілітація екосистем водосховищ, раціональне використання природних ресурсів тощо) проблем. Переробку біомаси ціанобактерій на різні цільові продукти (біопаливо, добрива, біологічно активні речовини) за використанням різноманітних методів та способів (біометаногенез, спиртове бродиння, ультразвукова і гідродинамічна кавітація, лазерне опромінення, екстракція тощо) покладено в основу інноваційної промислової біотехнології. Створення біоекономічного кластеру в Середньому Придніпров'ї на основі біорефайнеру з використанням біомаси ціанобактерій, інших масових форм гідробіонтів та традиційних відновлювальних джерел як сировини спрямоване на забезпечення якості питної води, покращення здоров'я населення, відкриття нових робочих місць для громади, а також сталого еколого-економічного розвитку регіону в цілому.

Об'єктом дослідження є три основні компоненти промислових біотехнологій відновлювальний субстрат (ціанобактерії й інші масові форми гідробіонтів, а також органічні відходи різного походження), біоагенти (наприклад метанобактерій для виробництва біогазу) та цільові продукти (біопаливо, добриво, біологічно активні речовини для лікарських та косметичних форм тощо). Предмет дослідження – біорефайнер, експлуатація якого основана на промислових біотехнологіях (енергетичних, екологічних та інших) переробки надлишкової біомаси прісноводних і морських гідробіонтів.

Метою статті є розробка проекту біорефайнеру – домінанти регіонального біоекономічного кластеру на основі комплексної промислової біотехнології – нового технологічного процесу біодеструкції, біоконверсії або біотрансформації органічної маси водних організмів, що складається переважно із ціанобактерій, задля отримання максимально можливої кількості енергії і корисних продуктів.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі завдання: а) розробити комплексну промислову біотехнологію, що забезпечує рентабельне виробництво різноманітних цільових продуктів із біомаси ціанобактерій, зібраної під час «цвітіння» та інших масових форм гідробіонтів Кременчуцького та Кам'янського водосховищ; б) скласти загальну конструкторську документацію на основні вузли біорефайнеру; в) розрахувати економічну та соціальну ефективність реалізації біопалива, добрива, препаратів для захисту рослин і тварин та іншої продукції біорефайнеру в умовах фермерських господарств на території Середнього Придніпров'я; г) на основі SWOT аналізу розробити бізнес-план регіонального біоекономічного кластеру на базі біорефайнеру; д) визначити оптимальні способи вилучення ліпідів, токсинів та інших біологічно активних речовин із біомаси ціанобактерій; е) дослідити специфіку ферментативних реакцій біодеструкції, біоконверсії та біотрансформації ціанобактерій.

Задля визначення технологічних умов комплексної промислової біотехнології; ж) визначити методом біотестування безпечний рівень токсичності дегістату для використання як органічно-мінерального добрива та провести його апробацію в польових умовах; з) вивчити можливість застосування оптичного лазера для деструкції клітинних стінок ціанобактерій з метою максимального вилучення ліпідів; к) дослідити фізичні, хімічні та біологічні чинники, що збільшують виробництво цільових продуктів проектованої промислової біотехнології; л) визначити енергетичну ефективність біодизеля, виготовленого за використанням ліпідів, вилучених із біомаси ціанобактерій.

Під час попередніх досліджень [1] встановлено, що внесення нітрогенфіксуєючих водоростей у ґрунт при культивуванні рослин сприяє регулюванню вмісту Нітрогену в ґрунті, а також зміни його кислотності. Відзначено позитивний вплив альголізації ґрунтів на розвиток рослин. У роботі [2] показано, що застосування ефлюента сприяє зниженню фітопатогенного навантаження на ґрунт, частково замінює застосування дорогих мінеральних добрив. У роботі [3] виявлено, що при використанні дегістату як органічного добрива на дерново-опідзолених та дерново-карбонатних ґрунтах врожайність зернових підвищується в середньому на 4,2–6,4 %, а на чорноземних – на 8–17,4 %. У роботі [4] доведено, що на основі ціанобактерій можна створювати стійкі мікробні асоціації запрограмованого складу для підсилення дії існуючих мікробних популяцій родів *Rhizobium*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* і *Agrobacterium*. Особливе прикладне значення має застосування ціанобактерій для боротьби з фітопатогенними грибами роду *Fusarium*.

Іншими авторами [5] ціанобактерії розглядаються як продуценти біоцидних речовин. Терпенова фракція та її компоненти, що виділені з клітин чистої культури *Microcystis aeruginosa*, впливають на деякі види комах як репеленти або детеренти, на інші – як токсини, або поєднують детерентні й токсичні властивості, а на певні види чинять дію як аттрактанти. Ліпідна фракція пригнічує живлення, зростання й метаморфоз колорадського жука та викликає загибель американського білого метелика. У роботі [6] вивчено продуктивність сої та її стійкість до захворювань під впливом полісахаридів, отриманих із морських водоростей. Найбільш ефективними препаратами, що стимулюють зростання, продуктивність і стійкість сої до захворювань, виявилися β -D-глюкоолігосахариди й фукоїдани. Обробка насіння розчинами цих речовин забезпечила підвищення врожайності на 3,1...3,9 ц/га.

Раніше наведено огляд даних [7], що стосуються додаткових ресурсів основних біогенних елементів і біологічно активних речовин, важливих для врожайності сільськогосподарських рослин і підтримки родючості ґрунтів. Наведено приклади практичної реалізації подібних завдань як екологічно доцільного прийому зменшення негативних наслідків антропогенного преса на водні екосистеми і поповнення в ґрунті певних запасів біогенних елементів. У роботі [8] проведено аналіз сучасних

наукових досліджень з практичного використання мікроводоростей у біотехнології. При виробництві біодизелю біомасу мікроводоростей розглядають як альтернативну «енергетичну» сировину. У роботі [9] проаналізовано інноваційний процес виробництва біогазу шляхом бродиння з використанням морських макроводоростей як сировини для пілотного проекту – проектний завод в місті Аугуста (Сицилія, Італія).

Серед інших використано оригінальні ідеї та робочі гіпотези проекту:

- біотехнологічне перетворення екологічного лиха («цвітіння» водосховищ) на добробут місцевих громад (поліпшення здоров'я, робочі місця тощо);

- ідея розбудови біорефайнеру з утилізації ціанобактерій;

- ідея використання відновлювального джерела біопалива та інших цільових продуктів біомаси гідробіонтів як сировини для біорефайнеру;

- ідея застосування екологічно безпечного й економічно вигідного способу збору масових форм гідробіонтів, зокрема ціанобактерій (безкоштовної сировини);

- ідея визначення безпечного рівня токсичності дегістату як органо-мінерального добрива методом біотестування (ДСТУ 4174:2003 Якість води);

- ідея включення ціаноліпідів до складу біодизеля як макроергічної насадки;

- гіпотеза застосування лазерного опромінювання для повного вилучення ліпідів із фітомаси гідробіонтів;

- гіпотеза використання мікроцистинів як інгібіторів фітопатогенних мікроорганізмів, зокрема фітофтори;

- підхід з оздоровлення довкілля і населення шляхом поліпшення якості природної, у тому числі питної води, унаслідок вилучення токсичних ціаней із акваторії водосховищ дніпровського каскаду.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Під час досліджень авторами з'ясовано еколого-економічне значення ціанобактерій та перспективи ефективного використання їх біомаси, визначено видовий склад інших масових форм гідробіонтів дніпровських водосховищ, а також розроблено новий безвідходний технологічний процес, що мінімізує негативні наслідки «цвітіння» природних і штучних водойм у регіоні, отримано цільові продукти (ліпіди, біометан, біоетанол, органо-мінеральне добриво, та біологічно активні речовини, перспективних для використання, зокрема мікроцистин) [10].

Також було обґрунтовано наукові засади інноваційної біотехнології переробки ціанобактерій, доведено ефективність використання як субстрату біомаси інших масових форм гідробіонтів (вищої водної рослинності, морських макрофітів тощо) та мультисубстратних сумішей (листяний опад, активний мул, агро-та техногенні відходи тощо).

Раніше за участю авторів був створений проект біоконверсійної установки та розроблено технічні умови процесу переробки масових форм гідробіонтів та для органо-мінерального добрива; за проектною схемою побудовано промислово-дослідний

прототип біогазової установки, а також розроблений віртуальний комплекс технологічного процесу виробництва метану та добрива на основі уно- і мультисубстратних сумішей, до складу яких входять як масові форми гідробіонтів, так і інші органічні субстрати.

Для прикладної розробки проекту запропонований новітній підхід біотехнологічного перетворення екологічного лиха («цвітіння» водосховищ) на добробут місцевих громад, спрямований на оздоровлення довкілля і населення шляхом поліпшення якості природної, у тому числі питної води, завдяки вилученню токсичних ціанобактерій з акваторії водосховищ дніпровського каскаду, а також використання їх біомаси – цінної відновлюваної сировини для потреб регіонального біоекономічного кластеру на основі інноваційної комплексної промислової біотехнології.

Основними методами досліджень для прикладної розробки є комплекс математичних (статистичні, комп'ютерні, методи моделювання тощо), фізико-хімічних (спектрофотометрія, якісний та кількісний аналіз, електронна й оптична мікроскопія) та біологічних (біотестування, біоіндикація і моніторинг) методів з використанням сучасного обладнання та комп'ютерних технологій.

До нових та оновлених дослідницьких засобів належать лазерне поверхневе опромінення рідкого шару біомаси бактерій, комп'ютерна методологія віртуальних комплексів керування біотехнологічними процесами, метод мікс-кавітації (гідродинамічної й ультразвукової), а також рентабельні способи збору та/або вилучення надлишкової біомаси ціанобактерій та інших гідробіонтів із води.

До особливостей досліджень можна віднести вивчення специфіки ферментативних процесів, що забезпечують конверсію моносубстрату (біомаси ціанобактерій або інших гідробіонтів) на різноманітні цільові продукти (біопаливо, добриво, біологічно активні речовини) з метою уніфікації інноваційної промислової біотехнології, і навпаки – розрахувати універсальну формулу мультисубстрату (листяний опад, активний мул, осад, стічні води харчових підприємств тощо) для керуючого віртуального комплексу, що забезпечить максимальний виходу біогазу в результаті метаногенезу.

Оскільки ціанобактерії є потенційним джерелом хромопротеїдів, зокрема фікобіліпротеїдів (червоних і синіх пігментів), а також з них можна виділити гемопротеїди, флавопротеїди і фікобіліни – пігменти, що додаються в косметичні композиції, покращують тканинне дихання шкіри, окрему складову оригінальних досліджень буде присвячено розробленню відповідних елементів промислових технологічних процесів задля медичної, фармакологічної, косметологічної біотехнології.

До очікуваних результатів належать розробка інноваційної, комплексної, природоохоронної, промислової, безвідходної біотехнології, що не має світових аналогів; проектування біорефайнеру та складання відповідної конструкторської документації на виготовлення комплектуючих елементів, які забезпечують відповідні технологічні процеси; отриман-

ня та апробація нових цільових продуктів комплексної біотехнології – біогазу, ліпідів для біодизеля, мікроцистину та інших біологічно-активних речовин, а також органо-мінерального добрива для використання в АПК;

Упровадження проекту біорефайнера в національну економіку як домінанти біоекономічного кластеру Середнього Придніпров'я спрямоване на: а) забезпечення сталого еколого-економічного розвитку регіону; б) застосування екологічно безпечного, без суттєвих енерговитрат, способу збору гідробіонтів із водосховищ дніпровського каскаду та використання їх біомаси як безкоштовної сировини (субстрату для ферментації) для інноваційної промислової біотехнології; в) упровадження виробництва дешевого біогазу і трансформації його в електричну та інші види енергії (під час збору сезона в плямах «цвітіння» на акваторії лише Кременчуцького водосховища площею 2250 км² у кількості до 50 кг/м³ із об'єму 828 млн. м³ води мілководь (глибина до 2 м; 18,4 % від площі водойми) його біомаса становитиме $\approx 4.14 \cdot 10^7$ т за вегетаційний період (120 діб); піддавши цю біомасу ферментації в процесі метаногенезу, можна отримати до 28,98 млн. м³ біогазу ($\approx 18,837$ млн. м³ метану), що еквівалентно 20 тис. т нафти або 17 тис. т дизельного палива); г) оздоровлення довкілля і населення завдяки поліпшенню якості природної, у тому числі питної води, а також відновлення порушеної структурно-функціональної організації літоральних екосистем водосховищ дніпровського каскаду (газовий баланс, гідрохімічний режим, зниження токсичності води, нерест іхтіофауни та ін.); д) виконання умов Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН зі змін клімату (Ріо-де-Жанейро, 1992); в) приєднання до Директиви 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23.10.2000 [10].

До науково-обґрунтованих і доведених, а також до тих, що спиратимуться на природні закономірності, серед очікуваних результатів можна віднести:

- оптимальні способи вилучення ліпідів, токсинів та інших біологічно активних речовин із біомаси ціанобактерій;

- технологічні умови проекрованої інноваційної промислової біотехнології;

- безпечний для розповсюджених у регіоні культурних рослин рівень фітотоксичності дегістату для використання його як органо-мінерального добрива, визначений методом біотестування;

- можливість застосування оптичного лазера для деструкції клітинних стінок ціанобактерій задля максимального вилучення ціаноліпідів;

- діапазони фізичних, хімічних і біологічних чинників, що збільшують виробництво цільових продуктів проекрованої інноваційної біотехнології;

- економічна й енергетична ефективність біодизеля, виготовленого за використанням ліпідів, вилучених із біомаси ціаней.

Серед інших очікуваних результатів корисними методичними і технічними напрацюваннями на основі практичного досвіду є:

- проект інноваційної комплексної промислової біотехнології, що забезпечує рентабельне виробництво різноманітних цільових продуктів із біомаси ціанобактерій, зібраної під час «цвітіння» та інших масових форм гідробіонтів Кременчуцького та Кам'янського водосховищ;

- загальну конструкторську документацію на основні вузли біорефайнеру, що працює на основі проекрованої промислової біотехнології;

- розрахунок соціоекономічної ефективності реалізації біопалива, добрива, препаратів для захисту рослин і тварин та іншої продукції біорефайнеру в умовах фермерських господарств на території Середнього Придніпров'я;

- SWOT аналіз та бізнес-план регіонального біоекономічного кластеру на базі біорефайнеру;

- акти впровадження результатів досліджень у відповідні біотехнологічні виробництва та навчальний процес профільних закладів вищої освіти.

На підставі результатів біотестування планується довести, що дигестат, що утворюється в результаті біометаногенезу ціанобактерій, є не лише альтернативною дорогим мінеральним добривам [2], а й збалансованим біодобривом, концентрацію внесення якого адаптовано для кожної окремої культури;

- за результатами польових досліджень очікується збільшення врожайності зернових (*Zea mays*) на чорноземних ґрунтах на 9–12 % порівняно з відомими результатами [3];

- у камеральних умовах буде визначено інгібуючу дію мікроцистину на фітопатогенні гриби не тільки роду *Fuzarium* [4], а і роду *Phytophthora*;

- буде удосконалено результати досліджень процесів пригнічення метаморфозу *Leptinotarsa decemlineata* та *Hyphantria cunea* [5], спричинених впливом ціаноліпідів;

- результати оригінальних досліджень забезпечать подальший розвиток промислових біотехнологій, які використовують мікроводорості порівняно з іншими [8, 11, 12].

ВИСНОВКИ. Інтенсивна економічна діяльність людини на берегах водойм викликає надмірну евтрофікацію води, що зумовлює особливо негативні екологічні наслідки у застійних і малопротічних водоймах, головними з яких є інтенсивне розмноження ціанобактерій і надмірний розвиток інших гідробіонтів. У наш час це стало проблемою у всьому світі для 54 % прісноводних водойм в Азії, 53 % – в Європі, 48 % – у Північній Америці; 41 % – у Південній Америці, 28 % – в Африці. В Україні у більшості малопротічних водойм щоліта також спостерігається це явище; особливо масштабно проблема зачіпає каскад дніпровських водосховищ. На даний момент неможливо вирішити цю проблему усуненням її причини – ліквідацією джерел евтрофікації, оскільки це вимагає недешевої і радикальної зміни самого способу господарювання людини на Землі.

Пропонований проект націлений на те, щоб біотехнічними методами протидіяти забрудненню водойм ціанобактеріями, принаймні частково усуваючи негативні екологічні й економічні наслідки їх масового розвитку. При цьому, із вилученої біомаси

можна додатково і дешево отримати цінні для економіки продукти: біопаливо, добриво та біологічно активні сполуки різноманітного призначення. Результати розробки можна буде використати як в Україні, так і по всьому світу в місцях, де існує проблема цвітіння води у водоймах.

Найбільш актуальним в умовах Середнього Придніпров'я є отримання з масових форм ціаней біопалива другого (біометан) і третього (біостанол і біодизель) покоління, а також біодобрива (спеціально підготовленого дегістату) та інших цільових продуктів проекрованої інноваційної біотехнології.

Дніпровський каскад водосховищ забезпечує прісною водою 65 % сільськогосподарського і 75 % промислового виробництва, а також 80 % населення України. Його будівництво у середині ХХ ст. не лише збільшило економічний потенціал Наддніпрянщини, але й зіткнуло Україну з низкою нових екологічних проблем, спричинених надмірною евтрофікацією водосховищ, що викликає масовий розвиток токсичних ціанобактерій. «Цвітіння» води, домінуючим збудником якого в умовах дніпровських водосховищ є *Microcystis aeruginosa*, слід розглядати як екологічний сигнал про порушення структурно-функціональної організації водних екосистем унаслідок різкого збільшення вмісту Нітрогену, Фосфору та Карбону у формах, доступних для автотрофних гідробіонтів. Ця проблема разом із підвищенням цін на природний газ, що імпортується Україною, спонукала нас до ідеї використання біомаси ціанобактерій для виробництва біогазу.

Саме тому, практичне значення очікуваних результатів полягає у можливості використання результатів пропонованої прикладної розробки у промисловому біотехнологічному виробництві, природоохоронній галузі й альтернативній енергетиці, сільському та лісовому господарстві, фармакології та косметології, а саме із застосуванням біомаси ціаней для отримання цінних біологічно активних речовин і біопалива. Упровадження результатів роботи надасть можливість знизити екологічний ризик негативного впливу явища «цвітіння» водойм на довкілля та здоров'я людини, а також зменшити антропогенний вплив на гідроекосистему Дніпра – основного джерела прісної води в Україні, а також створити біоекономічний кластер у Середньому Придніпров'ї.

Таким чином, проект розрахований на забезпечення його інвестиційної привабливості для іноземних спонсорів та міжнародних фондів. За його результатами планується оформлення заявки на участь у складі відповідного консорціуму в конкурсі проектів Horizon Europe programme of European Commission. У проектованій інноваційної біотехнології зацікавлені декілька регіональних підприємств, згодних профінансувати окремі види наукової продукції. У будь-якому випадку кожна держава гривня принесе прибуток з коефіцієнтом рентабельності від 1,5 (за рахунок госпдоговірних НДР) до 25 (завдяки іноземним інвесторам), оскільки економія витрат на виробництво біометану за рахунок лише субстрату, адже біомаса ціанобактерій є безкоштовною, становить щонайменше 42 €/т. Додатковий

прибуток зумовлений сплатою відповідних підприємств за переробку їх відходів, що транспортуються до біогазових станцій муніципального користування також за рахунок власника. Але найдорожчим результатом упровадження проекрованої промислової біотехнології в національну економіку є соціоекономічний ефект, зумовлений поліпшенням здоров'я регіональних громад.

Наукові результати буде адаптовано до навчального процесу підготовки біотехнологів у ЗВО України та країнах Європи у вигляді англійськомовного лекційного матеріалу та методичних вказівок щодо виконання лабораторних робіт з навчальних дисциплін «Біофізика», «Біоенергетика» та «Екологічна біотехнологія» на трьох рівнях вищої освіти. На підставі проектних досліджень планується видання підручника і двох наукових монографій. Оригінальні дані буде захищено двома патентами на розробку корисних моделей. Студенти, що візьмуть участь у виконанні прикладної розробки, отримають можливість апробації результатів власних досліджень під час участі у міжнародних, зокрема закордонних, наукових і науково-практичних воркшопах, конференціях, хакатонах тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Доброжан С. Н., Шалару В. В., Шалару В. М., Стратулат І. І., Семенюк Е. Н. Использование некоторых видов сине-зелёных азотфиксирующих водорослей в качестве биологического удобрения. *Альгология*. 2014. № 24 (3). С. 426–429.
2. Иовик Л. Н. Использование зброженного отхода биогазовой установки в качестве органического удобрения (аналитический обзор). *Почвоведение и агрохимия*. 2015. № 1 (54). С. 230–237.
3. Тарасов С. И., Ковалев Д. А., Караева Ю. В. Применение эффлюента биогазовой установки в качестве удобрения для органического земледелия. *Вестник Ульяновской ГСХА*. 2018. № 3 (43). С. 91–97.
4. Трефилова Л. В. Использование цианобактерий в агроботехнологии: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07, 03.00.23 / Саратов, 2008. 26 с.
5. Биологически активные вещества микроорганизмов: прошлое, настоящее, будущее: материалы Всероссийского симпозиума с международным участием, 27–29 января 2011 г. М.: МАКС Пресс. 2011. 160 с.
6. Заостровных В. И., Симкина Т. Ф., Шевченко Н. М., Чайкина Е. Л., Звягинцева Т. Н., Анисимов М. М., Тибох Д. Р. Продуктивность сои и ее устойчивость к заболеваниям под влиянием углеводсодержащих биополимеров из морских водорослей. *Достижения науки и техники АПК*. 2010. № 5. С. 42–44.
7. Паршикова Т. В., Пацко Е. В., Сиренко Л. А. Использование микроскопических водорослей эвтрофных вод для поддержания плодородия почв и повышения урожайности сельскохозяйственных растений. *Альгология*, 2007. Т. 17, № 2. С. 262–272.

8. Ліщук А. В., Васильченко О. А., Миненко А. Б., Касянівська Е. С., Кудас В. Є. Застосування мікробіодоростей у біотехнології. *Проблеми екологічної біотехнології*. 2014. № 1. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb_2014_1_5 (дата звернення: 27.12.2020).

9. Romagnoli F., Blumberga D., Gigli E., Biogas from marine macroalgae: a new environmental technology-life cycle inventory for a further LCA. *Scientific Journal of Riga Technical University. Environmental and Climate Technologies*. 2010, Т. 4. №. 1. pp. 97–108.

10. Nykyforov V., Malovanyu M., Kozlovs'ka T., Novokhatko O., Digtar S., The biotechnological ways of blue-green algae complex processing. *Eastern-*

European Journal of Enterprise Technologies. 2016, Vol. 5/10 (83). pp. 11–18.

11. Malovanyu M., Nykyforov V., Kharlamova E., Synelnikov A., Production of renewable energy resources via complex treatment of cyanobacteria biomass. *Chemistry & Chemical Technology*. 2016, № 2. pp. 44–50.

12. Malovanyu M., Moroz O., Hnatush S., Maslovska O., Zhuk V., Petrushka I., Nykyforov V., Sereda A., Perspective Technologies of the Treatment of the Wastewaters with High Content of Organic Pollutants and Ammoniacal Nitrogen. *J. Ecol. Eng.* 2019, 20 (2). pp. 8–15.

SCIENTIFIC FUNDAMENTALS OF THE BIOREFINER PROJECT – DOMINANTS OF THE BIOECONOMIC CLUSTER IN THE REGION

V. Nykyforov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: v-nik@kdu.edu.ua

M. Maliovanyi

National university «Lviv Polytechnics»
vul. S. Banderu, 12, Lviv, 79013, Ukraine. E-mail: myroslav.mal@gmail.com

A. Kasych

Kyiv National University of Technology and Design
vul. Nemyrovycha-Danchenka, 2, Kyiv, 01011, Ukraine. E-mail: kasich.alla@gmail.com

Purpose. Implementation of the project, a biorefiner working on the cyanobacteria biomass in conditions of the Middle Dnieper will allow solving a number of social, economic, environmental problems. **Methodology.** A complex of mathematical (statistical, computer, modeling methods, etc.), physicochemical (spectrophotometry, qualitative and quantitative analysis, electron and optical microscopy) and biological (biotesting, bioindication and monitoring) methods using modern equipment and computer technologies was used. **Results.** The ecological and economic significance of cyanobacteria and the prospects for the effective use of biomass were clarified. The species composition of other hydrobionts mass forms of the Dnieper reservoirs has been determined, and a new waste-free technological process has been developed, which minimizes the negative consequences of the natural and artificial reservoirs «blooming» in the region. Target products (lipids, biomethane, bioethanol, organo-mineral fertilizer, and biologically active substances, promising for use, in particular microcystin) were received. **Originality.** The expected results include the development of innovative, comprehensive, environmental, industrial, waste-free biotechnology, which has no analogues in the world. **Practical value.** Possible using the results of the proposed applied development in industrial biotechnological production, environmental protection and alternative energy, agriculture and forestry, pharmacology and cosmetology, namely, using cyanogen biomass to obtain valuable biologically active substances and biofuels. The implementation of the research results will reduce the environmental risk of the negative impact of the «blooming» phenomenon of water bodies on the environment and human health, as well as reduce the anthropogenic impact on the hydroecosystem of the Dnieper – the main source of fresh water in Ukraine, as well as create a bioeconomic cluster in the Middle Dnieper region. **Conclusions.** The proposed project is aimed at using biotechnological methods to counteract the pollution of water bodies by cyanobacteria, at least partially eliminating the negative ecological and economic consequences of their mass development.

Key words: bioeconomics, biotechnology, biorefiner, hydrobionts, Middle Dnieper.

REFERENCES

1. Dobrojan, S. N., Salaru, V. V., Salaru, V. M., Stratulat, I. I., Semeniuc, E. N. (2014), Ispolzovanie nekotoryh vidov sinezelyonyh azotfiksiruyushchih vodoroslej v kachestve biologicheskogo udobreniya [Use of certain nitrogen-fixing blue-green algae as a biological fertilizer], *Algologia*. № 24 (3). pp. 426–429.

2. Iovik, L. N. (2015), Ispolzovanie zbrozhenogo othoda biogazovoj ustanovki v kachestve organicheskogo udobreniya (analiticheskij obzor) [Application of biogas residue as organic fertilizer (the literary review)], *AgroChemistry and Soil Science*. № 1 (54). pp. 230–237.

3. Tarasov, S. I., Kovalev, D. A., Karaeva, Yu. V. (2018), Primenenie efflyuenta biogazovoj ustanovki v kachestve udobreniya dlya organicheskogo zemledeliya [Application of biogas unit effluent as fertilizer for organic farming], *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. № 3 (43). pp. 91–97.

4. Trefilova, L. V. (2008), The use of cyanobacteria in agricultural biotechnology. Extended abstract of candidate's thesis: Saratov. [in Ukrainian].

5. Biologically active substances of microorganisms: past, present, future: Proceedings of the All-Russian Symposium with international participation, January 27–29, 2011. М.: MAKS Press. 2011. 160 p.

6. Zaostrovnyh, V. I., Simkina, T. F., Shevchenko, N. M., Chajkina, E. L., Zvyagintseva, T. N., Anisimov, M. M. (2010), Produktivnost soi i eyo ustojchivost k zabolevaniyam pod vliyaniem uglevodsoferzhashchih biopolimerov iz morskikh vodoroslej [Uence of carbohydrate containing biopolymers from brown seaweed on growth, efficiency and stability to diseases], *Achievements of Science and Technology of AIC*. № 5. pp. 42–44.
7. Parshikova, T. V., Patsko, E. V., Sirenko, L. A. (2007), Ispolzovanie mikroskopicheskikh vodoroslej evtrofnyh vod dlya podderzhaniya plodorodiya pochv i povysheniya urozhajnosti selskochozyajstvennyh rastenij [Using of microscopic algae for maintenance of soils fertility and increasing of crop capacity of agricultural plants], *Algologia*. T. 17, № 2. pp. 262–272.
8. Lischuk, A. V., Vasylichenko, O. A., Mynenko, A. B., Kasyanivska, E. S., Kudas, V. E. (2014), Microalgae biotechnological application. *Problems of ecological biotechnology*. № 1. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb_2014_1_5 (Last accessed: 27.12.2020).
9. Romagnoli, F., Blumberga, D., Gigli, E. (2010), Biogas from marine macroalgae: a new environmental technology-life cycle inventory for a further LCA. *Scientific Journal of Riga Technical University. Environmental and Climate Technologies*. T. 4. №. 1. pp. 97–108.
10. Nykyforov, V., Malovanyy, M., Kozlovs'ka, T., Novokhatko, O., Digtar, S. (2016), The biotechnological ways of blue-green algae complex processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5/10 (83). pp. 11–18.
11. Malovanyy, M., Nykyforov, V., Kharlamova, E. Synelnikov, A. (2016), Production of renewable energy resources via complex treatment of cyanobacteria biomass. *Chemistry & Chemical Technology*. № 2. pp. 44–50.
12. Malovanyy, M., Moroz, O., Hnatush, S., Maslovska, O., Zhuk, V., Petrushka, I., Nykyforov, V., Sereda, A. (2019), Perspective Technologies of the Treatment of the Wastewaters with High Content of Organic Pollutants and Ammoniacal Nitrogen. *J. Ecol. Eng.* 20 (2). Pp. 8–15.

Стаття надійшла 26.11.2020.