

В. КУХАР, Є. КУЗЬМІНСЬКИЙ, О. ІГНАТЮК, Н. ГОЛУБ

## ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЯ ТА БІОЕНЕРГЕТИКА: ПРОБЛЕМИ СТАНОВЛЕННЯ І РОЗВИТКУ

Сьогодні біотехнологія є однією з найбільш перспективних, швидко прогресуючих галузей науково-технічної, промислової та комерційної діяльності майже в усіх розвинених країнах світу. Сучасний бізнес, пов'язаний із біотехнологіями, характеризується підвищеною інвестиційною активністю: створюються транснаціональні біотехнологічні компанії, стрімко зростає ринок продукції медичного, сільськогосподарського, харчового, енергетичного та промислового призначення. Грошовий обіг світового ринку біотехнологічної продукції наближається до 500 млрд американських доларів на рік, чисельність біотехнологічних фірм у світі щорічно зростає на 15%, інвестиційні надходження у цю галузь лише у США становили у 2000 р. понад 350 млрд доларів, а витрати на одного наукового співробітника, що працює у сфері біотехнології, — більше 90 тис. доларів.

Досягнення біотехнологів допомагають розв'язати низку важливих соціальних, про-

довольчих, промислових та енергетичних проблем. У багатьох країнах сформована та активно діє розгалужена система підготовки фахівців для біотехнологічної сфери, зростає кількість біотехнополісів та біотехнопарків, які організуються навколо провідних університетів. Так, у Великій Британії, визнаному європейському лідері біотехнології, на цьому напрямі зосереджені зусилля більше 200 некомерційних установ — університетів, науково-дослідних інститутів, наукових центрів, трансферних компаній тощо, а у США — понад 300 [1].

Нині практично всі розуміють, наскільки злободенними є питання збереження довкілля та раціонального використання природних ресурсів [2–4]. Однак взаємодія цивілізації та біосфери і на початку третього тисячоліття трактується як протистояння двох багатьох в чому антагоністичних світів — світу людини і світу природи. Саме біотехнології як технології, що базуються на використанні законів розвитку живої природи, можуть

© КУХАР Валерій Павлович. Академік НАН України. Директор Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України. Керівник філії кафедри екобіотехнології та біоенергетики НТУУ «КПІ» при Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії.

КУЗЬМІНСЬКИЙ Євген Васильович. Доктор хімічних наук. Завідувач кафедри екобіотехнології та біоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

ІГНАТЮК Олексій Анатолійович. Кандидат біологічних наук. Доцент цієї ж кафедри.

ГОЛУБ Наталя Борисівна. Кандидат хімічних наук. Доцент зазначеної кафедри (Київ). 2005.

стати одним із тих засобів, завдяки яким людству вдасться гармонізувати цю взаємодію і зменшити техногенне навантаження на біосферу.

Природоохоронні біотехнології (environmental biotechnology) нині стрімко поширюються в усьому світі [5]. Досвід розвинених країн переконливо доводить, що успішне розв'язання багатьох екологічних проблем на основі використання новітніх біотехнологій можливе лише за наявності критичної маси носіїв сучасних знань — фахівців-біотехнологів, котрі володіють теорією, методологією і практичним досвідом створення та реалізації сучасних екобіотехнологій.

Екобіотехнологія є одним із пріоритетних напрямів розвитку біотехнології, який охоплює як фундаментальні дослідження, так і прикладні розробки з використанням живих організмів, інших біологічних агентів для забезпечення стійкості та поліпшення якості навколишнього середовища взагалі та найближчого оточення людини — зокрема. Спеціальність «Екобіотехнологія» затверджена наказом Міністерства освіти і науки України від 08.04.02 за № 241 як одна із трьох спеціальностей напряму підготовки 0929 «Біотехнологія».

Формування і розвиток біотехнології та якісна підготовка фахівців-екобіотехнологів неодмінно потребують вдосконалення наукових і навчально-методичних засад екологічних й енергетичних складових біотехнології, передбачають розробку певних освітньо-кваліфікаційних характеристик та освітньо-професійних програм, створення державних стандартів освіти, написання підручників і навчально-методичних посібників тощо.

Практичних завдань, які постають перед фахівцями вищої школи з формування нового біотехнологічного напряму освіти — екобіотехнології, безліч. Методологічно найдоцільніше реалізовувати їх поетапно. Спочатку слід розглянути місце екобіотехнології у системі сучасних знань, потім —

визначити пріоритетні напрями її розвитку в межах України та окреслити відповідні завдання для реалізації високоякісної екобіотехнологічної освіти.

**Наукове підґрунтя екобіотехнології та її місце у системі сучасних знань.** За останні кілька десятиліть наша цивілізація створила не лише серйозну загрозу для виживання багатьох видів диких рослин і тварин. Різке погіршення умов існування та якості навколишнього середовища гостро ставить питання про можливість самознищення людства внаслідок посилення техногенного пресу на біосферу. Останнє зумовлене передусім зростанням рівня забруднення довкілля різноманітними відходами господарської діяльності та виснаженням екосистем.

Фахівцям добре відомо, що переважна більшість створених сучасною цивілізацією технологій є незамкненими процесами, які утворюють певні відходи. Шкідливість і небезпечність тієї чи іншої технології для навколишнього середовища визначаються насамперед кількістю та природою речовин, які є побічним продуктом — відходами технологічного процесу. Питання «що робити з відходами?» стоїть дуже гостро. Сучасні технології їх утилізації потребують усе нових і нових, жорсткіших процесів, окрім того, більшість із них також дають відходи, які не завжди легко утилізуються.

Натомість усі процеси, що відбуваються у живій природі, є циклічними і добре збалансованими. Перетворення речовини в екосистемах реалізуються шляхом кругообігу — відходи одних процесів використовуються, а отже, й утилізуються в інших процесах. Яскравим прикладом подібної збалансованості можуть бути біосферні цикли вуглецю, кисню, азоту та інших біогенних елементів. Надзвичайна збалансованість природних екосистем, високий рівень кореляції внутрішньоекосистемних біотичних процесів дають людині переконливий доказ їх-

ньої ефективності, підказують шляхи запозичення у живої природи елементів і принципів, що стануть основою майбутніх біотехнологій.

Технології, які побудовані за екологічними принципами і базуються на зведенні до мінімуму негативного впливу на довкілля, слід вважати екологічними технологіями, або екотехнологіями. У тих випадках, коли згаданих принципів дотримуються, а технологічний процес побудований на використанні тих чи інших організмів, доцільно вести мову про виникнення принципово нового напрямку — екобіотехнології.

*Класичні біотехнології — сукупність промислових методів і процесів, що ґрунтуються на цілеспрямованому використанні різноманітних живих організмів або їхніх частин з метою отримання корисних для людини продуктів.* У деяких біотехнологічних циклах використовуються не самі живі мікроорганізми, а певні складові їхньої життєдіяльності. З позицій екології та охорони навколишнього природного середовища біотехнології мають суттєву перевагу над більш уживаними та звичними хімічними технологіями.

*По-перше*, важливою особливістю живих організмів, їхніх популяцій та угруповань є наявність множини зворотних зв'язків, що уможлиблює успішне здійснення процесів саморегуляції у різко мінливих умовах навколишнього середовища. Така особливість біологічних систем — кібернетична. Вона дає значні переваги за умови застосування біосистем у технологічному процесі — набагато спрощує керування ним. Тому здебільшого примусово регулювати або налагоджувати біосистему немає потреби. Вона, на відміну від техногенного апарату, сама здатна це зробити, і значно якісніше. Отже, за обслуговуючим персоналом залишаються переважно наглядові функції.

*По-друге*, винятково високе насичення живих організмів надмірною (запасною,

тією, що не використовується у певний момент життєвого циклу) генетичною, тобто спадковою інформацією, дає їм змогу швидко адаптуватися до несприятливих чинників, з одного боку, та опановувати нові умови існування й виконувати нові екологічні функції — з другого.

*По-третє*, переважання низькоенергетичних кодованих процесів над параметричними дозволяє живим організмам здійснювати хімічні реакції за значно менших тиску і температури, ніж це потрібно для тих самих процесів в абіотичних умовах. У звичайних хімічних реакціях концентрація реагентів набагато вища, ніж у біохімічних, проте самі біокаталітичні реакції перебігають у  $10^8$  —  $10^{13}$  разів швидше. У біохімічних перетвореннях енергія активації майже завжди дуже мала. Це все зумовлює те, що енергетичні процеси у живих організмах відбуваються з максимальним кодовим навантаженням та мінімальним розсіюванням енергії. Біоенергетичні перетворення характеризуються високим ККД, що дає змогу живим організмам істотно економити енергію.

Екобіотехнологія, на нашу думку, є поняттям дещо ширшим, аніж класична біотехнологія. Це можна пояснити такими міркуваннями. Завдання класичної біотехнології — розробка та реалізація технологічних процесів, що дають можливість отримати корисний для людини кінцевий продукт завдяки використанню живих організмів (переважно мікроорганізмів). У такому випадку визначальними моментами є якість, кількість, собівартість тощо кінцевого продукту. Завдання екобіотехнології — це передусім збереження природної екологічної рівноваги, тобто інтерес становить не лише кінцевий продукт, а й певні особливості процесу його отримання. Саме ці особливості відіграють визначальну роль в екологізації біотехнологічного виробництва. Крім того, у деяких випадках метою або завданням екобіотехнології може бути не отримання кінце-

вого продукту, а навпаки — лише утилізація (знищення) вихідного субстрату. Прикладом подібних екобіотехнологічних процесів є біодеструкція нафтових забруднень за допомогою мікроорганізмів. На відміну від класичних біотехнологій, у певному екобіотехнологічному циклі можуть широко використовуватися не лише мікроорганізми, а й багатоклітинні — вищі рослини, різноманітні тварини, гриби. Сучасні технології фітодезактивації та зменшення радіонуклідного забруднення ґрунтів є переконливим прикладом подібних екобіотехнологій.

Отже, можна запропонувати таке визначення і тлумачення екобіотехнології. *Екобіотехнологія — це синтетичний міждисциплінарний напрям сучасних наукових досліджень, який утворився як результат перетину інтересів, підходів, принципів та методів прикладних напрямів екологічної науки і класичних та сучасних біотехнологій або, інакше кажучи, це технологічні процеси, що здійснюються завдяки використанню живих організмів та інших біологічних агентів і спрямовані на захист і відновлення порушеного людиною довкілля, збереження функціональної стійкості біосфери в цілому або її певних компонентів (природних екосистем), зрештою — забезпечення сталого та гармонійного розвитку ноосфери.*

Основними напрямками сучасного природознавства, що, поєднуючись, формують екобіотехнологію, є класична біологія, традиційна екологія, біотехнологія та комплекс наук про довкілля (так звана «прикладна екологія», синонім англійського поняття «environmental science»). Схему, що відображає витoki і складові екобіотехнології, наведено на рисунку.

Біотехнологія, яка протягом останніх десятиліть накопичила значну кількість сучасних і високотехнологічних методів та методик, є, так би мовити, інженерною основою екобіотехнології. Нині вона має вдалі тео-

ретичні та практичні підходи щодо застосування мікроорганізмів у господарчих цілях. Наука про довкілля (environmental science), або «прикладна екологія», є «ідейним натхненником» нового напрямку розвитку біотехнологій, саме вона формулює та ставить завдання. Класична біологія і традиційна екологія — фундаментальне наукове підґрунтя екобіотехнологій. Екобіотехнологія, на відміну від традиційних біотехнологічних напрямів (промислового, харчового, фармацевтичного та ін.), має тісніше пов'язуватися з фундаментальними біологічними та екологічними дисциплінами.

Такі загальнобіологічні напрями, як біофізика, біохімія, генетика (загальна і молекулярна), цитологія, мікробіологія та вірусологія, є науковим підґрунтям традиційних біотехнологій, і тому вони також мають бути фундаментальною основою екологічних біотехнологій. Окрім того, розробка та реалізація біотехнологій з метою поліпшення стану довкілля, як уже зазначалося, може здійснюватися не лише за використання мікроорганізмів. Дуже перспективними об'єктами екобіотехнологій є гриби, водорості, макрофіти, одно- та багатоклітинні безхребетні, а, можливо, навіть і хордові тварини. Саме тому зоологію, ботаніку та мікологію слід розглядати як важливі елементи екологічної біотехнології. Знання біологічних особливостей та різноманіття форм грибів, рослин і тварин — необхідна передумова для вдалого вибору того організму, на основі та завдяки якому можна розробити і реалізувати певну екобіотехнологію.

Фундаментальними біологічними складовими екобіотехнології, на нашу думку, мають бути також фізіологія і теорія еволюції. Саме особливості фізіології певних організмів дозволяють використовувати їх як об'єкт екологічної біотехнології. Тому для підготовки екобіотехнологів необхідне глибоке вивчення порівняльної фізіології. Створенню будь-якої біотехнології (і традиційної, й еко-

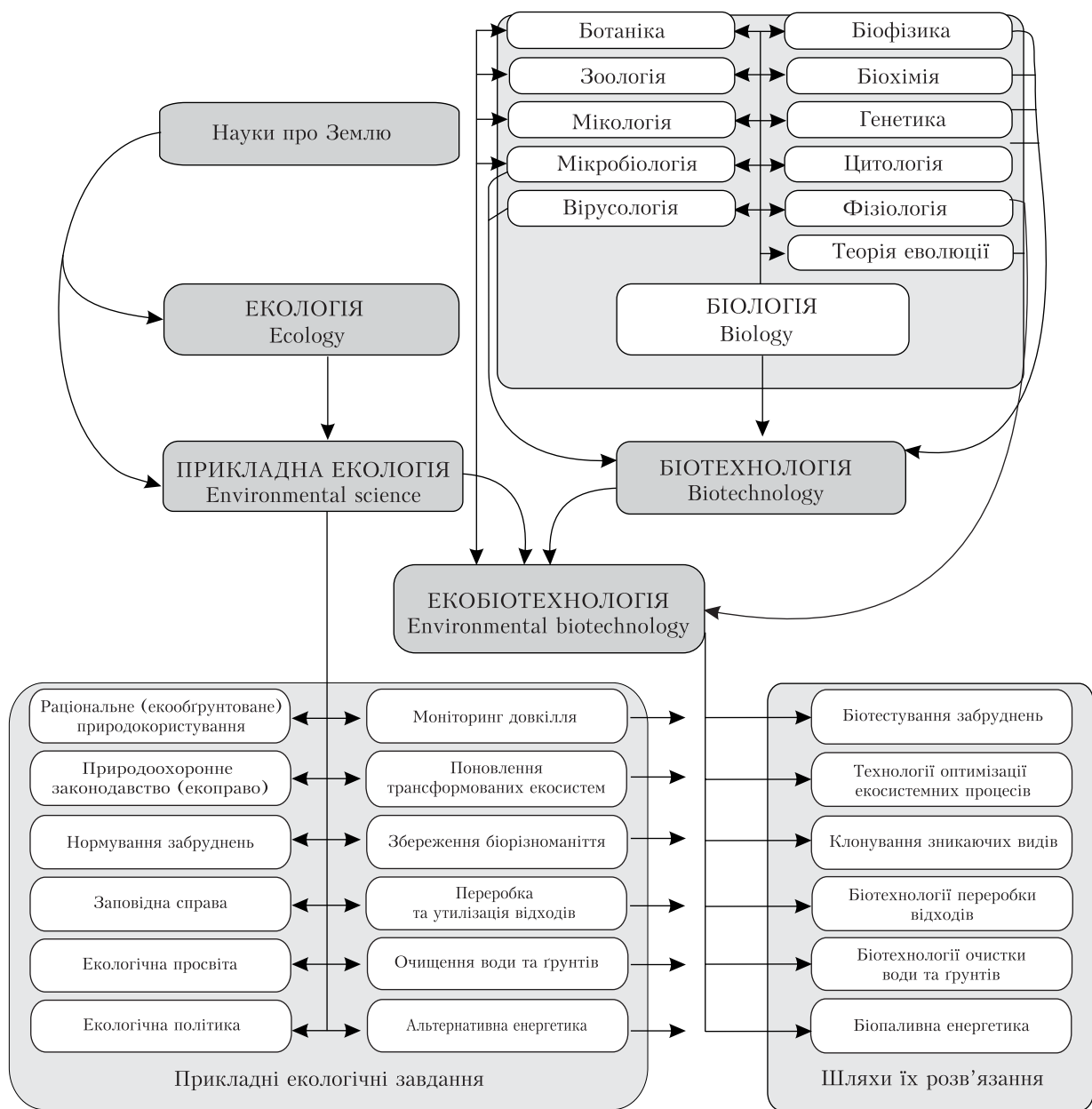


Рис. 1. Екобіотехнологія та її взаємозв'язки з іншими галузями сучасного природознавства

логічної) завжди передуює підбір, а дуже часто — і модифікація певного організму (групи організмів). За своїм змістом та завданнями подібні процедури вельми нагадують процес селекції та штучного добору. Тому теорія еволюції, основу якої і досі становить концепція природного добору, є важливим теоретичним підґрунтям екобіотехнології.

Слід детальніше розглянути екологічну складову природоохоронних біотехнологій (екобіотехнологій). На превеликий жаль, у цьому питанні виникають навіть термінологічні труднощі. Англomовні країни Заходу у своєму лексичному арсеналі мають два, на перший погляд, близькі за змістом терміни — «ecology» та «environmental science».

се». Перший — конкретний і зазвичай використовується для позначення екології як окремої природничої науки або окремого загального напрямку біологічної науки. Другий термін, який у дослівному перекладі означає науки (комплекс наук) про довкілля, є ширшим за змістом і застосовується не лише щодо природничих, а й до соціально-економічних галузей знань. У переважній більшості україномовної екологічної літератури терміном «екологія» не дуже вдало намагаються поєднати всі напрями досліджень, розробок та узагальнень, які так чи інакше стосуються будь-якої взаємодії людини і природи. Свого часу як еквівалент поняття, що означає прикладний природоохоронний напрям «environmental science», пропонувалося вживати окремий термін «інвайронментологія» (або «інвайронменталістика») [2], однак на теренах української науки він так і не поширився.

*Традиційна екологія (ecology) є біологічною наукою, яка вивчає взаємовідносини організмів між собою і з навколишнім середовищем, організацію і функціонування надорганізменних систем: популяцій, угруповань, екосистем та біосфери. Успішне планування, розробка та реалізація природоохоронних біотехнологій неможливі без знання і дотримання концепцій, принципів, правил та законів загальної екології. Вона є не лише фундаментальним науковим базисом для прикладних напрямів, а й теоретичною основою для створення штучних і напівштучних та модифікації природних біосистем. Практично всі біотехнології — і традиційні, і природоохоронні — побудовані на загальноекологічних принципах вибору, створення та підтримання найсприятливіших (оптимальних) умов існування для певних груп організмів, життєдіяльність яких використовується як основа біотехнологічного циклу.*

Наука про довкілля («environmental science») має надзвичайно велике значення

для успішного існування та розвитку сучасної техногенної цивілізації. Остання, особливо протягом ХХ століття, прискореними темпами входить у наростаючий конфлікт із біосферою в цілому та її певними компонентами зокрема. Конфліктні питання взаємодії людства і навколишнього середовища отримали загальну назву екологічних проблем. Їх поділяють на глобальні, регіональні та локальні. Розв'язувати їх одразу і єдиними методами нерационально та, мабуть, і нереально. Екобіотехнології, які побудовані переважно на використанні загальноекологічних засад, можуть і повинні стати тим інструментом, який допоможе успішно розв'язати значну кількість екологічних проблем, особливо локальних та регіональних.

Це завдання є складним технічно, але методологічно воно відносно просте. Умовно його можна поділити на кілька етапів. Спочатку — пошук проблеми (з'ясування певних екологічних негараздів), наступний етап — формулювання практичного завдання, яке слід виконати, щоб усунути негаразди, далі — пошук оптимального шляху розв'язання проблеми. Пошук негараздів та формулювання завдання являють собою коло наукових інтересів та пріоритетів фундаментальних і прикладних напрямів власне екології. Два останні етапи здебільшого можна успішно реалізувати завдяки використанню екобіотехнологій.

**Пріоритетні напрями розвитку екобіотехнології.** На рисунку (у його нижній частині) показано два блоки — «Прикладні екологічні завдання» та «Шляхи їх розв'язання». Перший містить традиційні проблеми (завдання), поставлені прикладними природоохоронними напрямами екології. У другому блоці наведено можливі шляхи розв'язання існуючих проблем за допомогою екобіотехнологій. Вони, на нашу думку, і є пріоритетними напрямами розвитку природоохоронних біотехнологій. Кожну із

зазначених проблем як теоретично, так і практично, можна розв'язати не лише завдяки екобіотехнології. Однак застосування біотехнологій у багатьох випадках є оптимальним рішенням. Тому доцільно хоча б коротко розглянути можливі шляхи розв'язання деяких екологічних проблем та зіставити переваги і недоліки використання для цього екобіотехнологій і традиційних фізико-хімічних технологій.

Сучасна екологічна ситуація, яка спричинена передусім посиленням антропогенного пресу на біосферу, потребує розробки чіткої, об'єктивної та науково обґрунтованої системи екологічного моніторингу. Однією із її складових є пошук, розробка і застосування адекватних методів оцінки якості навколишнього середовища взагалі та рівня певних забруднень зокрема. Сьогодні найпоширенішими методами контролю якості довкілля є фізико-хімічні технології. Вони досить точні, дають змогу об'єктивно визначити вміст забруднюючого чинника та базуються переважно на застосуванні різноманітних аналітичних хімічних, фізичних і фізико-хімічних методик. Критерієм якості середовища, у випадку використання подібних технологій, є порівняння результатів кількісного аналізу вмісту забруднюючої субстанції з певною визначеною величиною. Визначеними величинами в даному випадку можуть бути гранично допустимі концентрації (ГДК), гранично допустимі скиди (ГДС) та гранично допустимі рівні (ГДР). Згадані критерії здебільшого визначаються стосовно людини та можливого впливу ушкоджуючого чинника на її здоров'я. Об'єктивної інформації про вплив забруднення на інші живі компоненти біосфери застосування подібного підходу практично не дає. Крім того, аналітичні методи визначення вмісту окремих забруднюючих чинників не дають уявлення про сумісний вплив різних речовин та синергізм їх дії на компоненти навколишнього середовища. Альтернативою до

згаданих методів може бути не менш об'єктивний спосіб визначення якості довкілля за допомогою живих організмів — біотестування.

Біологічні методи з'ясування та оцінки рівня забруднення середовища мають досить давню історію. Понад сто років тому Н.В. Чермак (1892 р.) та І.Н. Арнольд (1897 р.) запропонували використовувати живу рибу як індикатор забруднення води. Ця «рибна проба» (біотест у сучасному розумінні) базувалася на реалізації досить простої ідеї: якщо вода отруйна — риба гине, якщо не отруйна — виживає. Такий простий принцип і досі є основою вихідного тесту на виживання. З нього починається кожне сучасне токсикологічне дослідження. У багатьох випадках біотести застосовують для кількісного визначення недіючих, медіанних та летальних концентрацій і доз: це дає змогу встановлювати градуїзовані показники токсичності певної речовини для кожного тест-об'єкта. Слід додати, що мета екологічного дослідження полягає не у визначенні хімічної природи та складу речовин-забруднювачів (це завдання хіміків-аналітиків), а в тому, щоб встановити, наскільки досліджуване середовище придатне для життя незалежно від того, який набір речовин природного або техногенного походження у ньому міститься.

Упродовж 60 — 90-х років ХХ століття методи біотестування широко розвивалися та були законодавчо введені в систему стандартних методів дослідження якості природних, питних і стічних вод у США, Канаді, Німеччині, інших країнах [6]. Як не дивно, подібний підхід виявився прийнятним незалежно від наявності майже необмежених фінансових можливостей, високорозвиненої аналітичної техніки та будь-яких реактивів або пристроїв. Від початку 70-х років дослідження і розробки подібних методик централізовано проводились у багатьох наукових організаціях СРСР. У результаті цих

досліджень було сформульовано загальні вимоги до біотестів і навіть близько 40 методик успішно апробовано. Однак широкого вжитку і промислово-господарського застосування біотестування як метод контролю забруднень на той час так і не отримало.

Прості біологічні тести на зразок «рибно́ї проби» та складніші, засновані на кількісній оцінці перебігу певних фізіолого-біохімічних процесів в організмі за умов забрудненого середовища, відзначаються доступністю, дешевизною, високою експресністю, чутливістю і відтворюваністю результатів. Вони дають безпосередньо найбільш об'єктивну інформацію щодо стану досліджуваного середовища, його якості та шкодочинності забруднення. Крім риби, як тест-об'єкт сьогодні успішно використовуються дрібні ракоподібні, інфузорії, личинки комах, м'якуни, голкошкірі, безхвості амфібії, нижчі та вищі водні рослини [6]. За допомогою біотестів можна оцінювати рівень забруднення не лише природних та стічних вод, а й якість повітря, ґрунтів і навіть деяких зразків промислової продукції. Власне, сама процедура біотестування може розглядатися як технологія контролю забруднень навколишнього середовища або антропогенних впливів на довкілля, що здійснюється за участі живих організмів із використанням останніх у ролі біодатчика. Отож, біотест можна трактувати як варіант біотехнологій природоохоронного спрямування — екобіотехнологій.

Очевидно, що для України, враховуючи складну екологічну та економічну ситуацію у багатьох її регіонах, нагальним завданням є створення та широке використання відносно дешевих методик біотестування для контролю забруднень за екологічним моніторингом. Перспективними в цьому напрямі екобіотехнологічних досліджень можуть бути розробка теоретичного підґрунтя біоіндикації і біотестування, створення біосенсорних елементів для оцінки рівня

забруднення, методів біотестування води, ґрунтів, повітря та їх автоматизація.

Антропогенна трансформація і деградація природних екосистем є, мабуть, однією з найсерйозніших екологічних проблем сучасності. Їх охорона і захист стають ключовим моментом у реалізації стратегії ХХІ століття — концепції сталого розвитку. Однак відновлення повністю зруйнованих екосистем майже нереальне. Проте у тих випадках, коли екосистеми зазнали істотних впливів, але повністю не деградували, принципово можливим є їх відтворення шляхом обґрунтованої оптимізації екосистемних процесів. Повна реалізація згаданого завдання лише завдяки використанню біотехнологій, безумовно, недосяжна. Розв'язання подібних проблем 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.

Біологічні методи боротьби зі шкідниками сільського господарства, 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 компонентами агроценозів чи безпосередньо контактують із ними. Альтернативний фізико-хімічний підхід — використання жорстких хімічних засобів захисту рослин (ГХЦГ, ДДТ та ін.) — давно і переконливо продемонстрував свою екологічну небезпечність [5]. Стійкі хімічні сполуки токсичного характеру не розкладаються у природі, накопичуються у трофічних ланцюгах, спричинюючи поступове отруєння не лише об'єкта, проти якого вони були спрямовані, а й інших живих компонентів екосистем, у тому числі 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 біорекультивації ґрунтового покриву, фітодезактивації або детоксикації ґрунтів і природних вод тощо. Подібні методики набагато дешевші за механічне та хімічне очищення згаданих елементів навколишнього середовища. Крім того, вони не містять руйнівної складової (механічне 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 — серйозна екологічна проблема глобального рівня. Вимирання біологічних видів унаслідок антропогенного впливу та інтенсивної господарської діяльності є загальноновизнаним фактом [2]. Світова наукова спільнота вельми занепокоєна цією обставиною, саме тому і на конференції в Ріо-де-Жанейро, і на багатьох інших міжнародних форумах гостро ставилися питання про необхідність охорони біологічних ресурсів та збереження біорізноманіття. Ця проблема надто важлива і для України, яка приєдналася до Картахенського протоколу про біобезпеку та Конвенції про біорізноманіття, що була прийнята у Монреалі у лютому 2000 року.

Проблема збереження біорізноманіття охоплює надзвичайно багато теоретичних і практичних аспектів. Один із них — штучне відтворення тих видів рослин і тварин, популяції яких практично зникли у дикому стані. Принципову можливість клонування певних видів живих організмів у лабораторних умовах доведено. Практичне застосування подібних біотехнологій — питання надто складне технічно. До того ж з позицій біоетики неоднозначною є і його доцільність. Тому сьогодні можливість успішного застосування біотехнологій задля розв'язання

проблеми збереження та відтворення рідкісних і зникаючих видів слід вважати «дискусійним питанням на перспективу».

Наступною, надзвичайно актуальною екологічною проблемою, успішно розв'язати яку можна завдяки використанню біотехнологій, є переробка та утилізація відходів (мається на увазі відходів цивілізації). Така утилізація може здійснюватися і біологічними (екобіотехнологічними), і фізико-хімічними методами, однак за умови застосування останніх антропогенне забруднення часто тільки локалізується.

Використання чистих та змішаних мікробних культур для ліквідації забруднень або утилізації відходів господарської діяльності людини має значні переваги порівняно з іншими, особливо не біологічними методами. Природна мінливість мікроорганізмів та гетерогенність їхніх диких популяцій дають змогу останнім використовувати як субстрат, а отже, й утилізувати винятково широкий спектр речовин органічної природи, більшість із яких для довкілля є потенційними забруднювачами антропогенного походження. Висока швидкість розмноження та значний потенціал відтворення дозволяє мікроорганізмам стрімко збільшувати свою чисельність й адаптуватися до «поїдання» найбільш доступного субстрату на популяційному рівні — за рахунок зростання відсотка більш фізіолого-біохімічно пристосованих особин. Подібні процеси можливі завдяки генетичній особливості мікроорганізмів-прокаріотів — їх спроможності до плазмідної передачі адаптивно вигідних ознак (генів) по горизонталі.

Переважає більшість побутових відходів не є однорідними за своїм складом субстанціями. Порівняно з монокультурами мікробні асоціації спроможні асимілювати суміші та поетапно мінералізувати складні органічні сполуки. Природні консорціуми мікроорганізмів мають кращу здатність до біотрансформації, аніж окремі популяції, та

характеризуються підвищеною резистентністю до впливу несприятливих чинників середовища. Вони також відзначаються підвищеною продуктивністю та можливістю горизонтального обміну генетичною інформацією не лише у межах однієї популяції, а й між різними видами в межах угруповання. Згадані властивості мікроорганізмів роблять їх потенційно надзвичайно перспективним об'єктом для застосування в екобіотехнологічному циклі утилізації відходів.

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

**Біоенергетика.** Одним із перспективних сучасних напрямів розвитку екобіотехнології має стати біоенергетика — галузь, яка допоможе водночас розв'язати значну кількість екологічних проблем. *Біоенергетика — термін досить широкого змісту. З одного боку, це наука про загальні закономірності перетворення енергії у живих системах (клітинах, організмах, екосистемах тощо). З другого боку, біоенергетику можна трактувати як напрям промислової енергетики (більш коректним терміном буде «технічна біоенергетика»), що пов'язаний із використанням нетрадиційних джерел енергії біологічного походження. Технічна біоенергетика переважно займається переробкою різноманітної біологічної сировини та органічних відходів у біопаливо (тверде, рідке, біогаз). Обидва згадані напрями біоенергетики взаємопов'язані і, розвиваючись, гармонійно доповнюють один одного.*

Нескінченний потік енергії у живій клітині, організмі, популяції, екосистемі, біо-

сфері і є суттю життя. Перетворення енергії будь-яким елементом живої матерії відбувається на рівні клітин. Останні наділені складними та ефективними системами для забезпечення процесів перетворення одного виду енергії на інший. Трансформація енергії відбувається здебільшого у двох специфічних структурних компонентах еукаріотової клітини — хлоропластах та мітохондріях. Перші містяться лише у клітинах зелених рослин, другі — є компонентом як рослинних, так і тваринних клітин.

Усі дослідження у галузі біоенергетики підтверджують єдинонаукову точку зору, згідно з якою до явищ життя цілком застосовні закони фізики та хімії, а перетворення енергії на будь-якому рівні організації живої матерії підпорядковане основним принципам термодинаміки. Складність і специфічність біологічних систем і процесів, що реалізуються у них, зумовлює існування деяких відмінностей між біоенергетикою та енергетикою неорганічного світу, зокрема технічною.

*Перша фундаментальна особливість біоенергетики* полягає у тому, що будь-які живі об'єкти є термодинамічно відкритими системами, котрі успішно функціонують лише за умов постійного обміну речовиною та енергією з навколишнім середовищем. Термодинаміка подібних систем істотно відрізняється від класичної. Основне для класичної термодинаміки поняття рівноважних станів замінюється уявленням про стаціонарні стани динамічної рівноваги. Саме тому ентропія подібних систем змінюється не згідно з другим законом термодинаміки, а за теоремою І.Р. Пригожина. Подібні системи стають принципово здатними до самоорганізації та самовдосконалення.

*Друга найважливіша особливість біоенергетики* пов'язана з тим, що обмінні процеси у клітинах відбуваються за відсутності значних коливань температури, тиску та об'єму. Природа, на відміну від техніки,

не могла собі дозволити високих температур, тиску та інших умов, що характеризують сучасні двигуни внутрішнього згоряння та інші подібні теплові машини. Перехід енергії хімічного зв'язку в корисну біологічну роботу в окремій клітині або цілому організмі відбувається без проміжних перетворень хімічної енергії на теплову. Тому в ході біологічної еволюції виникли специфічні механізми, які уможливають пряме перетворення однієї форми вільної енергії на іншу, минаючи втрати при переході в тепло. Під час біохімічних процесів у живих клітинах лише незначна частина вивільнюваної енергії розсіюється у вигляді тепла, більша ж — перетворюється на вільну хімічну енергію особливих сполук, зокрема АТФ (аденозинтрифосфат). У такому вигляді енергія є надзвичайно мобільною, тобто може трансформуватися в інші форми, наприклад, виконувати механічну роботу — скорочувати м'язові волокна або використовуватися для біосинтезу органічних сполук — білків, ліпідів, вуглеводів.

Особливо слід відзначити той факт, що в основі процесів енергозабезпечення життєдіяльності будь-яких біосистем лежать молекулярні механізми, які можна поділити на дві групи. Одна з них включає перетворення зовнішніх енергетичних ресурсів безпосередньо в енергію хімічного зв'язку, яка акумулюється універсальним накопичувачем і переносником енергії — АТФ, інша — в енергію, зумовлену існуванням різниці трансмембранних електрохімічних потенціалів іонів  $H^+$  та  $K^+$  (у рослин) або  $Na^+$  та  $K^+$  (у тварин). Останній момент дає змогу стверджувати, що у перетворенні енергії в живих об'єктах широко представлені електрохімічні стадії. Сукупна потужність електрохімічних процесів, які відбуваються у клітинах усіх живих організмів біосфери, на багато порядків перевищує світові масштаби технічного використання електрохімічної енергії [7].

Одним із основних результатів розвитку біоенергетики за останні десятиліття є встановлення подібності енергетичних процесів у біосфері — від мікроорганізмів до людини. Однаковими для всього рослинного і тваринного світу виявилися і ті речовини, в яких енергія акумулюється, і процеси, за допомогою яких таке акумулювання здійснюється. Така сама подібність характеризує і процеси використання акумульованої у цих речовинах енергії. Технічні та біологічні системи перетворення хімічної енергії на електричну також принципово подібні, відмінності — лише в деталях. Під час створення технічних електрохімічних систем зазвичай не виникає особливих проблем із ізоляцією, оскільки вони оточені діелектричним середовищем — повітрям. Окрім того, у технічних пристроях як електроди і провідники використовуються метали, що мають високу електропровідність. Натомість жива природа створила свої електрохімічні пристрої у недіелектричному середовищі — розчині електроліту. До того ж у її розпорядженні не було металевих провідників. З цих причин «біологічна електрохімія» є наче оберненою щодо звичної нам «технічної електрохімії». У цьому випадку не електронний провідник, а електролітна фаза розподіляється на два об'єми. Ізолюючим прошарком між ними слугує тонка плівка — клітинна мембрана. Різниця потенціалів у такій системі генерується між розділеними мембраною об'ємами електроліту. Подібним чином організовані мітохондрії та хлоропласти. Саме ці субклітинні елементи і є біологічними електрохімічними генераторами — енергетичними станціями клітини. Хоча різниця потенціалів, яка генерується на мембрані, незначна — 150–200 мВ, проте потужність, віднесена до одиниці об'єму мітохондрії, сягає 10–50 кВт/м<sup>3</sup>, що навіть трохи більше, ніж у випадку промислових електролізерів.

У процесі досліджень біоелектрохіміки виявили, що в живу клітину немовби вмон-

товано воднево-кисневий паливний елемент (ПЕ) [8]. Так, подібно до того, як у ПЕ хімічна енергія палива перетворюється на електричну, жива природа хімічну енергію макроергічних сполук також спочатку трансформує в електричні форми, а потім, у процесі окисного фосфорилування, відразу ж консервує їх в енергію хімічних зв'язків.

Практичне застосування вже знайшли ПЕ, де як паливо використовують водень, а як окисник — кисень, електролітом слугує луг або іонообмінний полімер. Такі ПЕ працюють за невисоких температур (до 370 К), що забезпечує ресурс їхньої роботи до кількох тисяч годин. Одна з головних проблем подальшого розвитку подібних ПЕ — розробка теорії каталізу та практичних методів створення ефективних і дешевих каталізаторів, які б мали достатню активність та корозійну стійкість, були резистентними до отруйної дії продуктів струмоутворюючої реакції.

Досягнуті в розробці ПЕ успіхи пов'язані здебільшого з хімією (зокрема електрохімією), проте слід зазначити, що існують й інші, на наш погляд, перспективніші шляхи розв'язання цієї проблеми. Особливо варто звернути увагу на такі системи енергоустановок, які здатні за допомогою мікроорганізмів перетворювати безпосередньо енергію хімічних зв'язків органічних молекул на електричну. Подібні процеси дозволять оминати теплову стадію, трансформувавши вільну енергію одразу ж в електрику. Отже, енергія органічних хімічних сполук буде використовуватися найбільш ефективно, і при цьому докільля не забруднюватиметься зайвим теплом. Такі технології теоретично уможливають значне скорочення рівня споживання органічного палива, не зменшуючи рівень енергоспоживання.

Перші дослідження, які показали принципову можливість створення біологічного паливного елемента, виконав англійський ботанік Поттер ще у 1910 році. Занурюючи

Pt електрод у культуру дріжджів (*Saccharomyces sp.*) або кишкової палички (*Escherichia coli*), які вирощувалися за анаеробних умов, він помітив, що на електроді виникає потенціал, негативний стосовно потенціалу такого ж електрода, вміщеного в аеробне стерильне середовище ( $U = 0,3 - 0,5\text{В}$ ;  $I \approx 0,2\text{ мА}$ ). Згодом було описано досить багато випадків генерування електричного потенціалу різноманітними мікроорганізмами та клітинами багатоклітинних організмів. Усі вони теоретично можуть стати основою для створення біопаливних елементів, які функціонують завдяки біохімічному окисненню органічного палива.

Деякі сучасні експериментальні розробки біопаливних елементів продемонстрували достатньо високу густину струму на електроді (до  $50\text{ мА/см}^2$ ) і потужність (близько  $1\text{кВт}$ ), хоча вони ще не доведені до того стану, щоб їх можна було широко впроваджувати у виробництво. Для створення біоенергетичної установки необхідно виконати низку взаємопов'язаних технологічних завдань. По-перше, слід розробити технологію одержання стабілізованих мембран із значними площами та відпрацювати умови формування компактних об'ємних структур. По-друге, навчитися включати в ці мембрани комплекс відповідних біокаталізаторів, щоб досягти повного окиснення органічних речовин. Окрім того, потрібно розробити механізми і пристрої для регулювання інтенсивності процесу окиснення та забезпечення його циклічності з метою керування потоком енергії від біоенергетичного джерела в цілому [8].

За подібним принципом на основі штучних мембран можна побудувати і сонячні батареї. Якщо вдасться включити в ці стабілізовані мембрани хлорофіл та низку допоміжних ферментів, то енергію збудження пігменту фотонами світла можна буде безпосередньо приймати на струмопровідну підкладку.

Безумовно, сучасні перетворювачі хімічної енергії на електричну у вигляді паливних елементів або інших подібних пристроїв ще не в змозі задовольнити потреби XXI сторіччя, але вони вказують нам на принципову можливість розв'язання енергетичних проблем людства, а отже, і його екологічних проблем. Широке застосування біохімічних та електрохімічних принципів за використання мікроорганізмів у пристроях прямого перетворення різних видів енергії на електричну може розглядатися як варіант екобіотехнології. Особливостями таких систем будуть високий ККД та мінімальне забруднення довкілля.

Усе живе населення біосфери, крім людини, протягом свого еволюційного розвитку пристосувалося до існування за рахунок поновлюваних енергетичних ресурсів. Подібна стратегія використання енергії в умовах Землі — єдиний можливий напрям стійкого розвитку та стабільного існування. Саме тому можливість широкого застосування поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) у господарстві останнім часом розглядається дуже уважно. Такий підхід має переваги і в контексті охорони навколишнього середовища. Частка ПДЕ у паливно-енергетичних балансах окремих країн дотепер сильно диференційована. З метою збільшення внеску ПДЕ у загальні енергетичні потреби в Європейському Союзі прийнято Білу книгу «Енергія майбутнього у поновлюваних джерелах енергії». Це видання є ключовим документом стратегічного характеру, який визначає напрями довготривалої політики і ставить за мету збільшити частку ПДЕ з 6 до 10 відсотків упродовж 2000—2020 років [9]. Поновлювані джерела енергії у майбутньому мають становити значну частку і в енергетичному балансі окремих районів та областей України.

Одним із можливих варіантів застосування ПДЕ є використання біомаси або безпосередньо як палива, або як сировини для

подальшого перетворення на паливо. Згідно з прийнятим у Європі визначенням біомаса — це біодеградовані фракції продуктів, відходів та залишків сільського господарства (рослинних і тваринних), лісового господарства та близьких до них галузей промисловості.

Застосування біопалива у вигляді деревини має надзвичайно велике значення у домашньому господарстві приблизно 50% населення планети, забезпечуючи загалом виробництво майже 300 ГВт енергії. Для людства фатальною є та обставина, що сьогодні використання деревини значно випереджає її відтворення. Перспективним може стати споживання як біопалива неїстівних решток сільськогосподарських рослин. За прогнозами фахівців у найближчому майбутньому передбачається до 10% енергоресурсів отримувати за рахунок біомаси, накопичуваної у сільському господарстві. Використання енергії біомаси сільськогосподарських рослин може бути вельми значним. Наприклад, за рахунок відходів виробництва тростинного цукру в країнах, де культивують тростину, забезпечується до 40% потреб в органічному паливі. Відбувається поступове заміщення викопних енергоносіїв відповідними аналогами рослинного походження.

Сьогодні промислове виробництво біопалива в Україні стимулюють прийняті законодавчі акти. Щорічно у нас споживається близько 200 мільйонів тонн умовного палива, при цьому видобуток із природних джерел країни становить лише 80 млн тонн. Важливим потенційним ресурсом за такого балансу власної та імпортованої енергетичної сировини може стати біопаливо. Можливості виробництва та використання біомаси в Україні визначаються передусім рослинництвом, основою якого є вирощування зернових. Солома — досить непогане джерело біомаси. Якщо для енергетики використовувати близько 20% загальної кількості соломи, то на цій основі можна замістити

певну частку загального споживання Україною первинних енергоносіїв [9].

Форми біомаси для використання її як біопалива є досить різноманітними. Біомасу в енергетичних цілях можна застосовувати у процесі безпосереднього спалювання деревини, соломи, сапропелю (органічних донних відкладень), а також у переробленому вигляді як рідкі (ефіри ріпакової олії, спирти) або газоподібні (біогаз — газова суміш, основним компонентом якої є метан) палива. Конверсія біомаси у носії енергії може відбуватися фізичними, хімічними та біологічними методами, останні — найперспективніші.

Аналіз світового досвіду демонструє, що рідкі біопалива стають перспективною і популярною категорією енергетичних ресурсів, яка за своїм значенням у світовій енергетиці посідає друге місце після твердих палив із біомаси. Сьогодні у країнах ЄС частка рідкого біопалива не перевищує 0,5% загального використання моторних олій, мінерального дизеля та бензину. Це пояснюється насамперед високою вартістю виробництва, що робить рідке біопаливо неконкурентоспроможним стосовно традиційного пального з нафти. Отже, попри високу собівартість, виробництво рідкого палива з біомаси у країнах ЄС динамічно зростає [10]. Передусім це стає можливим завдяки екологічно продуманій на державному рівні економічній політиці. Основні шляхи розвитку виробництва рідкого біопалива, призначеного для транспортних засобів із дизельними двигунами та двигунами внутрішнього згорання, безпосередньо пов'язані з вирощуванням олійних культур і рослин з великим вмістом крохмалю.

Залежно від виду сировини та масштабу виробництва витрати на виготовлення рідких біопалив змінюються у діапазоні від 0,4 дол./ $\text{дм}^3$  для етанолу з кукурудзи у США до 0,6 дол./ $\text{дм}^3$  — для метилових ефірів вищих жирних кислот з рослинних

олій у Європі. Порівняно з ними вартість виробництва рідкого палива із корисних копалин становить близько 0,2 дол./ $\text{дм}^3$  [10]. Хоча сьогодні одержання рідкого біопалива — більш дорогий процес, експерти стверджують, що різниця вартості біо- та мінерального пального почне зникати приблизно у 2010 році. На основі досліджень, здійснених у США в 1995 році, встановлено, що вартість ліквідації негативних наслідків, спричинених у навколишньому середовищі виробництвом та застосуванням палива з корисних копалин, коливається у межах від 0,1 до 0,4 дол./ $\text{дм}^3$ . Таким чином, сумарний баланс вартості вказує на те, що паливо, отримане з поновлюваних біологічних джерел, може бути дешевшим у валовому економічному розрахунку.

Ще одним можливим шляхом доповнення та часткової заміни традиційних видів палива є отримання і використання біогазу. Важливий аргумент на користь цього джерела енергії — необхідність розв'язання на сучасному рівні екологічних проблем утилізації відходів. Одна з основних тенденцій у розгортанні екологічно безпечної переробки органічних відходів — розвиток комплексних технологій утилізації біомаси за рахунок метанового зброджування, в результаті чого утворюється біогаз. Сировиною для виробництва біогазу є передусім різноманітні органічні відходи агропромислового комплексу, які багаті на целюлозу та інші полісахариди. Перетворення органічних решток на біогаз відбувається внаслідок цілого комплексу послідовних біохімічних реакцій. Цей процес отримав загальну назву ферментації біомаси. Він реалізується лише завдяки бактеріям і здійснюється у спеціальних технологічних установках — ферментаторах. Необхідність створення та підтримування оптимальних умов для росту й існування культури бактерій у ферментаторі визначає собівартість біогазу. Деякі фахівці, на наш погляд, хибно вва-

жають, що головне призначення ферментаційних установок — отримання біогазу, який слугує додатковим джерелом місцевого енергопостачання. Оцінюючи з цього погляду економічну ефективність переробки біомаси, вони не враховують, що біогазові установки є також обладнанням для переробки гною та інших органічних відходів. Тому економічні витрати на їх створення та експлуатацію слід розглядати комплексно. При підрахунку собівартості біогазу необхідно враховувати вартість заходів з утилізації відходів і захисту навколишнього середовища. У такому випадку спорудження та експлуатація біогазових установок завжди матиме позитивний економічний ефект. Розрахунки свідчать, що, попри значні капіталовкладення, термін окупності промислової біогазової установки становить близько трьох років. Обсяги сучасного виробництва біогазу з агропромислової сировини в Україні можна оцінити на рівні 1,6 млн тонн умовного палива. Враховуючи технологічні можливості переробки зеленої маси як вихідної сировини для одержання біогазу, потенційні можливості синтезу біогазу та використання його як палива можна вважати істотно більшими [10].

Нещодавно з'явилися і повідомлення про можливість переробки органічних сполук рослинного походження з одержанням водню, який часто-густо розглядається як найбільш екологічний енергоносіє.

Підсумовуючи, ще раз наголосимо: сьогодні у світі продовжують розвиватись явища, що порушують цивілізований плин життя. Так, вичерпуються традиційні джерела енергії, зростає вартість їх видобування, інтенсивно забруднюється довкілля, руйнується біосфера, утворюється надмірна кількість органічних відходів промислового, сільськогосподарського та побутового походження. Ліквідація усіх цих негараздів має здійснюватися прискореними темпами,

інакше людство неминуче чекає доля динозаврів. Екобіотехнологія і біоенергетика — це вибір, який має глобальну перспективу для успішного розвитку цивілізації. Подолання сучасних і запобігання ймовірним екологічним кризам неможливі без застосування новітніх екобіотехнологій для очищення стічних вод, знешкодження небезпечних газових викидів, використання перспективних засобів утилізації твердих і рідких промислових відходів, підвищення ефективності методів біологічного відновлення забруднених ґрунтів, заміни низки агрохімікатів на біотехнологічні препарати тощо. Важливими напрямками також мають стати розробка екобіотехнологій, спрямованих на виробництво біогазу та водню з органічних відходів, мікробіологічна деструкція ксенобіотиків, застосування біоіндикації та біотестування у системі екологічного моніторингу.

Для гармонізації взаємовідносин людини і біосфери та розробки новітніх систем відновлення природного середовища за допомогою сучасних екобіотехнологій нагальною є також організація якісної підготовки фахівців за спеціальністю «Екобіотехнологія». Тому, з урахуванням викладеного і потреби вдосконалення структури напрямів підготовки фахівців у вищих навчальних закладах України у рамках Болонського процесу, на наш погляд, надзвичайно важливим є збереження за екобіотехнологією та біоенергетикою статусу окремої спеціальності.

1. Матеріали до Першого робочого засідання групи з розробки програми бакалаврату зі спеціальності «Біотехнологія» / Відповід. за видання Новак Т.В. — К.: Київ ЦНТЕІ, 2000. — 75 с.
2. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Россия молодая, 1994. — 366 с.
3. Екологія та природні багатства України. Загальноукраїнський проект під патронатом Комітету Верховної Ради України з питань екологічної політики, природокористування та ліквідації

- наслідків Чорнобильської катастрофи, Міністерства охорони навколишнього природного середовища. — К.: Вид-во «Новий світ», 2004. — 320 с.
4. *Буравльов Є.П.* Безпека навколишнього середовища. — К., 2004. — 320 с.
  5. *Enger D.E., Smith D.F.* Environmental science: a study of interrelationships. 6-th ed. / McGraw-Hill, 1997. — 456 p.
  6. *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and risk assessment* / edited by Gary M. Rand. — Ecological Services Inc. North Palm Beach, Florida. — sec. ed., 2003. — 1125 p.
  7. *Ksenzhek O.S., Volkov A.G.* Plant Energetics // San Diego, New York, London: Academic Press, 1998. — 390 p.
  8. *Кузьмінський Є.В., Колбасов Г.Я., Тевтуль Я.Ю., Голуб Н.Б.* Нетрадиційні електрохімічні системи перетворення енергії. Фото-, термо- та біопаливні елементи. — Чернівці: Рута, 2003. — 96 с.
  9. *Дубровін В.О. та ін.* Біопалива (технології, машини та обладнання) — К.: ЦТІ «Енергетика й електрофікація», 2004. — 256 с.
  10. Міжнародна науково-практична конференція «Відновлювальні джерела енергії та енергоощадність» / Тези доповідей. — К.: Вид-во «Екоінформ», 2003. — 30 с.

*В. Кухар, Є. Кузьмінський, О. Ігнатюк, Н. Голуб*

#### ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЯ ТА БІОЕНЕРГЕТИКА: ПРОБЛЕМИ СТАНОВЛЕННЯ І РОЗВИТКУ

##### Резюме

Досліджено питання становлення і перспективи розвитку актуальних напрямів сучасної біотехнології — екобіотехнології й біоенергетики. Екобіотехнологія характеризується як міждисциплінарний напрям, що утворився у результаті перетину інтересів, підходів

та методів прикладних напрямів екологічної науки та новітніх і класичних біотехнологій. Тобто це технологічні процеси, які здійснюються з використанням живих організмів або їхніх елементів і спрямовані на поліпшення, захист і відновлення порушеного людиною довкілля. Відзначено найперспективніші напрями розвитку екобіотехнології. Продемонстровано перевагу застосування екобіотехнології порівняно з традиційними хімічними та фізико-хімічними природоохоронними технологіями. Біоенергетика розглянута як невід’ємна складова екобіотехнології. Показано принципову можливість і доцільність використання біоенергетичних підходів у розв’язанні енергетичних та екологічних проблем людства.

*V. Kukhar, Ye. Kuzminsky, O. Ignatyuk, N. Golub*

#### ECOBIO TECHNOLOGY AND BIOENERGETICS: ESTABLISHMENT AND DEVELOPMENT PROBLEMS

##### Summary

The issue of establishment and prospects of modern biotechnology actual trends such as ecobiotechnology and bioenergetics are investigated. Ecobiotechnology is defined as interdisciplinary trend formed as a result of overlapping of interests, approaches and applied trend methods of ecological science and modern and classic biotechnologies. So these are technological processes that are realized with the use of living organisms or their elements focused on improvement, protection and revival of disturbed by people environment. The most perspective trends of ecobiotechnology are highlighted. The advantages of ecobiotechnology use are demonstrated in comparison with traditional chemical and physical-chemical environmental technologies. Bioenergetics is described as an integral constituent of ecobiotechnology. The principal opportunity and expediency of bioenergetic approaches in solving of energy and environment problems of mankind.