

ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЙ. 1. ПРИРОДООХОРОННІ БІОТЕХНОЛОГІЙ

Є.В. Кузьмінський, К.О. Щурська*

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

*Corresponding author: evdoksiya@gmail.com

Received 22 December 2017; Accepted 2 April 2018

Тотальний розвиток суспільства шляхом техногенезу та посилення його впливу на біосферу призвів до виникнення конфлікту між людством, з одного боку, і його середовищем існування, в широкому розумінні, з іншого. Ліквідація усіх цих негараздів неможлива без застосування новітніх природоохоронних технологій, або саме екобіотехнологій, для очищення стічних вод, знешкодження небезпечних газових викидів, використання перспективних засобів утилізації твердих і рідких промислових відходів, діагностики забруднень довкілля, підвищення ефективності методів біологічного відновлення забруднених ґрунтів, заміни низки агрохімікатів на біотехнологічні препарати тощо. Нині біотехнологія присутня як та чи інша складова у кожному переліку тенденцій розвитку розвинених держав світу. Увібравши результати досліджень названих вище наук, біотехнологія стала рушійною силою XXI століття. У статті визначено предмет екологічної біотехнології як самостійного напрямку біотехнології та представлено сучасні тенденції розвитку природоохоронних біотехнологій, акцентовано увагу на світоглядній значимості екобіотехнології порівняно з традиційною – промисловою біотехнологією. Класична традиційна біотехнологія як складова технологій індустріального суспільства дає відповідь на запитання “Як заробляти?” і за головну мету має підвищення доданої вартості – тобто отримання прибутку понад усе. Екологічна ж біотехнологія як невід’ємна складова суспільства майбутнього (Knowledge Society) дає відповідь на запитання “Як співіснувати?” і за мету ставить підвищення якості та безпеки життя членів суспільства, чим і відрізняється від традиційної промислової біотехнології. Обґрунтовано такі пріоритетні напрями екологічної біотехнології, як біотестування, оптимізація екосистемних процесів, переробка й утилізація відходів цивілізації, очищення води, повітря і ґрунтів. Вирішення проблем кожного з цих напрямів як теоретично, так і практично може бути здійснене не лише завдяки екологічній біотехнології. Однак застосування екобіотехнологій у багатьох випадках є більш оптимальним рішенням. Біотехнологія охорони довкілля, яка включає в себе технології очищення всіх трьох головних його складових: води, ґрунту і повітря, є ключовим підходом для запобігання антропогенному впливу на довкілля, а також для подолання наслідків техногенних аварій із викидом шкідливих сполук у навколишнє середовище.

Ключові слова: природоохоронні біотехнології; екобіотехнологія; біоенергетика; біотестування; екосистемні процеси; переробка відходів; біодеструкція.

“Біотехнологія охорони довкілля – відносно молода галузь, бо налічує трохи більше ста років. Але розвивається вона дуже інтенсивно, особливо в останні десятиліття, коли люди зрозуміли, що сталий розвиток цивілізації, збереження біологічного розмаїття на Землі, здоров’я, добробут та й саме існування людини значною мірою залежать від чистоти навколишнього середовища. Отже, впровадження нових ефективних технологій його очищення – актуальне завдання сьогодення”.

Проф. П.І. Гвоздяк

Вступ

Важливою умовою успішної реалізації науково-технічної політики держави є концентрація ресурсів і наукового потенціалу на пріоритетних напрямках науки, техніки і технологій, реалізація яких забезпечить господарський комплекс країни новітніми конкурентоспромож-

ними технологіями. Процес відбору пріоритетів складний і вимагає всебічного та цілеспрямованого підходу. Пріоритети чи тенденції розвитку науки і техніки – це головні напрями науково-технологічної діяльності, які підтримуються на державному рівні для вирішення довгострокових завдань. Вибір пріоритетних напрямів визначається як тенденціями світового нау-

ково-технічного розвитку, так і наявним економічним і науково-технічним потенціалом, цілями та потребами суспільства і держави.

Так, наприклад, у США до пріоритетів у сфері досліджень і розробок з 2014 р. включено інновації та комерціалізацію результатів науково-дослідних робіт, а в 2016 р. окремо виділено інновації в науках про життя та в біології. Серед пріоритетних напрямів розвитку науки і технологій у Франції з'явилися нові напрями – біотехнології, охорона довкілля, технології, які пов'язані з альтернативними джерелами енергії. Політика Великобританії в науково-технічній сфері пов'язана з роботами в галузі енергетики, екології, наук про життя, охорони здоров'я. В Китаї визначення пріоритетів ґрунтується на відслідковуванні точок росту світової економіки та інноваційної системи. Індія, як і Китай, сповідує ідеологію запозичень. У Російській Федерації на сьогодні виділяють сім технологічних платформ, які покривають усі пріоритетні напрями розвитку науки, техніки і технологій; серед них “Медицина майбутнього”, “БиoТех2030” [1–5]. До переліку критичних технологій РФ також віднесено такі, як “Биокаталітичні, біосинтетичні та біосенсорні технології”, “Технології нових і відновлюваних джерел енергії, включаючи водневу енергетику”, “Технології моніторингу і прогнозування стану довкілля, попередження та ліквідації його забруднення” [6].

В Україні постановою Кабінету Міністрів України № 942 від 7 вересня 2011 р. серед пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки на період до 2020 р. визначено такі, що безпосередньо стосуються екологічної біотехнології – це “Раціональне природокористування” і “Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань”. Відповідно до цього, серед наукових напрямів підрозділів КПІ ім. Ігоря Сікорського як пріоритетний визначено напрям “Промислова та екологічна біотехнології”. Іншим наочним підтвердженням високої пріоритетності саме екобіотехнології є результати широкого опитування, отримані експертною групою вищого рівня під керівництвом академіків НАН України С.В. Комісаренка, Г.В. Єльської та В.С. Підгорського за тематичним напрямом “Біотехнологія” в рамках Державної програми прогнозування науково-технічного та інноваційного розвитку [7]. Напрямки та розробки в галузі біотехнології було розділено на три категорії.

1. Найбільш гострі та проблемні питання. Очолює перелік із максимальною кількістю ба-

лів “Біодеструкція та утилізація відходів, технології очищення води” (4,6 балів).

2. Найбільш результативні в середньостроковій перспективі (3–5 років) напрями. На першому місці “Біотехнології отримання біопалива” (4,7 бала).

3. Найбільш результативні напрями в довгостроковій (15–20 років) перспективі. Лідирує “Охорона довкілля. Біодеструкція та утилізація відходів” (4,8 бала).

Таким чином, виходячи з результатів опитування, найбільш пріоритетним у короткостроковій та довгостроковій перспективі експерти вважають напрям біотехнології, який пов'язаний із охороною довкілля, біодеструкцією та утилізацією відходів, а також отриманням біопалив – тобто саме екологічну біотехнологію, яку на благо всієї нашої спільноти необхідно визнати, у всіх її аспектах, як окремий і найперспективніший напрям сучасної високої технології.

Метою цієї статті є визначення предмету екологічної біотехнології як самостійного напрямку біотехнології та розгляд сучасних тенденцій розвитку природоохоронних біотехнологій.

Екобіотехнологія як самостійний напрям біотехнології

Насамперед акцентуємо увагу на світоглядній значимості екобіотехнології порівняно з традиційною – промисловою біотехнологією. Традиційна промислова біотехнологія як складова технологій індустріального суспільства дає відповідь на запитання “Як заробляти?” і за головну мету має підвищення доданої вартості – тобто отримання прибутку понад усе. Екологічна ж біотехнологія як невід'ємна складова суспільства майбутнього (Knowledge Society) дає відповідь на запитання “Як співіснувати?” і за мету ставить підвищення якості та безпеки життя членів суспільства, чим і відрізняється від традиційної промислової біотехнології [8]. Щодо відмінності саме екологічної біотехнології, то вона показана на рис. 1.

Щодо *предмету екологічної біотехнології*, то його можна визначити як синтетичний міждисциплінарний напрям сучасних наукових досліджень, який сформувався як результат перетину інтересів, підходів, принципів та методів прикладних напрямів екологічної науки і класичних та сучасних біотехнологій. Інакше кажучи, це технологічні процеси, що здійснюються завдяки використанню живих організмів



Рисунок 1: Екологічна біотехнологія і “суспільство знань”

та інших біологічних агентів і спрямовані на покращення, захист і відновлення порушеного людиною довкілля, збереження функціональної стійкості біосфери в цілому або її певних компонентів (природних екосистем) і зрештою – забезпечення сталого і гармонійного розвитку ноосфери [8, 9].

Обґрунтування пріоритетних напрямів екобіотехнології

Виходячи з наведеного вище визначення екологічної біотехнології, можна констатувати, що традиційні проблеми, які поставлені прикладними природоохоронними напрямами екології, і є пріоритетними напрямами розвитку природоохоронних біотехнологій.

На рис. 2 (у його нижній частині) показано два блоки: “Прикладні екологічні завдання” та “Шляхи їх вирішення”. Перший включає в себе традиційні проблеми (завдання), які поставлені прикладними природоохоронними напрямами екології. В другому блоці наведено можливі шляхи ліквідації та вирішення існуючих проблем за допомогою екологічних біотехнологій. Вони, на нашу думку, власне і є *пріоритетними напрямами розвитку природоохоронних біотехнологій*. Вирішити кожну із зазначених проблем, як теоретично, так і практично, можна не лише завдяки екологічній біотехнології. Однак застосування екобіотехнологій у

багатьох випадках є більш оптимальним рішенням. Тому доцільно хоча б коротко розглянути можливі шляхи вирішення деяких екологічних проблем та зіставити переваги і недоліки застосування екобіотехнологій і традиційних фізико-хімічних технологій для їх вирішення.

Біотестування забруднень. Біосенсорика

Екологічний моніторинг (моніторинг навколишнього середовища) – комплексні спостереження за станом довкілля, в т.ч. компонентів природного середовища, природних екологічних систем, за процесами та явищами, що відбуваються в них; оцінка та прогноз змін стану навколишнього середовища. Моніторинг може здійснюватися фізичними, хімічними, біологічними методами з використанням авіаційних, космічних та інших засобів. Залежно від завдань, які стоять перед системою екологічного моніторингу, можна виділити такі його різновиди: біологічний, геофізичний, біоекологічний, геоекотологічний та біосферний. Чільне місце у системі екомоніторингу посідає контроль стану навколишнього природного середовища за допомогою біологічних систем, або біологічний моніторинг. Головним методом, який при цьому використовується, є біоіндикація, що полягає в реєстрації певних змін у живих організмах, які були викликані антропогенними факторами. Особливістю біологічного моніторингу

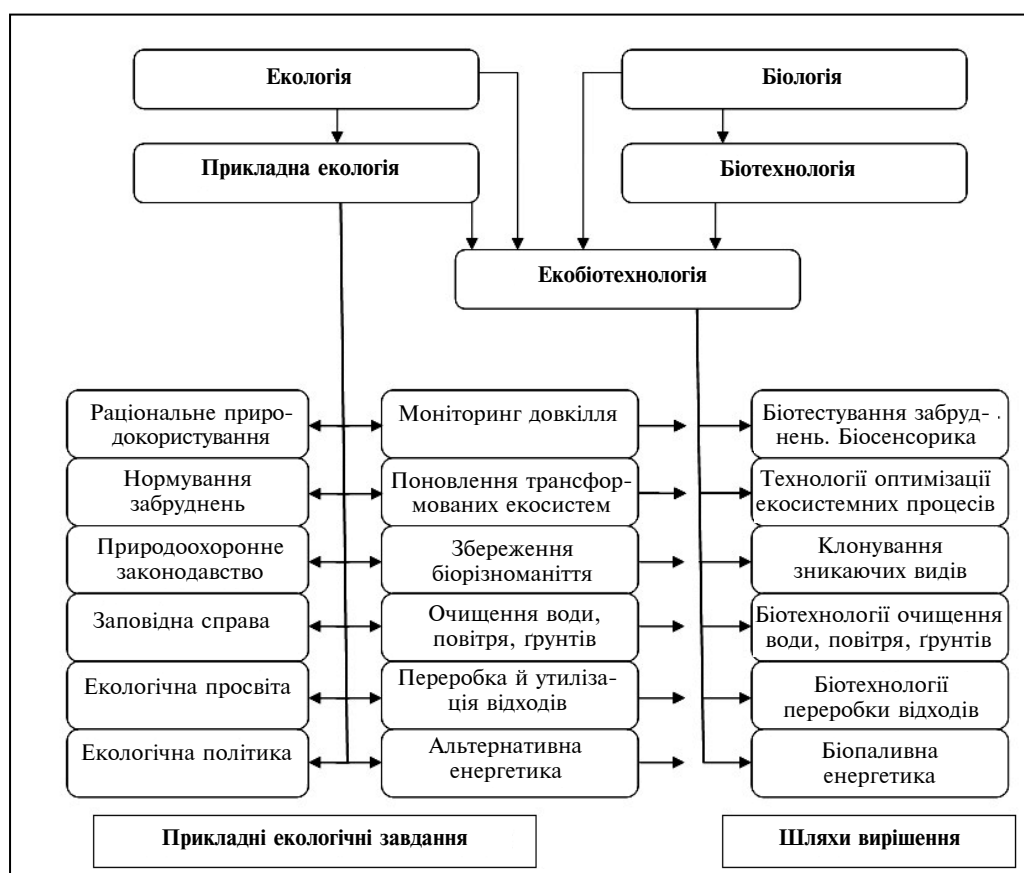


Рисунок 2: Пріоритетні напрями екологічної біотехнології

є те, що для його реалізації можуть бути використані не лише біологічні, але й інші методи аналізу, зокрема хімічний.

Сучасна екологічна ситуація, яка пов'язана насамперед із посиленням антропогенного пресу на біосферу, потребує розробки чіткої, об'єктивної та науково обгрунтованої системи екологічного моніторингу [9]. Однією з її складових є пошук, розробка та застосування адекватних методів оцінки якості навколишнього середовища взагалі та рівня певних забруднень зокрема. Найбільш поширеними на сьогодні методами контролю якості довкілля є фізико-хімічні технології. Вони є досить точними, дають змогу об'єктивно визначити вміст забруднювального чинника та базуються переважно на застосуванні різноманітних аналітичних хімічних, фізичних і фізико-хімічних методик [10]. Альтернативою до згаданих методів може бути не менш об'єктивний спосіб визначення якості довкілля за допомогою живих організмів – біотестування.

Біологічні методи визначення та оцінки рівня забруднення середовища мають досить давню історію. Більше 100 років тому Н.В. Чермак

(1892 р.) та І.Н. Арнольд (1897 р.) запропонували використовувати живу рибу як індикатор забруднення води. Мета екологічного дослідження полягає не у визначенні хімічної природи та складу речовин-забруднювачів (це завдання хіміків-аналітиків), а в тому, щоб встановити, якою мірою досліджуване середовище є придатним для життя, незалежно від того, який набір речовин природного або техногенного походження в ньому міститься.

У 60–90 рр. ХХ ст. методи біотестування широко розвивалися та були законодавчо введені в США, Канаді, Німеччині та низці інших країн у систему стандартних методів дослідження якості природних, питних і стічних вод [11]. Прості біологічні тести на зразок “рибнопроби” та більш складні, основані на кількісній оцінці перебігу певних фізіолого-біохімічних процесів у організмі за умов забрудненого середовища, відзначаються доступністю, простотою, дешевизною, високою експресністю, чутливістю та відтворюваністю результатів. Вони дають безпосередньо найбільш об'єктивну інформацію щодо стану досліджуваного середовища, його якості та шкодочинності забруднен-

ня. Крім риби, як тест-об'єкт сьогодні успішно використовуються дрібні ракоподібні, інфузорії, личинки комах, м'якуни, голкошкірі, безхвості амфібії, нижчі та вищі водні рослини [11]. За допомогою біотестів можна успішно оцінювати рівень забруднення не лише природних і стічних вод, а і якість повітря, ґрунтів і навіть деяких зразків промислової продукції. Власне сама процедура біотестування може розглядатись як технологія контролю забруднень навколишнього середовища або антропогенних впливів на довкілля, що здійснюється за участю живих організмів із використанням останніх як біодатчика. Подібна інтерпретація біотесту дає змогу успішно розглядати його як варіант біотехнологій природоохоронного спрямування – екобіотехнологій.

Крім того, останніми роками постало багато проблем, пов'язаних зі стабільністю, стерилізацією, точністю, а також впливом отриманих продуктів на навколишнє середовище та людину. Для вирішення цих проблем необхідний моніторинг традиційних процесів. Отже, в різних напрямках біотехнології, медичної практики, охорони навколишнього середовища тощо надзвичайно важливою є роль хімічних, біологічних й імунологічних аналізів. Основними вимогами, що висуваються до таких аналізів, є простота, доступність і низька вартість. Для їх реалізації необхідні електронні пристрої, які мають певні характеристики. Такими пристроями є біосенсори. В них для аналізу використовують різні біоселективні елементи: ферменти, клітинні рецептори, антитіла, нуклеїнові кислоти, клітинні органели, мікроорганізми, тканини тощо. Їх розміщують на спеціальній фізичній поверхні та поєднують із фізико-хімічним перетворювачем. Взаємодія біоселективного елемента з аналітичним розчином викликає певний сигнал, який перетворювач змінює на такий, що легко виміряти. Весь процес займає дуже короткий період часу: від декількох секунд до хвилин.

Біосенсорика – це галузь біотехнології, яка знаходиться на стику цілої низки різноманітних наук і поєднує їх знання. Існує достатньо багато визначень біосенсора, проте найбільш загальне визначення було дано Р.Ф. Тейлором, згідно з яким “біосенсор – аналітичний пристрій, що містить біологічний чутливий елемент, пов'язаний із перетворювачем (трансдюсером), і який здатний забезпечити рестрацію змін біодатчика” [12]. Як біологічно чутливий елемент можуть бути використані: ферменти, антитіла, нуклеїнові кислоти, мембрани

або цілі клітини, а перетворювачі можуть бути оптичні, калориметричні, електрохімічні тощо. Основна ідея біосенсора полягає в тому, що біологічна молекула, яка виконує функцію датчика, змінює свої характеристики під впливом різних факторів, і зміни передаються перетворювачу, який трансформує цю інформацію в електричний сигнал. Інакше кажучи, в результаті взаємодії між молекулами біодатчика і речовинами, що визначаються, властивості молекул біодатчика (колір, конформація, активність тощо) змінюються. Ці зміни є “сигналом” для реєструючого пристрою. Конструкція біодатчика повинна бути така, щоб величина “сигналу” була пропорційною концентрації досліджуваної речовини. Теоретично будь-яка біомолекула або біохімічна реакція можуть бути використані при створенні біодатчиків, оскільки при функціонуванні біомолекули реалізується принцип структурно-функціонального взаємозв'язку. Це означає, що будь-які специфічні взаємодії будуть супроводжуватися структурними змінами взаємодіючих молекул. При виборі біологічної системи впізнання необхідно виходити з того, що реакція повинна бути високоспецифічною і перебігати з високою ефективністю.

Сьогодні біосенсори широко застосовуються в медицині, промисловості, сільському господарстві, науці, а також у галузі охорони навколишнього середовища. Але основними сферами застосування залишаються харчові, біотехнологічні та фармацевтичні виробництва, медична діагностика та екологічний моніторинг. Підтвердженням цьому є також той факт, що інвестиції в розвиток біосенсорів зростають у геометричній прогресії. Біосенсори і біочіпи за обсягом ринку становлять близько 70 млрд дол., де частка біосенсорів перевищує 20 % і постійно зростає. Тільки обсяг ринку біосенсорних приладів для вимірювання глюкози в крові становить від 3 до 4 млрд дол. щорічно, при цьому продаж у США становить 50–60 %, а в Західній Європі – близько 30 %. На сьогодні прискіплюють грошових інвестицій у розвиток біосенсорів перебуває на рівні 10 % за рік.

Такий успіх біосенсоріки обумовлений наявністю в біосенсорів цілої низки переваг порівняно з іншими аналітичними приладами: висока чутливість і селективність, висока специфічність і швидкість (кілька секунд або хвилин) аналізу, що дає змогу виключити попередню підготовку досліджуваних зразків, спрямовану на виділення та очищення досліджуваних речовин; широкий діапазон речовин, що можуть бути детектовані; можливість аналізу-

вати малі обсяги досліджуваних зразків; здатність до мініатюризації та високого рівня інтеграції; можливість створення мультисенсорів; можливість розміщення на одному кристалі біосенсора зі схемою обробки інформації; можливість використання в польових умовах; можливість контролювати результати аналізу за принципом “зворотного зв’язку” завдяки мікропроцесорам, які поєднані з біосенсором; низька собівартість за масового виробництва; простота у проведенні аналізів, що знижує вимоги до висококваліфікованої підготовки персоналу.

Проте існують сучасні проблеми розробки сенсорів: забезпечення стабільності функціонування та зберігання сенсора за різних умов; забезпечення умов створення та інтеграції чутливого матеріалу з поверхнею фізичного перетворювача в одному технологічному циклі; вирішення проблеми впливу інтерферуючих речовин на роботу сенсора; забезпечення калібрування сенсора при багаторазовому використанні; адаптація лабораторних технологій до масового виробництва дешевих, надійних і чутливих сенсорів; створення сенсорів, що можуть функціонувати безпосередньо в живому організмі протягом тривалого часу, так званих *in vivo* сенсорів.

Основні *тенденції розвитку сенсорних технологій* з метою усунення цих проблем зводяться до такого: створення інтегральних систем на одному чипі, які б склалися із системи забору й транспортування проби до аналізатора, сенсорної системи аналізу зразка, системи обробки та візуалізації даних (Lab-on-chip); розробка ДНК-сенсорів, що уможлиблює експресний аналіз генетичних і ракових захворювань, визначення мікробних і вірусних інфекцій; створення нових технологій синтезу надмолекулярних структур, що імітують активність біологічних молекул, але відрізняються від них більшою стабільністю та можливістю використання в агресивних середовищах; розробка мультисенсорів і сенсорних масивів, у т.ч. математичного апарату аналізу масивів даних; створення сенсорів, що можуть функціонувати безпосередньо в живому організмі протягом тривалого часу та поєднання їх із мікросистемами автоматичного введення ліків [13, 14].

З урахуванням зазначеного вище очевидно, що для України, зважаючи на складну екологічну та економічну ситуацію в багатьох її регіонах, нагальною потребою сьогодення є розробка та широке використання відносно дешевих методик біотестування для здійснення контролю забруднень у системі екологічного моні-

торингу. Перспективними в цьому напрямі екобіотехнологічних досліджень можуть стати такі теоретичні та практичні завдання, як розробка теоретичного підґрунтя біоіндикації та біотестування, створення біосенсорних систем для оцінки рівня забруднення, розробка методів біотестування води, ґрунтів, повітря та їх автоматизація.

Технології оптимізації екосистемних процесів

Антропогенна трансформація та деградація природних екосистем є, мабуть, однією з найбільш серйозних екологічних проблем сучасності. Їх охорона та захист стають ключовим моментом у реалізації стратегії XXI століття – “концепції сталого розвитку”. Відновлення повністю зруйнованих екосистем є майже нереальним. Однак у тих випадках, коли екосистеми зазнали істотних впливів, але повністю не деградували, принципово можливим є їх відтворення за рахунок обґрунтованої *оптимізації екосистемних процесів*. Повна реалізація цього завдання лише завдяки використанню біотехнологій, безумовно, недосяжна. Вирішення подібних питань потребує участі кваліфікованих фахівців багатьох галузей. Певні напрями біотехнологічних досліджень, на нашу думку, могли б допомогти реалізувати деякі завдання, пов’язані з відтворенням природних екосистем та оптимізацією їх внутрішніх процесів [9]. Біологічні методи боротьби зі шкідниками сільськогосподарства, а також розробка екологічно безпечних препаратів антибіотичної та протипаразитарної дії дають змогу відносно “м’яко” регулювати видовий склад і динаміку чисельності тих угруповань, які є складовими агроценозів або безпосередньо контактують із ними. Альтернативний фізико-хімічний підхід – використання жорстких хімічних засобів захисту рослин (ГХЦГ, ДДТ тощо) – давно і переконливо продемонстрував свою екологічну небезпеку [15]. Стійкі хімічні сполуки токсичного характеру не розкладаються в природі та накопичуються у трофічних ланцюгах, призводячи до поступового отруєння не лише об’єкта, проти якого вони були спрямовані, а й інших живих компонентів екосистем, у т.ч. й людини. Крім того, “шкідники” з часом чудово адаптуються до дії отрути, утворюючи резистентні раси.

Важливим елементом процесу оптимізації трансформованих, зокрема забруднених, екосистем можуть стати технології біорекультиваци ґрунтового покриву, фітодезактивації або детоксикації ґрунтів і природних вод тощо. По-

дібні методики є набагато дешевшими за механічне та хімічне очищення згаданих елементів навколишнього середовища. Крім того, вони не несуть руйнівної складової (механічного пошкодження ґрунту, внесення сильнодіючих хімічних сполук тощо). Їх успішне застосування також є типовим прикладом природоохоронних біотехнологій.

Збереження та відтворення біорізноманіття (багатства видів рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів) на Землі є серйозною екологічною проблемою глобального рівня. Вимирання біологічних видів унаслідок антропогенного впливу та інтенсивного ведення господарської діяльності є загальновизнаним фактом [16]. Світова наукова спільнота вкрай занепокоєна цією обставиною, саме тому і на конференції в Ріо-де-Жанейро, і на багатьох інших міжнародних форумах гостро підіймалися питання про необхідність охорони біологічних ресурсів і збереження біорізноманіття. Залишається ця проблема вкрай важливою і для України, яка приєдналася до Картагенського протоколу про біобезпеку та Конвенції про біорізноманіття, що була прийнята в Монреалі у лютому 2000 р.

Проблема збереження біорізноманіття має надзвичайно багато теоретичних і практичних аспектів. Одним із них є можливість штучного відтворення тих видів рослин і тварин, популяції яких практично зникли в дикому стані. Принципова можливість клонування певних видів живих організмів у лабораторних умовах доведена. Практичне застосування подібних біотехнологій – питання дуже складне технічно. До того ж з позицій біоетики неоднозначною є і їх доцільність. Тому сьогодні можливість успішного застосування біотехнологій до проблеми збереження та відтворення рідкісних і зникаючих видів слід вважати “дискусійним питанням на перспективу”.

Переробка й утилізація відходів цивілізації. Біоконверсія

Наступною вельми важливою й актуальною екологічною проблемою, яка може бути успішно вирішена за рахунок використання біотехнологій, є переробка й утилізація відходів (біоконверсія). Утилізація відходів може здійснюватися і екобіотехнологічними, і фізико-хімічними методами, однак при застосуванні останніх антропогенне забруднення часто тільки локалізується.

Використання чистих та змішаних мікробних культур для боротьби з ліквідацією забруд-

нень або утилізацією відходів господарської діяльності людини має значні переваги порівняно з іншими, особливо не біологічними, методами. Природна мінливість мікроорганізмів і гетерогенність їх диких популяцій дають змогу останнім використовувати як субстрат, а отже, й утилізувати, винятково широкий спектр речовин органічної природи, більшість із яких є потенційними забрудниками навколишнього середовища антропогенного походження. Висока швидкість росту та значний потенціал відтворення мікроорганізмів дає їм можливість швидко збільшувати свою чисельність і адаптуватися до використання найбільш доступного субстрату на популяційному рівні – за рахунок збільшення відсотка більш фізіолого-біохімічно пристосованих особин. Подібні процеси можливі завдяки генетичній особливості мікроорганізмів-прокаріот – здатності до плазмідної передачі адаптивно вигідних ознак (генів) по горизонталі. Переважна більшість побутових відходів не є однорідними за своїм складом субстанціями. Порівняно з монокультурами мікробні асоціації здатні асимілювати суміші та поетапно мінералізувати складні органічні сполуки. Природні консорціуми мікроорганізмів мають більш високу здатність до біотрансформації, ніж окремі популяції, та характеризуються підвищеною резистентністю до впливу несприятливих чинників середовища. Вони також відзначаються підвищеною продуктивністю та можливістю горизонтального обміну генетичною інформацією не лише в межах однієї популяції, а й між різними видами в межах угруповання. Такі властивості мікроорганізмів роблять їх потенційно дуже перспективним об'єктом для застосування в екобіотехнологічному циклі утилізації відходів.

Фізико-хімічні підходи до утилізації відходів мають, порівняно з біологічними, один суттєвий недолік – вони є набагато більш енергоємними. Значна енергоємність призводить до збільшення собівартості технологічного процесу. Мікробна утилізація, навпаки, зводить енерговитрати до мінімуму – відходи власне і є тим енергетичним ресурсом, який використовують мікроорганізми для потреб своєї життєдіяльності.

Щодо цього твердження можна навести такий приклад. На сьогодні технології одержання водню є достатньо енерговитратними. Сировиною для його видобування, крім електролізу води, є вивіпні джерела (газ, нафта, вугілля). За використання електролізу енергетичні витрати на одержання водню (4–5 кВт·год/м³ H₂) перевищують енергію, яку одержують при його спа-

люванні (3 кВт·год/м³ Н₂). Тому розробка новітніх енергоощадних біотехнологій одержання водню з відновлюваної сировини є пріоритетною проблемою. Таким перспективним методом є ферментативний процес, у якому можна використовувати відходи різного походження, що дає змогу одночасно вирішувати й екологічну проблему їх утилізації. Необхідність і актуальність розробок з цього напрямку підтверджено прийняттям цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України “Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях”. На цей час у світовій практиці не існує всебічно опрацьованої біотехнології одержання водню з використанням відходів різного походження. В Україні дослідження конверсії відходів у біоводень перебувають на початковій стадії. Здебільшого вони присвячені процесам продукування водню монокультурами мікроорганізмів із використанням цукрів, що не може слугувати підґрунтям для розробки промислової біотехнології конверсії відновлюваної біомаси.

Новим трендом у галузі перетворення відновлюваної біомаси є одержання палива з мікроводоростей, але вартість такого біопалива на сьогодні є достатньо високою. Для забезпечення комерційної привабливості процесу як відновлювану сировину для вирощування мікроводоростей можна використовувати відходи й викиди, що утворюються в промисловості та при спалюванні мінеральних видів палива, і конвертувати відходи мікроводоростей у газоподібні енергоносії або біологічно активні речовини. Тому дослідження і розробка нетрадиційних технологічних рішень конверсії відновлюваної сировини різного походження у біогаз, що містить водень або метан, і біодизель, який одержують із ліпідів мікроводоростей, є актуальними, екологічно доцільними і економічно вигідними. Детально цей пріоритетний напрям екобіотехнології охарактеризовано в дисертаційній роботі д.т.н. зі спеціальності 03.00.20 — біотехнологія Н.Б. Голуб [17].

Біотехнології очищення води, повітря і ґрунтів

Останнім часом як для України, так і для країн світу все гостріше постає проблема погіршення якості води в джерелах водопостачання. Це відбувається через скидання неочищених і недостатньо очищених стічних вод та спричиняє до збільшення концентрації сполук біогенних елементів (зокрема, нітрогену, фосфору), органічних речовин, синтетичних поверхнево-активних речовин, іонів важких металів та інших ксе-

нобіотиків. Це призводить до цвітіння і заростання водойм, пригніблення розвитку водних організмів. Таким чином, погіршується якість питного водопостачання населення та ускладнюється рекреаційне використання водойм.

На жаль, нині в Україні більшість каналізаційних очисних споруд використовують технології очищення, які не зазнавали серйозних змін протягом століття, тому вони працюють украй неефективно. Іншою не вирішеною проблемою залишається небажання промислових підприємств будувати власні локальні очисні споруди для попередньої обробки виробничих стічних вод.

Традиційно для очищення комунальних і промислових стічних вод, які містять органічні сполуки, використовують технології біологічного очищення в аеротенках у процесі аеробного окиснення за участю активного мулу. Однак використання таких технологій для очищення висококонцентрованих стічних вод має низку проблем. Так, на ефективність очищення впливають такі фактори, як нерівномірність надходження стічних вод за витратами і складом, низька температура і швидка її зміна, що уповільнюють процес очищення, рН, токсична дія певних компонентів стічних вод на організми активного мулу тощо. В результаті показники очищеної води не відповідають встановленим нормам (особливо за сполуками азоту, фосфору), в процесі очищення відбувається спухання мулу через розвиток нитчастих бактерій і, як наслідок, погане відокремлення його від очищеної води у вторинних відстійниках, велика кількість утвореного надлишкового мулу потребує значних витрат на обробку й утилізацію [18, 19].

Отже, нагальною є необхідність створення наукового підґрунтя, розробки і впровадження комплексних технологій фізико-хімічного та біологічного очищення висококонцентрованих стічних вод, які забезпечували б попереднє очищення промислових стічних вод від забруднень, що перешкоджають біологічному очищенню, сумісне біологічне очищення побутових і промислових стічних вод із використанням сучасних рішень: анаеробно-аеробних процесів, нітри-денітрифікації, анамокс-процесу, іммобілізованих мікроорганізмів, біоконвеєрних технологій, і гарантували б якість очищеної води на рівні вимог скиду у водойми, були б високоефективними, маловідходними та економічно вигідними [20, 21].

Вдалим прикладом реалізації такої комплексної технології є дисертаційна робота про-

фесора Л.А. Саблій [20]. Вона присвячена теоретичному вивченню та науковому обґрунтуванню анаеробно-аеробних процесів для видалення забруднень, що потрапляють на міські очисні споруди із промисловими стічними водами, іммобілізованими мікроорганізмами, дослідженню швидкостей окиснення, мікроорганізмів біологічних обростань носіїв, процесів перетворення органічних речовин і сполук азоту при біологічному очищенні висококонцентрованих стічних вод. Реалізація таких модельних систем із використанням математичних методів та експериментальних даних низки авторів дала змогу створити надійну розрахункову базу для їх подальшого застосування в проєктній практиці. Напрацьовані теоретичні положення і отримані експериментальні результати дали можливість вирішити важливу народногосподарську проблему очищення висококонцентрованих промислових стічних вод на основі розробленої концепції попереднього фізико-хімічного очищення методами флоатації, електрокоагуляції-флоатації та біокоагуляції-флоатації з подальшим біологічним очищенням анаеробно-аеробним методом у прямоточній системі біореакторів з іммобілізованими мікроорганізмами. Запропоновано наукову концепцію, яка полягає в комплексному підході до очищення висококонцентрованих стічних вод промислових підприємств і стічних вод міст, обумовленому спільними характеристиками – наявністю органічних речовин за БСК, сполук азоту, фосфору, які сприяють перебігу біохімічних процесів [20].

Своєю чергою всі біотехнології очищення ґрунту *in situ*, тобто в природних умовах, розшарування нафтошламів, вилуговування металів із бідних руд, обробки твердих відходів передбачають сильне їх зволоження. А в разі використання спеціальних біореакторів процеси обробки ґрунту взагалі відбуваються у водному середовищі. Очищення повітря біологічними методами теж здійснюється із застосуванням води – у біоскруберах, що являють собою різновид біофільтрів для очищення води, або абсорбцією забруднень водою у звичайних скруберах із подальшим очищенням її активним мулом.

Завдання природоохоронних технологій у галузі очищення повітря можна розділити на два основних напрями: зменшення викидів парникових газів у атмосферу завдяки використанню біопалив та очищення промислових газоповітряних викидів. Так, використання будь-якого біопалива дає змогу підтримувати певну концентрацію CO₂ в атмосферному повітрі, чого

не можна сказати про використання традиційного мінерального палива для різних потреб. У процесі виготовлення біопалива та подальшого його спалювання в повітря виділяється така сама кількість діоксиду вуглецю, що до цього була засвоєна рослинами з атмосфери в період їх життєдіяльності. Результати дослідження фахівців Всесвітньої енергетичної ради (WEC) свідчать про те, що до 2050 р. нафта залишиться основною сировиною для виробництва автомобільного пального. У той же час частка біопалива в загальному обсязі споживаного пального буде рости. Розвиток біопаливної галузі розглядається в дослідженні як найбільш перспективний шлях зменшення споживання нафти і корисних копалин та скорочення викидів парникових газів у атмосферу [22].

Іншим важливим напрямом природоохоронних біотехнологій є біотехнології очищення повітря.

При мікробіологічному очищенні газових викидів шкідливі компоненти вибірково утилізуються різними штамми мікроорганізмів, які можуть бути дисперговані в промивній рідині або іммобілізовані на поверхні насадок у вигляді біологічної плівки. Завдяки здатності мікроорганізмів до адаптації цей універсальний принцип використовується для утилізації широкого спектра забруднювальних речовин органічного походження, а також деяких неорганічних сполук, наприклад аміаку, фосфорної кислоти, мінеральних солей тощо. Через біохімічне окиснення в клітинах мікроорганізмів забруднюючі повітря речовини найчастіше розкладаються до вуглекислого газу та води. Привабливими аспектами використання біотехнологічних методів очистки повітря є низькі, порівняно з іншими методами, капітальні й експлуатаційні витрати, а також простота, надійність і відсутність джерел вторинного забруднення. Одна з найбільш позитивних якостей цього методу – його універсальність [23].

Отже, біотехнології очищення ґрунту і повітря від хімічного забруднення зводяться врешті до біологічного очищення води. Тож немає нічого дивного в тому, що найбільшого поширення екологічні біотехнології набули саме в очищенні побутових і промислових стічних вод [23].

Висновки

Нині у світі відбуваються процеси, що порушують цивілізований плин життя: інтенсивно забруднюється навколишнє природне середовище, руйнується біосфера, утворюється ве-

лика кількість відходів різноманітного походження. Вирішення перелічених проблем можливе при застосуванні природоохоронних біотехнологій. Екобіотехнології хоч і є частиною біотехнологій, але принципово відрізняються від традиційних біотехнологій тим, що мають за мету підвищення якості та безпеки життя суспільства. Даючи відповідь на запитання “Як співіснувати?”, природоохоронні біотехнології є невід’ємною складовою суспільства майбутнього (Knowledge Society).

Пріоритетними напрямками розвитку природоохоронних біотехнологій визначено такі традиційні проблеми прикладної екології, як біотестування та біосенсорика, технології оптимізації екосистемних процесів, переробка й утилізація відходів, біотехнології очищення води, повітря і ґрунтів, а також біоенергетика, місце якої в біотехнології буде описано в окремій праці.

References

- [1] Kiselev VN, Nechaeva EK. Innovation objectives of the present-day state priorities in science: Brief review of international experience. *Innovatsii*. 2015;7(201):46-53.
- [2] Kondratyuk EL, Mironova DS. System of technological forecasting and determination of priorities for the development of science and technology in France. *Innovatika i Ekspertiza*. 2015;1(14):231-45.
- [3] Voinov A. National scientific and technological policy of China. *Birzha Intellektualnoy Sobstvennosti*. 2015;XIV(3):38-41.
- [4] Bredikhin SV, Gershman MA, Kuznetsova TE. Technology governance: Foreign practices. *Innovatsii*. 2015;6(200):71-83.
- [5] Dezhina IG. BRICS countries possible areas for scientific cooperation. *Mirovaya Ekonomika i Mezhdunarodnye Otnosheniya*. 2015;9:14-23.
- [6] Presidential Decree of July 7, 2011 N 899 "On approval of the priority directions of development of science, technology and engineering in the Russian Federation and the list of critical technologies of the Russian Federation".
- [7] Shpak AP, Gurzhiy AM. Forecast of Ukraine's scientific and technological and innovative development. Kyiv: Feniks; 2006. 160 p.
- [8] Kuzminskyy YV, Golub NB, Kuhar VP. Subject and educational aspects of ecobiotechnology. *Vyscha Osvita Ukrainy*. 2007;2:55-62.
- [9] Kuhar VP, Kuzminskiy YV, Ignatyuk OA, Golub NB. Ecobiotechnology and bioenergetics: Establishment and development problems. *Visnyk NAN Ukrainy*. 2005;9:3-18.
- [10] Kuzminskyy YV, Golub NB, Schurska KO. Physical and physico-chemical methods in biotechnology. *Naukovyj Visnyk ChNU*. 2009;453(20):19-34.
- [11] Rand GM. Fundamentals of aquatic toxicology: Effects, environmental fate, and risk assessment. 2nd ed. North Palm Beach Florida: Ecological Services Inc.; 2003. 1125 p.
- [12] Taylor RF, Schultz JS. Handbook of chemical and biological sensors. Boca Raton: CRC Press; 1996. 604 p.
- [13] Kuzminskyy YV, Schurska KO, Golub NB. Biological and chemical sensor systems. Electrochemical basis of sensory technologies [Internet]. Kyiv: NTUU KPI; 2011. 202 p. Available from: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/1644>.
- [14] Kuzminskyy YV, Schurska KO. Biological and chemical sensor systems Concepts, definitions and bases of sensors [Internet]. Kyiv: NTUU KPI; 2012. 239 p. Available from: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2487>.
- [15] Enger DE, Smith DF. Environmental science: A study of interrelationships. 6th ed. New York: McGraw-Hill; 1997. 456 p.
- [16] Reymers NF. Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses). Moscow: Rossiya Molodaya; 1994. 366 p.
- [17] Golub NB. Scientific and technological bases of renewable raw materials conversion in biohydrogen, biomethane and biodiesel [DSc thesis]. NTUU KPI; 2015.
- [18] Gvozdyak PI. Bioconveyor: "Ukrainian modification" of activated sludge technology. *Vodopostachannya ta Vodovidvedennya*. 2014;1:29-32.
- [19] Sabliy LA, Kuzminskyy YV, Zhukova VS, Kozar MY. New technologies for biological treatment of domestic and industrial wastewaters. *Vodopostachannya ta Vodovidvedennya*. 2014;3: 24-33.
- [20] Sabliy LA. Physico-chemical and biological treatment of highly concentrated waste water. Manuscript [DSc thesis]. NTUU KPI; 2012.
- [21] Gvozdyak PI. Based on the principle of bioconveyor. *Biotechnology of environment safety*. *Visnyk NAN Ukrainy*. 2003;3:29-36.
- [22] World Energy Focus 2017 [Internet]. Available from: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/10/ WEF-WEC_Annual_2017_Web_LowRes.pdf
- [23] Shestopalov OV, Pitak IV. Analysis of existent processes and devices of bioscrubbing gas emissions. *Technology Audit and Production Reserves*. 2014;5(17):49-52.

Е.В. Кузьминский, Е.А. Щурская

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОБИОТЕХНОЛОГИИ. 1. ПРИРОДООХРАННЫЕ БИОТЕХНОЛОГИИ

Тотальное развитие общества путем техногенеза и усиление его влияния на биосферу привело к возникновению конфликта между человечеством, с одной стороны, и его средой обитания, в широком смысле, с другой. Ликвидация всех этих проблем невозможна без применения новейших природоохранных технологий, или же экобиотехнологий, для очистки сточных вод, обезвреживания опасных газовых выбросов, использования перспективных средств утилизации твердых и жидких промышленных отходов, диагностики загрязнений окружающей среды, повышения эффективности методов биологического восстановления загрязненных почв, замены ряда агрохимикатов на биотехнологические препараты и тому подобное. Сейчас биотехнология присутствует в виде той или иной составляющей во всех тенденциях развития развитых государств мира. Вобрав результаты

исследований названных выше наук, биотехнология стала движущей силой XXI века. В статье определен предмет экологической биотехнологии как самостоятельного направления биотехнологии и представлены современные тенденции развития природоохранных биотехнологий, акцентировано внимание на мировоззренческой значимости экобиотехнологии по сравнению с традиционной – промышленной биотехнологией. Классическая традиционная биотехнология как составляющая технологий индустриального общества дает ответ на вопрос “Как зарабатывать?” и главной целью имеет повышение добавленной стоимости – то есть получение прибыли превыше всего. Экологическая же биотехнология как неотъемлемая составляющая общества будущего (Knowledge Society) дает ответ на вопрос “Как сосуществовать?” и целью ставит повышение качества и безопасности жизни членов общества, чем и отличается от традиционной промышленной биотехнологии. Обоснованы следующие приоритетные направления экологической биотехнологии: биотестирование, оптимизация экосистемных процессов, переработка и утилизация отходов цивилизации, очистки воды, воздуха и почвы. Решение проблем каждого из этих направлений как теоретически, так и практически осуществимо не только благодаря экологической биотехнологии. Однако применение экобиотехнологий во многих случаях является более оптимальным решением. Биотехнология охраны окружающей среды, которая включает в себя технологии очистки всех трех главных ее составляющих: воды, почвы и воздуха, является ключевым подходом для предотвращения антропогенного воздействия на окружающую среду, а также для преодоления последствий техногенных аварий с выбросом вредных соединений в окружающую среду.

Ключевые слова: природоохранные биотехнологии; экобиотехнология; биоэнергетика; биотестирование; экосистемные процессы; переработка отходов; биодеструкция.

Ye.V. Kuzminsky, K.O. Shchurska

PRIORITY DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF ECOBIOTECHNOLOGY. 1. ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY

Total development of society through technogenesis and strengthening of its influence on the biosphere has led to conflict between humanity, on the one hand, and its environment, on the other. Elimination of all these problems is impossible without the use of the latest environmental technologies or ecobiotechnologies for waste water treatment, disposal of hazardous gas emissions, using of promising ways of solid and liquid industrial waste utilization, environmental pollution diagnostics, the efficiency improvement of contaminated soil biological recovery, the replacement of a number of agrochemicals on biotechnological products, to name a few. Today, biotechnology is present in one component or another in all the trends of the developed countries of the world. By incorporating the results of the research of the aforementioned sciences, biotechnology has become the driving force of the 21st century. The article defines the subject of environmental biotechnology as an independent field of biotechnology and presents current trends in the development of environmental biotechnologies, focuses on the world-view importance of ecobiotechnology in comparison with traditional – industrial biotechnology. Classical traditional biotechnology, as part of the technology of an industrial society, answers the question "How to make money?" The main goal of traditional biotechnology is to increase the added value (receiving of profit is above all). Ecological biotechnology as an integral part of the future society (Knowledge Society) answers the question "How to coexist?" and aims to increase the quality and safety of life of society members, which differs from traditional industrial biotechnology. The following priority directions of ecological biotechnology, such as biotesting, optimization of ecosystem processes, recycling, and utilization of civilian waste, water, air and soil purification, are substantiated. Solving the problems of each of these areas, both theoretically and practically, can be done not only thanks to ecological biotechnology. However, the use of eco-biotechnology in many cases is the most optimal solution. The biotechnology of environmental protection, which includes technologies for the purification of all three of its main components (water, soil, and air), is a key approach to prevent anthropogenic environmental impact, as well as to overcome the consequences of man-made accidents with the release of harmful compounds into the environment.

Keywords: environmental biotechnologies; ecobiotechnology; bioenergy; biotesting; ecosystem processes; waste treatment; biodegradation.