

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО

ЄЛІЗАРОВ Михайло Олександрович
ДІГТЯР Сергій Вікторович
МАЗНИЦЬКА Оксана Вікторівна
НОВОХАТЬКО Ольга Володимирівна
НИКИФОРОВА Олена Олексіївна
ПАСЕНКО Альона Вікторівна
САКУН Оксана Анатоліївна

ГАЛУЗІ СУЧАСНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ
підручник

загальна редакція:
НИКИФОРОВ Володимир Валентинович

Кременчук
ПП Щербатих О.В.
2021

УДК 573.6.086.83.001.12/.18

Г 15

Рецензенти:

Крусір Галина Всеволодівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій Одеської національної академії харчових технологій

Сатарова Тетяна Миколаївна, доктор біологічних наук, професор, завідувач лабораторії біотехнології, фізіології та методів селекції Інституту зернових культур НААН України

Лубенець Віра Ільківна, доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»

Рекомендовано до друку вченою радою
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського (протокол № 7 від 28.05.2020)

Г 15 Галузі сучасної біотехнології : підручник для студентів спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» / Дігтяр С. В., Єлізаров М. О., Мазницька О. В., Никифорова О. О., Новохатько О. В., Пасенко А. В., Сакун О. А. Загальна редакція професора Никифорова В. В. Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2021 – 126 с.

ISBN 978-617-639-311-5

У підручнику розкрито інформацію про сучасні галузі біотехнології, зокрема про стан їх розвитку у світі та Україні, у доступній формі подано відомості про харчову, агролісову, медико-фармацевтичну, енергетичну, екологічну, гідрологічну та геологічну біотехнології, а саме: загальну характеристику, складові елементи, приклади сучасних біотехнологій кожної галузі та пріоритетні напрями досліджень у них. Після кожного розділу наведено контрольні питання і використані та рекомендовані для студентів інформаційні джерела.

Навчальне видання призначене для здобувачів вищої освіти, які навчаються за освітнім ступенем «Бакалавр» зі спеціальності «Біотехнології та біоінженерія», оскільки його зміст присвячений об'єктам, меті, методам і технологіям, інструментам та обладнанню, передбаченим відповідним стандартом вищої освіти України. Підручник можна рекомендувати для навчання студентів інших спеціальностей, які вивчають технологічні процеси виробництва, що використовують біоагенти, а також аспірантам і викладачам закладів вищої освіти.

УДК 573.6.086.83.001.12/.18

ISBN 978-617-639-311-5

© Дігтяр С. В., Єлізаров М. О., Мазницька О. В.,
Никифорова О. О., Новохатько О. В., Пасенко А. В.,
Сакун О. А. Загальна редакція професора Никифорова В. В.

З М І С Т

ВСТУП	4
ВИЗНАЧЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ	7
ГАЛУЗІ СУЧАСНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ	10
КОНТЕНТ БІОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	14
ХАРЧОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ	30
АГРОЛІСОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ	54
МЕДИКО-ФАРМАЦЕВТИЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ	76
ЕКОЛОГІЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ	101
ЕНЕРГЕТИЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ	120
ГІДРОЛОГІЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ	136
ГЕОЛОГІЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ	149
ГЛОСАРІЙ	168
ДОДАТОК	182

АБРЕВІАТУРИ

БТ – біотехнологія
БІ – біоінженерія
БА – біоагент
БР – біореактор
ЦП – цільовий продукт
ХБ – харчова біотехнологія
АЛБ – агролісова біотехнологія
МФБ – медико-фармацевтична біотехнологія
ЕБ – енергетична біотехнологія
ПБ – природоохоронна (екологічна) біотехнологія
АБ – аква-, або гідрологічна біотехнологія
ГБ – геологічна біотехнологія
БНК – біотехнологічні нові культивари
БАР(Д) – біологічно активні речовини (добавки)
ГМО – генетично модифіковані організми
С(Ф)ХП – спеціалізовані (функціональні) харчові продукти
ЗВК – закваски висококонцентровані
МХП – молочнокислі харчові продукти
БВМК – білково-вітамінно-мінеральні концентрати
БСМ – безвірусний садивний матеріал
КНП – клонові насінні плантації

ВСТУП



Сьогодні біотехнологія (БТ) розглядається як другий після ІТ пріоритетний напрям розвитку перших економік світу: США, Німеччини, Франції, Китаю й Японії, де БТ орієнтована на інноваційні технології, засновані на рекомбінації нуклеїнових кислот і використанні ферментів, а також на створенні штамів мікроорганізмів, які синтезують нові біополімери і розкладають ксенобіотики різного походження.

Наприклад, у Німеччині основною біотехнологічною продукцією є фармацевтичні препарати для людини і тварин, зокрема вітаміни, гормони, жири та жирні кислоти, сироватки та вакцини, антибіотики, клейкі речовини, желатин та інші. У Франції розвиток біотехнології зумовлений досягненнями у галузі цитологічних досліджень бактерій, рослин, грибів і тварин, в області кінетики біотехнологічних процесів і ферментативної інженерії, а також конструювання відповідних контрольних приладів та фармацевтичних досліджень і розробки нових біотехнологій у харчовій промисловості і сільському господарстві, в тому числі природоподібних, екологічних і біоенергетичних.

Біотехнологічні галузі в Україні перебувають на стадії розвитку, в них майже немає вагомих гравців. Вони представлені великою кількістю малих і середніх приватних компаній, що займаються конкретним застосуванням біотехнологічних рішень у різних сферах, наприклад, у медицині і фармацевтиці, біоенергетиці, агропромисловому комплексі, ветеринарії, лісопереробній промисловості тощо.



Розвиток нових агротехнологій дозволить перемогти голод в усьому світі. Використання генетично-модифікованих культур зумовить розв'язання цілого ряду проблем: вони більш урожайні, стійкі до хвороб і мінімізують

застосування пестицидів і добрив. За допомогою вертикальних ферм можна буде заощадити місце і отримати максимум сільгосппродукції на невеликих територіях. Міста будуть прагнути до автономності та безвідходності: вирощувані в місті рослини і мікробіологічні культури зможуть задовольняти всі потреби жителів в їжі, енергії, а сміття буде перероблятися в новий органічний ресурс.

На зміну неорганічним матеріалам прийде органіка, зокрема з'являться нові тканини, будівельні матеріали, медичні препарати і біосумісні гаджети. Одночасно з використанням енергії сонця і вітру будуть розвиватися альтернативна біоенергетика і біопаливо. Від виробництва хімічних ліків і побутової хімії ми перейдемо до препаратів біосинтезу. Наприклад, сучасна медицина пропонує більш м'яку альтернативу антибіотикам – використання бактеріофагів (вірусів, які вибірково вражають хвороботворні бактерії і не завдають шкоди організму в цілому).



Саме тому біотехнологі – це професіонали майбутнього, які мають розв'язувати різноманітні завдання, пов'язані з розробкою гістосумісних матеріалів в області точної хірургії, травматології та трансплантології, препаратів, які відновлюють природний баланс

довкілля, пристроїв для превентивної діагностики здоров'я людини, біосумісних девайсів, імплантованих в організм людини або тварини, а також трансгенних організмів, зокрема геномодифікованих планктонних безхребетних тварин для виробництва біомаси й енергетичних рослин.

Їхня діяльність буде спрямована на прогнозування і контроль потенційних змін біосфери внаслідок появи нових БТ-матеріалів, отримання чистих хімічних сполук і препаратів, біосинтез придатних для харчування речовин для



голодуючих країн, проектування життєвого циклу продуктів від стадії сировинної підготовки до розкладання в цілях економії ресурсів та утилізації відходів, а також отримання нових матеріалів і продуктів за рахунок розвитку біокультивування.

Ці завдання вирішити під силу лише біотехнологам майбутнього. Серед різноманітних професій, пов'язаних із біологічними технологіями, найбільшим попитом, на наш вигляд, будуть користуватися біофармакологи й архітектори живих систем, системні біотехнологи й урбаністи-екотехнологи, молекулярні агрономи і природоохоронні біотехнологи, ектофологи і генні інженери та багато інших. Нижче наведено приклади БТ-професій, затребуваних у високорозвинених країнах уже зараз.

Системний біотехнолог – фахівець із заміщення застарілих методів і способів у різних галузях економіки новими біологічними технологіями. Наприклад, він буде допомагати транспортним компаніям перейти на біопаливо замість дизельного, а будівельним – на нові біоматеріали замість цементу і бетону.



Біофармаколог – спеціаліст із проектування нових біопрепаратів із заданими властивостями, зокрема із заміщення штучно синтезованих препаратів біопрепаратами. Вже сьогодні ряд важливих ліків виробляється за допомогою

генетично модифікованих бактерій (наприклад, соматотропний гормон, інсулін, антибіотики тощо).

Архітектор живих систем – фахівець із планування, проектування і створення технологій замкнутого циклу з використанням генетично модифікованих мікроорганізмів і рослин. Такий професіонал буде незамінний в автономних містах: він зможе розрахувати необхідну потужність біореакторів, розробити проекти міських ферм і ретельно продумати систему переробки сміття.

Урбаніст-екотехнолог – проектувальник нових міст на основі екологічних біотехнологій, який спеціалізується в галузях будівництва, енергетики та контролю ризиків, пов'язаних із забрудненням води, ґрунтів і повітря. Парковий еколог – це професіонал, діяльність якого передбачає моніторинг та аналіз екологічного стану громадських просторів (парків, скверів, об'єктів природно-заповідного фонду тощо), а також розробку і впровадження природоподібних БТ з озеленення, заселення території ссавцями, птахами, комахами та інших заходів з підтримки екологічного балансу на зеленій території урбоєкосистеми.



ВИЗНАЧЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ



У більшості людей мікроби асоціюються насамперед з хворобами людини, тварин і рослин. Але їх роль у природі та житті людини як корисних організмів істотно переважає. Вони завоювали міцну позицію в домашньому господарстві і абсолютно необхідні в промисловості. Люди стали «біотехнологами» дуже давно, як тільки почали пекти хліб і робити сир, готувати інші кисломолочні продукти, варити пиво та виробляти вино, використовуючи різні мікроорганізми, навіть не підозрюючи про їх існування. Безсумнівно, найдавнішим біотехнологічним процесом було бродіння. Про це свідчить опис способу приготування пива, виявлене на дощечці, знайденій при розкопках Вавилону, яка датується VI тисячоліттям до н. е. Відомо, що в III тисячолітті до н. е. шумери виготовляли близько 20 сортів пива.

Уперше термін «біотехнологія» застосував угорський інженер Карл Ерек 1917 року, але використовувати його в сучасній мові стали недавно, оскільки раніше замінювали словами «промислова мікробіологія» або «технічна біохімія». До 1970 року поняття «біотехнологія» використовувалося, головним чином, у харчовій промисловості і сільському господарстві. Починаючи з 70-х років, учені застосовують його відповідно до нових лабораторних методів, таких, як рекомбінація ДНК і культивування клітин і тканин *in vitro*. Тому, в найширшому сенсі біотехнологія – це наука про методи і технології виробництва різних речовин і продуктів із використанням живих організмів і біологічних процесів. Часто під БТ розуміють технологію живих систем – комплексний науково-практичний напрямок, що розробляє питання застосування природничих і інженерних наук для технологічного використання живих організмів, клітин, їх частин і молекулярних аналогів для виробництва товарів і послуг.



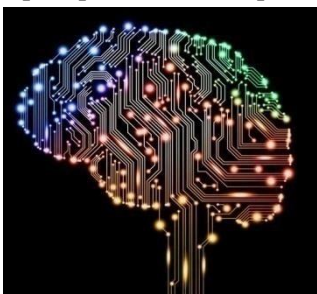
Різноманітність і неоднорідність біотехнічних методів і способів призводить до деяких різночитань у великій кількості визначень біотехнології. Проте, відповідно до глосарію Європейської федерації біотехнологів (ЄФБ, 1984) БТ заснована на інтегральному

використанні біохімії, мікробіології та інженерних наук з метою промислової реалізації властивостей мікроорганізмів, культур клітин, тканин і їх частин. Під біотехнологією також прийнято розуміти виробниче використання біологічних агентів (головним чином мікроорганізмів) для отримання цільових продуктів шляхом контрольованих перетворень.

Біотехнологія (*biotechnologia* від грецької *bios* – життя, *techne* – майстерність і *logos* – навчання) – це наука про живі організми і біологічні процеси, які використовують у промисловому й сільськогосподарському виробництві. Це також міждисциплінарна галузь, що виникла на стику біологічних,

хімічних і технічних наук. Більш вузько біотехнологію розглядають як навчальну дисципліну, що вивчає можливості використання живих організмів, їх систем чи продуктів життєдіяльності задля розв'язання технологічних задач, а також створення живих організмів із необхідними властивостями методом генної інженерії. У зв'язку з цим, БТ часто ототожнюють з генною інженерією. Але термін «біотехнологія» відноситься до більш широкого комплексу методів конструювання нових живих організмів для забезпечення потреб людини, починаючи з модифікації рослин і тварин шляхом штучного відбору і гібридизації.

Таким чином, біотехнологія – це кероване отримання цільових продуктів з субстрату (спеціальної сировини) з використанням біологічних агентів (вірусів і клітин бактерій, рослин, грибів і тварин, а також їх компонентів і позаклітинних речовин), як правило, в біореакторах. Основну частину БТ становить промислова мікробіологія. Це наука про мікробіологічні процеси і їх практичне застосування для отримання промисловим способом цінних продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, їх біомаси як білкового продукту, про отримання окремих корисних речовин або препаратів, які використовуються в різних галузях економіки.



Біотехнологія посідає в ХХІ столітті ключові позиції в циклі природничих наук. Виходячи з цього, сучасним біотехнологам необхідно добре знати не тільки фізико-хімічну біологію (біофізику, біохімію і молекулярну генетику), але і мікробіологію, цитологію, гістологію і фізіологію, а також технологію виробництва ферментів та інші біотехнологічні процеси. Крім того, з біоінформатикою та системною біологією тісно пов'язані

комп'ютерні та інформаційні технології, наприклад, нейромережі.

Тому не дивно, що досі не існує коротких і змістовних підручників з біотехнології, які охоплювали б цю дисципліну в усьому її різноманітті. Перед вами одна зі спроб заповнити цю прогалину. Підручник «Галузі сучасної біотехнології» розрахований на студентів першого рівня вищої освіти в Україні (бакалаврів), що навчаються за

спеціальністю 162 – Біотехнологія і біоінженерія. Майже в кожному регіоні України є заклад вищої освіти, який готує фахівців для різних галузей біотехнології за цією спеціальністю. Серед них Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, в якому працює команда авторів цього підручника.



ГАЛУЗІ СУЧАСНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ

На наш погляд, систематизувати галузі сучасної БТ – завдання не з легких, оскільки біотехнологічну продукцію можна розділити за принципом «до якої галузі належить виробництво цільового продукту» і за принципом «яка галузь має потребу в ньому». Певні труднощі під час класифікації (створення типології) БТ-галузей пов'язані з різночитаннями у визначеннях біологічних технологій, а також із назвами БТ, сформованими раніше. Наприклад, серед основних напрямків галузі промислової біотехнології виділяють виробництво ферментів (відноситься до харчової та сільськогосподарської БТ), кормових добавок (відноситься до сільськогосподарської БТ), біодегрантів (належить до екологічної БТ), полісахаридів для більшої віддачі пластів (відноситься до геологічної БТ) і біопластику (відноситься до медичної, харчової та сільськогосподарської БТ).

У різних країнах серед різноманітних біологічних технологій прийнято виділяти від трьох до 12 галузей. Ідея першої класифікації, заснованої на кольорах, зародилася під час зустрічі європейських і американських фахівців із різних

галузей біотехнології (US-EC Biotech meeting, 2003). Її автором є директор Національного американського БТ-фонду Рита Колвел: «If we could weave a Flag of Biotechnology, some say, it would feature three colours: red for medical applications, green for agricultural and white for industrial. In fact this flag may accrue even more colours over time as environmental and marine biotech and other applications add their stripes». За рік, з'явилася типологія, що включає 10 біотехнологічних галузей (табл. 1), варіанти якої дуже популярні сьогодні у різних державах.

До провідних галузей економіки України, що інтенсивно використовують різні біотехнології, відносяться *харчова промисловість* (виробництво харчового білка, ферментних препаратів, функціональних харчових продуктів і добавок, а також пре-, про- і синбіотиків), *медицина* (використання діагностикумів і маркерів, цитогістологічних технологій, біосумісних матеріалів, біопротезуван-ня, біоінформатики і генетичної цифровізації) та *фармацевтика* (виробництво інноваційних лікарських препаратів, вакцин й антибіотиків нової генерації) (рис. 1).

Таблиця 1 – Типологія областей біотехнологічної діяльності за даними Electronic Journal of Biotechnology

<http://www.ejbiotechnology.info/index.php/ejbiotechnology/article/view/1114/1496>

Color type	Area of Biotech Activities
Red	Health, Medical, Diagnostics
Yellow	Food Biotechnology, Nutrition Science
Blue	Aquaculture, Coastal and marine Biotech
Green	Agricultural, Environmental Biotechnology (Biofuels, Biofertilizers, Bioremediation), Geomicrobiology
Brown	Arid Zone and Desert Biotechnology
Dark	Bioterrorism, Biowarface, Biocrimes, Anticrop warface
Purple	Patents, Publication, Invention, IPRs
White	Gene-based Bioindustries
Gold	Bioinformatics, Nanobiotechnology
Grey	Classical Fermentation and Bioprocess Technology

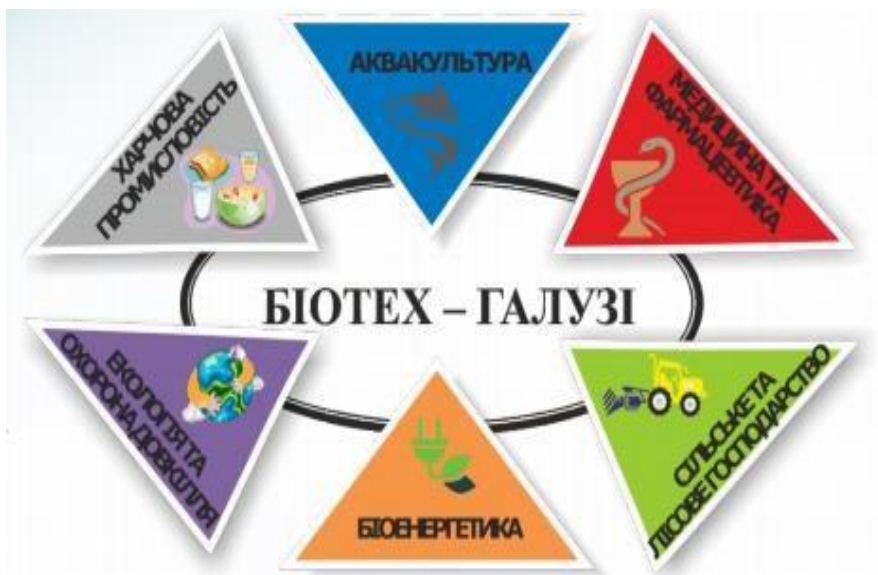


Рисунок 1. Провідні галузі економіки України, які використовують сучасні біотехнології

До сучасних БТ-галузей також належать сільське і лісове господарство (біологічний захист рослин, створення трансгенних і клонованих сортів і порід, охорона ґрунтів і виробництво біодобрива, кормових білків і преміксів, збереження і відтворення лісових генетичних ресурсів, створення нових форм дерев із заданими ознаками і застосування біологічних засобів захисту лісу), біоенергетика (виробництво біопалива різних генерацій й електричної енергії з біомаси), екологія та охорона природи (мінімізація емісії парникових газів, ліквідація наслідків антропогенного впливу, біоконверсія і біоремедіація), а також аквакультура (глибока переробка морських і прісноводних гідробіонтів і виробництво кормів для них) (рис. 1).

У нашому підручнику також використано версію колірної типології, адаптованої до навчальних дисциплін, наповнення яких відповідає спеціальним компетентностям і результатам навчання, передбаченим державним стандартом освітньої

програми підготовки бакалаврів за спеціальністю 162 – Біотехнології і біоінженерія. Вона складається із семи сучасних біотехнологій (рис. 2). Виходячи з відокремлення біоінженерії у назві спеціальності, її немає в даній типології, адже традиційні й інноваційні методи молекулярної, клітинної та тканинної інженерії широко використовуються усіма іншими галузями сучасної біотехнології.

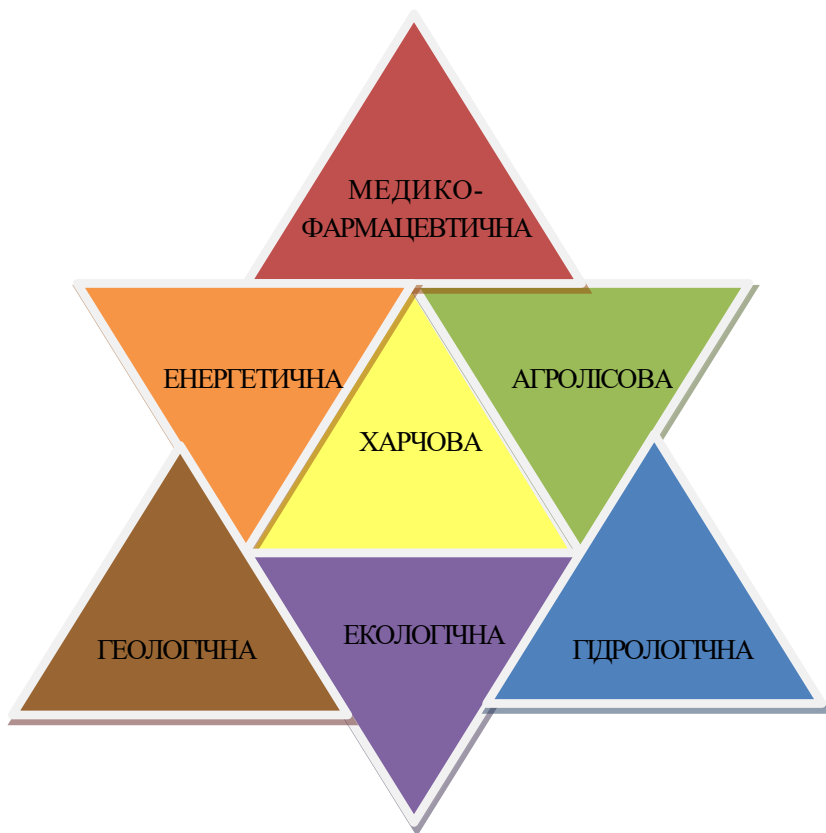


Рисунок 2. Типологія біологічних технологій

КОНТЕНТ БІОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У структурі будь-якого біотехнологічного процесу можна виділити кілька функціональних елементів. Для уніфікації підходу під час вивчення сучасних БТ-галузей у цьому підручнику пропонується розглядати п'ять основних елементів (компонентів). По-перше, усі БТ-галузі використовують біоагенти (живі організми, їх частини або продукти метаболізму), що перетворюють субстрат (сировину) на продукт. По-друге, всі процеси такої трансформації відбуваються в різного типу біореакторах, оснащених спеціальною апаратурою, що забезпечує управління ними, і як результат – максимальний вихід цільового продукту (рис. 3).

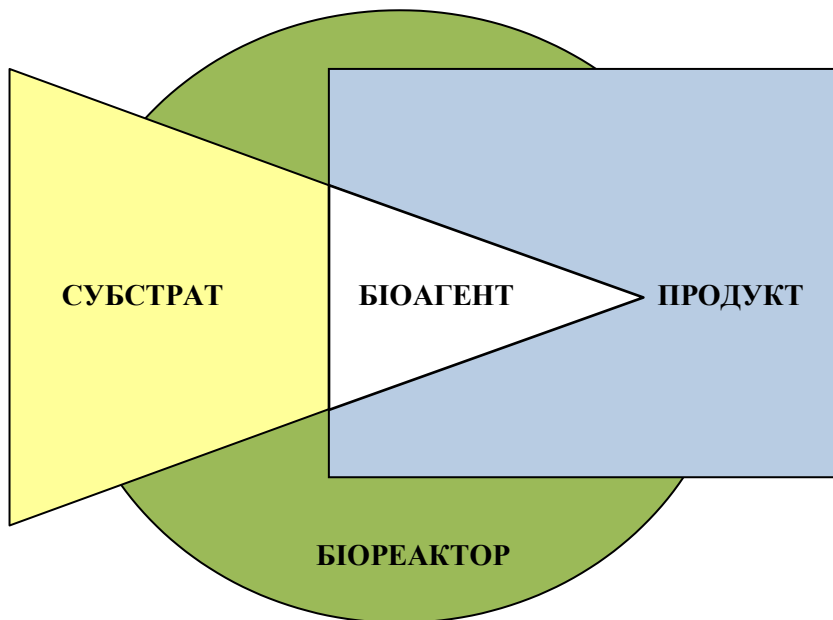


Рисунок 3 – Структурно-функціональна схема основних елементів біологічної технології

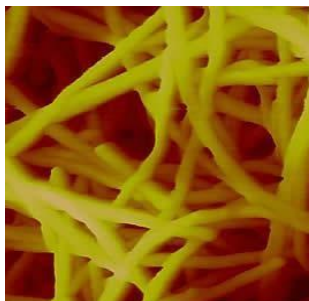
Субстрати. Сировина або субстрат у біотехнологічних виробництвах, особливо великотоннажних, посідає перше місце в статтях витрат і становить 40–65 % від загальної вартості

продукції. При біохімічному (мікробному) синтезі частка сировини в загальній собівартості цільового продукту зменшується. Субстрат (зазвичай, це поживне середовище) є складною трифазною системою, що містить рідкі, тверді й газоподібні компоненти. Існує тісний контакт між об'єктом культивування (біоагентом) і фізико-хімічними факторами середовища (субстратом). Мікроорганізми потенційно здатні асимілювати будь-яку органічну сполуку, тому сировинними ресурсами для різних біотехнологій можуть бути всі світові запаси органічних речовин, зокрема поновлювані ресурси, головним чином, фітогенна біомаса.

До карбоновмісних субстратів, як основної сировини мікробного синтезу, відносяться парафінові вуглеводні нафти, метан як компонент природного газу, гідролізат рослинної сировини, оцтова кислота та ін. Низькомолекулярні спирти (метанол і етанол) можна віднести до перспективних видів субстрату, оскільки їх ресурси істотно збільшуються завдяки успішному розвитку технологій хімічного синтезу. Прикладом використання побічних продуктів є крохмальний екстракт, цукробуряковий дефекат, зернова і картопляна барда, меляса, молочна сироватка тощо.

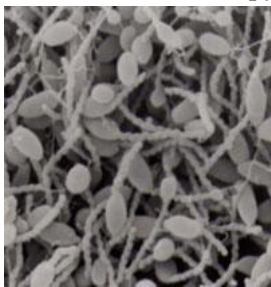
Обмеженість ресурсів нафти і газу змушує біотехнологів шукати нові, в першу чергу, поновлювані субстрати, головним чином, біомасу різного походження. Особливу увагу вони приділяють різним видам фітомаси: плодам, сокам, бульбам, масовим формам водоростей та інших рослинних гідробіонтів, деревині та трав'яний масі. Застосовують також відходи сільського господарства і харчової індустрії, деревообробної та паперової промисловості, що дозволяє реалізувати за допомогою біотехнології принцип безвідходного виробництва.

Будь-яка рослина містить різноманітні вуглеводи (моно-, оліго- і полісахариди). Целюлоза – полісахарид, що складається із залишків молекули глюкози. Геміцелюлоза складається із залишків арабінози, галактози,



манози, фруктози. Проблема в тому, що полісахариди деревини пов'язані оксіфенілпропановими ланками лігніну – біополімеру, який майже не піддається розкладу. Тому гідроліз деревини відбувається при високих температурах у присутності каталізатора (мінеральної кислоти). При цьому утворюються моносахариди (гексози і пентози) та побічні продукти (фурфурол і меланіни). На рідкій вуглеводневій фракції гідролізату вирощують дріжджі (штами *Candida scotti* і *C. tropicalis*).

На особливу увагу заслуговують способи прямої біоконверсії продуктів фотосинтезу та їх похідних на білок за допомогою грибів, здатних утилізувати складні рослинні субстрати без попередньої обробки. До них відноситься ксілотрофний вид *Chaetomium cellulolyticum*, який використовують як в глибинній, так і в поверхневій культурі. Вміст білка в цільовому продукті (висушеному грибному міцелії) становить 45 %. Фінська фірма «Тампелла» розробила технологію і виробляє білковий кормовий продукт із відходів целюлозно-паперового виробництва, що містить до 60 % протеїну зі збалансованим амінокислотним профілем і значну кількість вітамінів групи В.



У США, Японії, Канаді, Німеччині та Великобританії розроблено БТ отримання білка з природного газу. Вихід біомаси в цьому випадку може становити 66 % від маси субстрату. У виробництві використовується бактеріальний консорціум представників різних родів: *Methylomonas* (засвоюють метан), *Hydrogrobium* і *Pseudomonas* (засвоюють метанол). Культура характеризується високою швидкістю росту та продуктивністю. Головні переваги метану – доступність, відносно низька вартість, висока ефективність конверсії на біомасу метаноокислюючими мікроорганізмами, значний вміст в отриманій біомасі білка, збалансованого за амінокислотним складом.

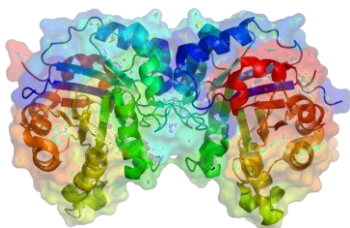
Субстратом для мікробного синтезу може бути також мінеральний карбон у складі вуглекислого газу. Окислений

вуглець у даному випадку відновлюється мікрободоростями за допомогою сонячної енергії і воденьокиснюючими бактеріями за допомогою водню. На корм худобі використовують суспензію водоростей. Для роботи установок із вирощування водоростей (фотореакторів) необхідні стабільні кліматичні умови: постійна температура повітря й інтенсивність сонячного світла.

Найбільш перспективним є отримання білка за допомогою воденьокислюючих бактерій, що розвиваються за рахунок окислення водню киснем повітря. Енергія, що вивільняється в цьому процесі, йде на засвоєння вуглекислого газу (карбоксилування). Для отримання біомаси використовують, зазвичай, бактерії роду *Hydrogenomonas*. Спочатку інтерес до них виник під час розробки замкнених систем життєзабезпечення, а потім їх стали вивчати як продуценти високоякісного протеїну. В інституті мікробіології Геттінгенського університету (Німеччина) розроблений спосіб культивування воденьокислюючих бактерій, при якому можна отримувати 20 г сухої речовини із одного літру суспензії клітин. Можливо, в майбутньому ці бактерії стануть основним джерелом харчових білків мікробного походження.



Біологічні агенти. У більшості випадків біоагентами є мікроорганізми, ферменти яких забезпечують біоконверсію певних органічних речовин сировини на цільовий продукт. Оскільки цей процес є біохімічною реакцією, то сировину в біотехнології прийнято називати субстратом: $S + E \rightarrow SE \rightarrow E + P$, де S – органічний субстрат, E – ензим (зазвичай це мультиферментативна система), SE – активний (субстрат-ензимний) комплекс і P – продукт ферментації.



Ферменти – це біологічні каталізатори (протеїни або протеїди), що синтезуються рибосомами та прискорюють біохімічні процеси в клітині, знижуючи енергію активації в

реакційній системі, але зберігаючи при цьому її рівноважний стан. Швидкість ферментативної реакції залежить від кількості і активності ферменту, концентрації субстрату, кислотності й температури середовища, а також присутності активаторів або інгібіторів.

При низькій концентрації субстрату кінетика ферментації відповідає реакції першого порядку (швидкість пропорційна концентрації). При високій концентрації субстрату реакція має нульовий порядок (фермент насичений субстратом). Головною характеристикою ферментативного процесу є константа Міхаеліса, що чисельно рівна концентрації субстрату при швидкості реакції, яка дорівнює її половині від максимального значення.

Оскільки активатори утворюють активний центр ферменту (ділянку його молекули, яка трансформує субстрат у продукт), то їхня присутність прискорює ферментативні процеси. Навпаки, наявність у реакційній системі інгібіторів гальмує їх. До активаторів належать метали, як правило, вони входять до складу вітамінів, які утворюють коферменти (Co^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+}). Інгібіторами є важкі метали (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}), токсини й інші ксенобіотики.

Біоагентами більшості технологій, заснованих на тонкому (біохімічному) синтезі, є різноманітні штами одно- або багатоклітинних мікроскопічних організмів: зазвичай, бактерій або грибів. До них також відносять мікроорганізми, що використовують задля векторної рекомбінації і трансфекції, – бактеріофаги та інші віруси. Крім цього, як біоагенти застосовують клітинні органели, окремі клітини і тканини багатоклітинних організмів, їх метаболіти тощо.

Із точки зору систематики, штамом є культивар (культурний різновид від лат. *cultae varieties*) – внутрішньовидовий таксон, штучно створений людиною. У сільськогосподарському виробництві використовують інші культивари – породи свійських тварин і сорти культурних рослин, виведені за допомогою традиційних (селекційних) та інноваційних (біоінженерних) методів. Для створення нових культиварів біотехнологи застосовують методи молекулярної або генетичної (рекомбінація, трансдукція, трансфекція),

клітинної (поліплоїдія, цитогібридація) і тканинної (трансістологія, мікроклональне розмноження) інженерії. Такі організми називають трансгенними або генетично модифікованими.

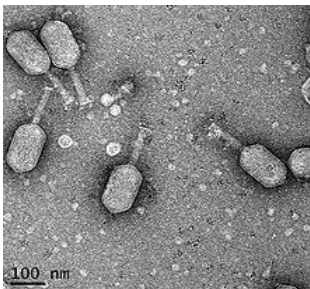


Номенклатура

біотехнологічних агентів включає неклітинні організми – віруси (у харчовій БТ не використовуються), клітини прокариот (бактерій і актиноміцетів) й еукаріот (рослин, грибів і тварин), їхні компоненти (плазмалемі, хромосоми, мітохондрії, рибосоми та ін.), позаклітинні продукти: первинні (амінокислоти, органічні кислоти, нуклеотиди, вітаміни та ін.) і вторинні (антибіотики, імуномодулятори, алкалоїди та ін.) метаболіти, а також іммобілізовані клітини (укладені в гелі, мембрани, волокна). Відповідно до сучасної системи органічного світу біоагенти належать до п'яти царств (*Virabiota*, *Bacteriobiota*, *Phytobiota*, *Mycobiota* і *Zoobiota*) живої природи.

Віруси (*Virabiota*). За допомогою генетичних, хімічних і молекулярно-біологічних методів модифікації віруси і вірусоподібні частинки (ВПЧ позбавлені генетичного матеріалу) використовуються для розробки нових генетичних (у тому числі рекомбінантних) векторів, адресної доставки лікарських препаратів у клітини-мішені, створення кандидатних вакцин, нових засобів лікування інфекційних і соматичних захворювань, принципово нових методів діагностики тощо.

Віруси різних родин з будь-яким типом будови віріона і різним типом симетрії нуклеокапсиду розглядаються як нанобіочастинки, побудовані з нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК) і декількох видів багаторазово повторюваних білкових молекул, що формуються шляхом самозборки у правильно впорядковані структури і навіть кристали. Особливо привабливими є морфологічна однорідність структурних компонентів віріонів, біодоступність, біодеградація та багатофункціональні характеристики білків.

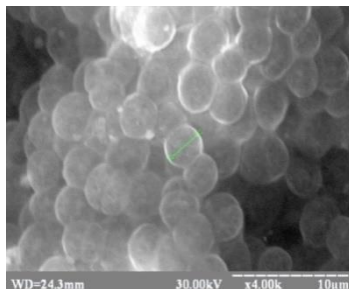


Серед сучасних векторів вірусної природи найкращими є віруси бактерій, рослин і комах: 1) бактеріофаги з ікосаедрічним типом будови капсиду – P22, T7, MS2, Q-beta; 2) бактеріофаги зі спіральним типом симетрії – 58M13 (у клітинах *E. coli*); 3) віруси рослин з ікосаедрічним типом капсиду – Brome mosaic virus (BMV), Cowpea chlorotic mottle virus (CCMV), Cowpea mosaic virus (CPMV), Hibiscus chlorotic ringspot virus (HCRSV), Red clover necrotic mottle virus (RCNMV), Turnip yellow mosaic virus (TYMV); 4) віруси рослин зі спіральним типом симетрії нуклеокапсиду – Potato virus X (PVX), Tobacco mosaic virus (TMV); 5) бакуловірус Flock House virus (FHV), що розмножується в клітинах комах.

Як вектори на основі вірусів хребтних тварин використовують генетично модифіковані ослаблені варіанти вірусу, які не здатні викликати патологію у людини, але зберігають свої імуногенні властивості або адресний білок. У даний час на основі простих і гібридних вірусних векторів (лентивіруси, віруси родини *Herpesviridae* (HSV, EBV), альфавіруси (SV, SFV), рекомбінантні аденоасоційовані віруси (AAV), мавпячий вірус SV40, ретровіруси (HSV\AAV, HSV\EBV, HSV\EBV, AdV\AAV, AdV) включно) розробляються моделі для доставки генів у ЦНС з метою регенерації пошкоджених клітин.

Бактерії (*Bacteriobiota*). Залежно від наявності кисню в середовищі бактерії поділяють на аероби і анаероби, а за типом живлення – на автотрофи і гетеротрофи. Автотрофи здатні синтезувати всі компоненти клітини з CO₂, використовуючи енергію, отриману при окисленні неорганічних речовин (хемотрофи), або енергію світла (фототрофи). Гетеротрофи для асиміляції отримують енергію в результаті окислення або зброджування органічних речовин (спиртів, органічних кислот, вуглеводів, вуглеводнів тощо).

До підцарства фототрофних бактерій (*Oxyphtobacteriobionta*) належать синьо-зелені водорості (*Cyanobacteria*), представники яких широко використовуються в різних біотехнологіях: *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* характеризується високим вмістом якісного протеїну (до 70 % у сухій речовині), *Nostoc sp.*

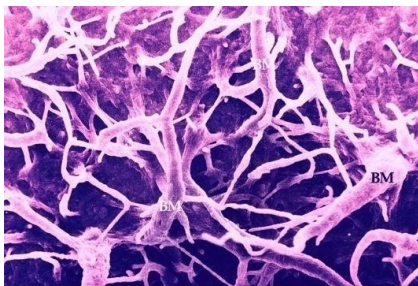


і *Synechococcus sp.* застосовують для очистки стічних вод та утилізації вуглекислого газу, а біомаса *Microcystis aeruginosa*, зібрана під час цвітіння евтрофованих водойм, конвертується метанобактеріями на біометан.

До еубактерій, що широко використовуються в біотехнології для отримання мікробної маси і продуктів метаболізму, належать численні види з родів *Micrococcus*, *Bacillus*, *Nocardia*, *Brevibacterium*, *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Corinebacterium*, *Acetobacter*, *Aerobacter*, *Achromobacter* та ін.). Усі вони відносяться до підцарства справжніх бактерій (*Eubacteriobionta*) – одноклітинних прокаріот кулястої (коки) або циліндричної (прямі або вигнуті палички) форми. Діаметр коків 0,5–2 мкм, розміри паличок 0,5–4 мкм.

Окремою групою еубактерій є метанобактерії, застосовані в енергетичній біотехнології для виробництва біопалива 2-ої генерації (біогазу – суміші CH_4 і CO_2). У процесі біометаногенеза беруть участь три групи бактерій. Перші перетворюють складні органічні субстрати на масляну, пропіонову і молочну кислоти. Другі трансформують ці органічні кислоти на ацетат, H_2 і CO_2 . Треті відновлюють CO_2 до CH_4 із поглинанням H_2 . Останні відносяться до 17 родів відомих метанобактерій (*Methanobrevibacter*, *Methanobacter*, *Methanospirillum*, *Methanococcus*, *Methanosarcina*, *Methanotherix* тощо).

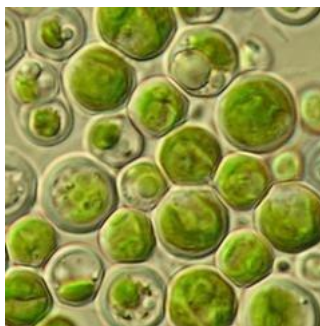
Актиноміцети, як і бактерії, належать до прокаріот, але подібно до грибів утворюють тонкий міцелій з діаметром гіф 0,8–1,4 мкм. На поживних середовищах вони формують субстратний або повітряний міцелій, в окремих гіфах якого



(спорангіях) утворюються спори. Актиноміцети можуть також розмножуватися вегетативно. Як і більшість еубактерій вони є ацидофобами, але на відміну від справжніх грибів багато представників актиноміцетів є анаеробами.

Рослини (*Phytobiota*). Мікроскопічні водорості як нижчі (спороутворюючі, таломні) рослини є досить повноцінними за складом білку, але дефіцитними щодо сірковмісних амінокислот і триптофану. За співвідношенням заміennих і незамінних амінокислот вони звичайно поступаються стандартному протеїну – овальбуміну курячого яйця. У світовій практиці мікробіодобавки використовують як біодобавки в шоколад, бісквіти (до 10 %), джеми (до 30 %). У їжу вживають також водорості, вирощені на відходах переробки картоплі, томатів, виноробства, цукрового і спиртового виробництв.

Частіше за інших у різних БТ-галузях використовують хлорококові водорості *Chlorella vulgaris* і *Scenedesmus obliquus*, наприклад, як біостимулятори росту сільськогосподарських тварин і рослин, а також у складі бактеріальних консорціумів задля очищення стічних вод і підвищення родючості малогумусних ґрунтів.



Відомо, що хлорела синтезує 13 вітамінів: А, Д, К, нікотину, пантеонову, фолієву кислоти, лейкофорін, біотин. При цьому, вітаміну С в її клітинах міститься майже стільки ж, скільки у лимонах. Зелені нитчасті водорості, особливо *Cladophora facta*, активно поглинають калій, сірку, кальцій, кобальт, цинк, кадмій, стронцій, рубідій, свинець та ін.

Культивування клітин вищих, головним чином квіткових рослин (*Magnoliophyta*), – відносно молода галузь біотехнології. У даний час налічується більше 50 груп первинних і вторинних

метаболітів, які продукують культури рослинних клітин. Це вуглеводи, амінокислоти, пептиди, білки (ферменти включно), нуклеїнові кислоти, вітаміни, ліпіди (зокрема ефірні та харчові масла), фітогормони, пігменти, органічні кислоти, алкалоїди тощо.

Метод клітинних культур незамінний при використанні інтактних рослин (джерело первинних експлантів). Він також дозволяє отримати необмежену кількість ідентичних клітин, які можуть служити модельними системами для вивчення метаболізму рослин. Тривалість експерименту при цьому скорочується з декількох років до 10–15 днів. Культури рослинних клітин є зручною моделлю для вивчення системи хазяїн↔паразит (віруси, бактерії, гриби, тварини) та для пошуку нових метаболітів (токсинів, біогербіцидів, фітогормонів тощо). Чисті культури рослинних клітин також можуть бути використані в біосинтетичних і біотрансформуючих реакціях.



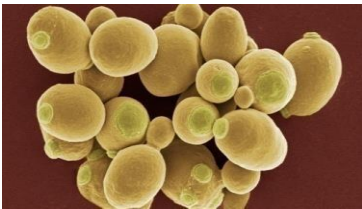
Метод мікроклонального розмноження (один із способів вегетативного розмноження в умовах *in vitro*) найбільш широко затребуваний в агролісовій біотехнології з метою виведення нових посухо- або морозостійких сортів

здебільшого овочевих (*Solanum tuberosum*, *S. lycopersicum*), зернобобових (*Zea mays*, *Pisum sativum*), плодовоягідних (*Prunus avium*, *P. persica*, *Rubus idaeus*) та олійних (*Helianthus annuus*) культурних рослин і деревних порід (*Juglans regia*, *Quercus robur*, *Platanus orientalis et al.*), у тому числі хвойних (*Pinus sp.*, *Picea sp.*), для тиражування комерційних квіткових культур, головним чином орхідних (*Phalaenopsis sp. sp.*) й айстрових (*Gerbera sp. sp.*, *Chrysanthemum sp. sp.*), а також тропічних видів акваріумних рослин.

Гриби (*Mycobiota*). Талом грибів складається з компактного (плодове тіло) і/або повітряного міцелію, утвореного розгалуженими гіфами з діаметром 1–5 мкм. Більшість грибів – це сапрофіти або паразити рослин і тварин. До числа продуцентів сирого протеїну відносяться промислові

макроміцети (гриби, що утворюють плодові тіла), культивовані на різних субстратах: *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Lentinula edodes et al.* Усі вони належать до класу базидіальних грибів (*Basidiomycetes*).

Мікроміцети (мікроскопічні гриби) є продуцентами багатьох біологічно активних речовин: антибіотиків, ферментів, амінокислот, вітамінів, органічних кислот, засобів захисту рослин (біогербіцидів), бактеріальних добрив тощо. Найбільш часто в біотехнологіях використовують мікроміцети з родів *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Endomycopsis*, *Endomyces*, *Nadsonia*, *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces*, *Candida*, *Torulopsis*, *Rhodotorula*, *Hansenula*, *Pichia* та ін.



Дріжджі – широко застосовувана у харчовій біотехнології не таксономічна група одно клітинних грибів, що розмножуються брунькуванням. Розміри дріжджової клітини становлять 3–5 x 8–15 мкм. На

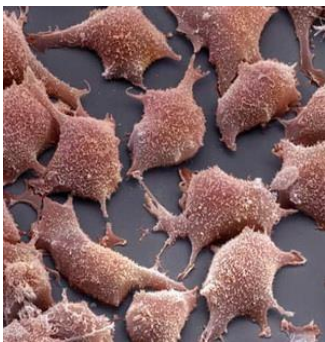
відміну від справжніх грибів дріжджі здатні до життєдіяльності як за наявності кисню, так і без нього. В анаеробних умовах вони, зброджуючи цукри, отримують необхідну енергію і проміжні продукти обміну, які використовуються клітиною для всіх життєвих процесів. Основними продуктами бродиння є етанол і діоксид Карбону. В аеробних умовах дріжджі не зброджують, а окислюють вуглеводи до CO_2 і H_2O . Спирт при цьому майже не утворюється, але різко прискорюється процес розмноження дріжджів.

Тварини (*Zoobiota*). Збудник американського трипаномозу – *Trypanosoma cruzi* – стала першим продуцентом протипухлинного препарату круцину та його аналогу – тріпанози. Встановлено, що при введенні мишам полісахаридів із культур непатогенних для людини найпростіших – *Herpetomonas sp.* і *Crithidia fasciculata* – підвищується їх



резистентність до *T. cruzi*. Також відомо, що біомаса найпростіших містить до 50 % білка. Висока біологічна цінність його полягає в тому, що він містить усі незамінні амінокислоти. Це свідчить про широкі можливості застосування вільноживучих найпростіших для виробництва кормового білка.

Для отримання культури клітин і тканин комах використовують імагінальні диски (зачатки органів ембріонів) і органи імаго (гомоцити, яєчники, жирові тіла, слинні залози та ін.). Джерелом для отримання культивованих клітин є личинки і лялечки комах. Методика отримання первинних культур клітин комах досить відпрацьована і включає наступні етапи: а) стерилізація поверхні комах і культивованих тканин; б) дисоціація клітин; в) пересадка їх на поживне середовище.



Культури тканин ссавців і людини застосовують лише у клінічній ветеринарії та медицині. Тваринні клітини використовують для культивування вірусів під час виробництва вакцин, для отримання інтерферону і т.д. Список типів клітин, уведених у культуру, досить великий. Це елементи сполучної тканини людини (фібробласти, остеоцити, хондріоцити), м'язових (поперечносмугаста та гладка мускулатура) й епітеліальних тканин (печінки, легенів, нирок та інших органів), а також клітини нервової (нейроцити) й органів ендокринної систем (наднирники, гіпофіз, клітини острівців Лангерганса), меланоцити та різні пухлинні клітини.

Найбільшого поширення набули культури фібробластів (стволових клітин) для вивчення патогенезу і діагностики спадкових захворювань. У фібробластах є фермент моноаміноксидаза, зміни активності якого характерні для деяких нервових і психічних захворювань. Фібробласти містять рецептори до глюкокортикоїдних гормонів, інсуліну, деяких нейромедіаторів тощо. Фібробласти зберігають *in vitro* найважливіші риси, властиві клітинам, а також онтогенетичні й індивідуально генотипічні властивості організму-донора.

Цільовим продуктом прийнято називати кінцеву продукцію будь-якої галузі сучасної біотехнології. Європейський стандарт «Biotechnology. Classification of biotechnology products» регламентує близько 100 видів біотехнологічної продукції (табл. 2).

Таблиця 2 – Цільові продукти різних галузей біотехнології

БТ-галузь	Цільові продукти
Харчова	Закваски висококонцентровані (ЗВК), пребіотики, пробіотики, синбіотики, молочнокислі харчові продукти (МХП), спеціалізовані харчові продукти (СХП), функціональні харчові продукти (ФХП), ферменти, амінокислоти, білок
Агролісова	Біодобрива, вермікомпост, комбікорми, консерванти кормів, білково-вітамінно-мінеральні концентрати (БВМК), безвірусний садивний матеріал (БСМ), біопрепарати, біогербіциди, біотехнологічні нові культивари (БНК), зокрема генетично модифіковані організми (ГМО), білок
Медико-фармацевтична	Антибіотики, діагностикуми, лікарські препарати, біологічно активні речовини (БАР) і добавки (БАД), біосенсиори, ферменти
Енергетична	Біоводень, біогаз, біодизель, біопаливо, біоетанол
Екологічна	Біосорбенти, біопластики, біопрепарати
Гідрологічна	Гідробіонти, отримані шляхом штучного культивування, біопрепарати, консерванти кормів, білок
Геологічна	Біoadсорбенти, біопрепарати, металоconцентрати

Більш детально цільові продукти подано нижче у розділах, присвячених відповідним галузям сучасної біотехнології. Також дивись глосарій.

Біореактори. Оскільки біотехнологічні процеси ґрунтуються на законах біохімії та біофізики, то відбуваються вони за певних умов, які забезпечують необхідне співвідношення між енергією активації та енергією теплового руху молекул, що зумовлює розрив зв'язків між окремими ділянками біомолекул або зміну їх конформації (просторову переорієнтацію). Каталізаторами біотехнологічних процесів завжди є ферменти, які можна розділити на біохімічні та мікробіологічні. До біохімічних процесів належить будь-яка трансформація субстрату за участю ферментів, які вводять у них за допомогою гідромеханічних процесів або є природними компонентами іншого субстрату (коагуляція білків, гідроліз вуглеводів та ін.). Мікробіологічними називають незворотні процеси перетворення субстрату за рахунок ферментів, що синтезуються мікроорганізмами.

Головною специфікою всіх біотехнологічних процесів є те, що вони відбуваються за обов'язковою участю біоагентів, що продукують ферменти. При цьому залежно від типу біохімічної ферментативної реакції серед біотехнологічних процесів розрізняють *біосинтез* (утворення нових сполук із корисними споживчими властивостями), *біотрансформацію* або *біоконверсію* (перетворення одних сполук на інші) і *біодеградацію* (розпад складних речовин на прості сполуки). Іншою особливістю біотехнологічних процесів є те, що специфічні біологічні (біофізичні, біохімічні, генетичні, цитологічні, фізіологічні тощо) процеси в них супроводжуються типовими фізичними та фізико-хімічними реакціями з відомими тепловими, масообмінними, гідродинамічними й іншими процесами.

Особливості біотехнологічних процесів вимагають застосування спеціального устаткування, в якому особливо враховуються особливості цих процесів. До такого обладнання, зокрема, належать *біореактори* – складні технічні пристрої, що забезпечують оптимальні умови для розвитку або дії біоагентів, у результаті яких здійснюється біосинтез корисних сполук

(цілових продуктів), або біотрансформація чи біодеградація будь-яких органічних речовин (субстратів) переважно природного походження.

На сучасних біотехнологічних виробництвах використовують різноманітні біореактори, які можна класифікувати за різними ознаками. За спрямованістю біологічних процесів розрізняють біореактори для біосинтетичних, біотрансформаційних і біодеградаційних процесів. За способом культивування біореактори поділяють на два типи: для глибинного і поверхневого культивування. Будь-яке культивування біоагентів відбувається в умовах взаємодії трьох фаз – твердої, рідкої, газоподібної. Під час глибинного культивування розвиток біоагентів відбувається в усьому об'ємі рідкого поживного середовища, насиченого повітрям (для аеробних культур), а при поверхневому – лише у плівці на поверхні тонкого шару рідкого субстрату.

Найбільш застосованим типом біореактору у виробничих процесах сучасних біотехнологій є ферменстер. У Державному стандарті України 3803-98 наведено 12 різновидів ферменстерів:

- ферменстер для аеробного культивування – біореактор для культивування біологічних агентів в умовах аерації;

- ферменстер з підведенням енергії газовою фазою – біореактор, у якому культуральну рідину перемішують та аерують за рахунок енергії стисненого повітря;

- ферменстер з підведенням енергії рідкою фазою – біореактор, у якому культуральну рідину перемішують та аерують самовсмоктувальним перемішувачем або помпою, що подає рідину в апарат через сопло, ежектор чи диспергатор;

- ферменстер з підведенням енергії рідкою чи газовою фазами – біореактор, у якому висока швидкість розчинення кисню, високий ступінь диспергування нерозчинних субстратів і гомогенізації культуральної рідини забезпечуються перемішувальним пристроєм;

- ферменстер із всмоктувальним перемішувачем – біореактор, у якому аерацію культуральної рідини здійснюють за допомогою повітря, що надходить із атмосфери по повітроводу обертового перемішувача внаслідок розрідження повітря;

– ежекційний ферментер – біореактор, у якому енергія рідкій фази передається циркуляційною помпою, повітря всмоктується в апарат через ежектор потоком культуральної рідини;

– струменевий ферментер – біореактор, у якому аерація та перемішування культуральної рідини здійснюються за допомогою глибинної течії, що подається у верхню частину апарата через зовнішній циркуляційний контур;

– ферментер з перемішувальними пристроями – біореактор, у якому культуральну рідину перемішують механічним пристроєм, виконаним у вигляді вала з установленими на ньому одним чи декількома перемішувачами, а аерують її за допомогою стисненого повітря, що надходить через газорозподільник, розташований на днищі апарата;

– комбінований ферментер – біореактор, у якому передавання енергії рідкій фазі здійснюється одночасно перемішувачем і помпою або лише помпою, а аерація культуральної рідини – за допомогою стисненого повітря, що надходить через аераційний пристрій;

– барботажний ферментер – біореактор, у якому перемішування та аерація культуральної рідини здійснюється стисненим повітрям, що надходить через барботер, а відношення висоти апарата до діаметра не перевищує двох;

– барботажно-ерліфтний ферментер – біореактор, у якому аерація та перемішування культуральної рідини здійснюється стисненим повітрям, що надходить через барботер, циркуляція її – вмонтованими дифузорами чи перегородками, а відношення висоти апарата до діаметра не перевищує двох;

– колонний барботажний ферментер – барботажний біореактор, що характеризується відношенням висоти апарата до діаметра в межах від 2 до 10.

ХАРЧОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Загальна характеристика. Для забезпечення харчовими продуктами як єдиним джерелом енергії безперервно зростаючого населення планети, чисельність якого до кінця 2024 року становитиме майже вісім мільярдів чоловік, необхідно постійно підвищувати продуктивність рослинництва, тваринництва й аквакультури. Сучасні ресурси фіто-, міко- і зоогенних вуглеводів, жирів і білків не можуть задовольнити потреби людства, яке постійно збільшується. Запаси природних макроергічних сполук обмежені врожайністю і посівними площами культурних рослин, продуктивністю тварин, а також можливостями видобутку морепродуктів. Тому, одним з перспективних напрямків харчової біотехнології є збагачення харчових продуктів амінокислотами, пептидами та білками, а також створення нових видів їжі, в яких важлива роль належить харчовим добавкам, отриманим на основі протеїнів одноклітинних організмів: бактерій, грибів (здебільшого дріжджів) і водоростей.

Крім того, харчування визначає тривалість і якість життя людини, що доведено клінічними дослідженнями, які показують залежність серцево-судинних, шлунково-кишкових, опорно-рухових та інших патологій від якості харчування. Останні дані свідчать про велику частку аліментарних хвороб (головним чином, серцево-судинних і онкологічних) у загальній структурі захворюваності та смертності, при цьому більша частина населення страждає одним або декількома хронічними захворюваннями (так звана мультиморбідність). Тому роль харчової біотехнології у створенні функціональних продуктів для лікувально-профілактичного харчування і здорового способу життя є очевидною.

Біотехнологія використовується для виготовлення продуктів харчування вже протягом восьми тисяч років. Наявності в магазинах хлібобулочних виробів, молочнокислих продуктів та алкогольних напоїв ми зобов'язані ферментам, що синтезуються різними мікроорганізмами. Сучасна біотехнологія постійно впливає на харчову промисловість завдяки створенню нових продуктів, а також через зниження собівартості й удосконалення бактеріальних процесів, що століттями використовувалися у виробництві продуктів харчування.

Біотехнологія дозволяє поліпшити якість, поживну цінність і безпеку як рослинних, так і тваринних продуктів, що становлять основу сировини, яка застосовується харчовою промисловістю.

Харчова біотехнологія – одна з найважливіших галузей сучасної біотехнології. Десятки століть люди успішно отримували різноманітні продукти, не підозрюючи про те, що використовують процеси природної мікробіологічної ферментації. Тепер за допомогою харчової біотехнології отримують майже всі продукти харчування, а також сполуки, що застосовують у харчовій промисловості: яблучну, лимонну, молочну, оцтову й інші органічні кислоти; ферментативні препарати різної дії; вітаміни, амінокислоти та інші харчові й біологічно активні добавки (табл. 3).

Таблиця 3 – Функційне використання біотехнологічних продуктів у харчовій промисловості

Амінокислоти і пептиди	
цистеїн, метіонін, лізин	підвищення харчової цінності продуктів, що містять білок
глутамат натрію	посилення аромату м'ясних, рибних та інших виробів
гліцин, аспартат	надання кондитерським виробам і безалкогольним напоям кисло-солодкого смаку
аспартам, тауматин, монелін	виробництво низькокалорійних солодких продуктів
Ферменти	
α -амілаза	виробництво спирту, вин, пива, хліба, кондитерських виробів і продуктів дитячого харчування
глюкоамілаза	отримання глюкози, видалення декстринів із пива
інвертаза	виробництво кондитерських виробів
пулуланаза	вироблення з крохмалю мальтазних (у поєднанні з β -амілазою) або глюконових (з глюकोамілазою)

	фруктових сиропів
β-галактозидаза	звільнення молочної сироватки від лактози, приготування морозива
целюлаза	приготування розчинної кави, морквяного джему, поліпшення консистенції грибів і овочів, обробка плодів citrusових
пектиназа	освітлення вин і фруктових соків, обробка citrusових плодів
мікробна протеїназа	сироваріння, прискорення дозрівання тіста, виробництво крекерів, поліпшення якості м'яса
ренін (хімозин)	згортання молока
пепсин, папаїн	освітлення пива
фіцин, трипсин, бромелайн	прискорення процесу маринування риби, а також відділення м'яса від кісток
ліпаза	надання специфічного аромату сиру, шоколаду, молочним продуктам, поліпшення якості збитих яєчних білків
глюкозооксидаза, каталаза	видалення кисню з сухого молока, кави, пива, майонезів, фруктових соків для поліпшення смаку і продовження термінів зберігання
Вітаміни	
A, B ₁ , B ₂ , B ₆ , B ₁₂ , C, D, E, β-каротин	підвищення харчової (фізіологічної) цінності продуктів
C, E, B ₂ , β-каротин	антиоксиданти, барвники та підсилювачі кольору
Органічні кислоти	
оцтова, лимонна, бензойна, молочна, глюконова, яблучна	консерванти, ароматизатори, підкислювачі
Терпени і терпеноїди	
гераніол, нерол	ароматизатори
Полісахариди	
ксантан	загусники і стабілізатори кремів і джемів

Важливість харчової біотехнології для фахівців галузі товарознавства й експертизи також визначається тим, що використання мікроорганізмів або ферментних препаратів під час виробництва харчових продуктів істотно впливає на споживчі властивості та показники якості продовольчих товарів. Знання біотехнологічних процесів дозволить товарознавцю-експерту визначити причини псування продовольчих товарів і виникнення дефектів, що призводять до суттєвих кількісних втрат товарів. Наприклад, неправильне застосування заквасок може привести до погіршення якості та виникнення дефектів кисломолочної продукції.

З іншого боку, використання нових штамів мікроорганізмів може надати харчовим продуктам нові оригінальні відтінки смаку й аромату. Застосування ферментативних препаратів та інших речовин, отриманих біотехнологічним способом, буде сприяти оптимізації та інтенсифікації технологічних процесів виробництва харчових продуктів, поліпшення їх властивостей і збільшення термінів зберігання. Крім того, розвиток харчових технологій пов'язаний з удосконаленням способів біотрансформації різноманітних субстратів на нові цільові продукти:

- біологічно активні речовини і добавки;
- натуральні ароматизатори та барвники;
- технологічні добавки, зокрема, ферменти й емульгатори;
- заквасочні культури;
- засоби для утилізації відходів та екологічної безпеки виробництв;
- засоби біобезпеки для продуктів під час виготовлення;
- біопластикова упаковка та ін.

Складові елементи харчової біотехнології. Залежно від *цільового продукту* сучасна харчова біотехнологія використовує десятки видів *біоагентів* і *субстратів* для них (табл. 3). У хлібопеченні, пивоварінні, виноробстві та виробництві харчового етанолу використовують штами різних видів дріжджів (*Saccharomyces sp. sp.*), субстратом для яких є глюкоза чи фруктоза, що входить до складу оліго- (сахароза, рафіноза) і полісахаридів (крохмаль). Інші гриби (*Aspergillus sp. sp.*, *Candida sp. sp.*) необхідні для отримання органічних кислот

(ацетат, цитрат, малат та ін.) із різноманітної сировини (целюлози деревини або крохмалю зерна). Виробництво молочнокислих продуктів (кефіру, йогурту, ряжанки, сметани, сироватки, сиру та твердого сиру) неможливе без бактерій (*Lactobacillus sp. sp.*), субстратом для яких служить лактоза молока (табл. 4).

На сучасних біотехнологічних виробництвах використовують різноманітні біореактори, до яких належать дріждже- і солодовирощувальні, зброджувальні апарати різного типу, а також апарати для виготовлення сиру та твердих сирів (табл. 5). Сучасне обладнання різноманітних галузей харчової біотехнології, що пропонують у широкому спектрі вітчизняні та зарубіжні виробники, набуває стрімкого розвитку: постійно оновлюється та вдосконалюється у різних напрямках. Підґрунтям розвитку харчової біотехнології в Україні є оновлення асортименту харчової продукції, враховуючи сучасні тенденції, розробка і модернізація технологій виробництва, впровадження високотехнологічного інноваційного обладнання тощо (табл. 6).

Таблиця 4 – Субстрати, біоагенти та цільові продукти харчової біотехнології

Субстрат (сировина)	Біоагент	Цільовий продукт
глюкоза чи фруктоза крохмалю, сахарози чи рафінози (борошно, солод, ягоди, фрукти, овочі, зернові, меляса тощо)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> або <i>S. vini</i> – Дріжджі пекарські або пивні, <i>S. minor</i> – Дріжджі малі	печені дріжджові хлібобулочні вироби, пиво, квас, вино, спирт
глюкоза і фруктоза винограду	<i>S. vini</i> – Дріжджі пивні, <i>S. beticus</i> або <i>S. cheresiensis</i> – Дріжджі хересні	херес та інші кріплені вина

глюкоза – гідролізат крохмалю (ячмінний солод)	<i>S. vini</i> – Дріжджі пивні <i>S. uvarum</i> та <i>S. carlsbergensis</i> – види дріжджів низько температурного бродиння	пиво
глюкозалактози і мальтози (коров'яче молоко)	<i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i>	кефір, сир
	<i>L. delbrueckii subsp. bulgaricus</i>	йогурт
глюкоза лактози і мальтози (коров'яче козяче, овече або кінське молоко)	<i>L. delbrueckii</i> , <i>L. helveticus</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Propionibacterium freudenreichii</i> , <i>Penicillium sp. sp.</i>	сир, тверді сири
етанол (відходи виноробства)	<i>Gluconobacter sp. sp.</i> , <i>Acetobacter sp. sp.</i>	оцтова кислота
глюкоза(меляса)	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Varrowia lipolytica</i>	лимонна кислота
глюкоза (меляса, крохмаль)	<i>Lactobactlly casei</i> , <i>Lactobacterium delbrucki</i>	молочна кислота
н-парафіни (фракція крекінгу нафти)	<i>Candida sp. sp.</i>	яблучна кислота
глюкоза – гідролізат соєвого крохмалю	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>A. sojae</i> , <i>A. tamari</i>	соєвий соус

Таблиця 5 – Біореактори харчових біотехнологій

Призначення		Тип		Галузь	
1	для культивування бактерій, грибів і рослин	1	дріжджевиросушувальний апарат	1	хлібопекарська та кондитерська
		2	солодовирошувальний апарат	2	пивоварна
2	для біотрансформаційних процесів	3	циліндроконічний зброджувальний апарат	3	виноробна та пивоварна
		4	зброджувальний апарат системи ХТР	4	хлібопекарська
		5	зброджувальний апарат типу БАГ		
3	для дозрівання посолу харчових середовищ	6	апарат для виготовлення твердих сирів	5	молочна та сироробна
		7	сировиготовлювач		

Таблиця 6 – Напрямки вдосконалення обладнання у різних галузях харчової біотехнології

Галузь ХБ	Напрямки вдосконалення технологічного обладнання, що забезпечує:
Молочна та сироробна	інтенсифікацію процесів молочного виробництва та зменшення енерговитрат, виробництво нової молочної та кисломолочної продукції з повним використанням сировини та впровадження безвідходної технології, виробництво масла кулінарного призначення з частковою заміною молочного жиру

Хлібопекарська та макаронна	ферментацію та фільтрацію хлібопекарних дріжджів високої питомої продуктивності при мінімальних енерговитратах, виробництво різноманітних сумішей цільового призначення (гомогенізатори, змішувачі, обладнання для випікання, сушіння та фасування готових хлібобулочних виробів), а також удосконалення обладнання для пекарень різного типу
Кондитерська	здійснення вертикальних технологій обробки кондитерських мас і виробів, керованого процесу подрібнення кондитерських мас і напівфабрикатів, модернізацію переробки какао-бобів із використанням механічних і фізичних методів впливу, біологічних і хімічних добавок, а також поверхнево-активних речовин, виробництво молочної помади з використанням крохмального цукру, виробництво комбінованих штучних і фрукто-желейних цукерок із використанням вторинних молочних продуктів
Харчо-концентратна	концентрування рідких продуктів із використанням холоду (кріо-концентрування), виробництво пластівців із високою харчовою цінністю, продуктів із довгостроковим терміном зберігання, одержаних способом вакуум-сублімаційного сушіння, проведення гідротермічної обробки круп тощо
Цукрова	зберігання цукрового буряка, отримання соку з цукрового буряка методом пресування, очищення соку з використанням мембранних, фізико-хімічних, фізико-механічних і біотехнологічних методів, для кристалізації цукру з мінімальними витратами енергії, для виробництва цукру з мінімальними витратами пару на технологічні потреби, для переробки та використання відходів виробництва цукру

Крохмале-патокова	виробництво крохмалю з картоплі, кукурудзи та нових видів сировини на заводах різної продуктивності з низькими витратами енергоресурсів і захистом навколишнього середовища, виробництво модифікованого крохмалю, декстринів, екструзійних крохмалепродуктів, цукрових речовин з крохмалю, отримання безбілкових продуктів лікувального харчування та гідролізного амілопектинового крохмалю
Олієжирова	отримання повноцінних білкових продуктів із рослинної сировини, що містить олію, виробництво біологічно повноцінних, екологічно безпечних харчових рослинних олій та олій лікувально-профілактичного призначення, виробництво модифікованих жирів і високоякісної маргаринової продукції, а також виробництво нових видів майонезної продукції
М'ясна та птахопереробна	виробництво та використання білка й біологічно активних речовин із нетрадиційних джерел сировини тваринного та рослинного походження, консервування комбінованих м'ясопродуктів методом вакуумного зневоднювання, виробництво біологічно-повноцінних продуктів дієтичного дитячого харчування, переробку вторинної сировини (крові, шкіри, жировмісних відходів), отримання високобілкової кормової продукції та кормових білкових добавок із відходів, переробку яєць, виробництво лікувально-профілактичних продуктів
Фруктово-овочева	виробництво лактоферментативних овочевих соків і напоїв, переробку вторинної сировини та відходів виробництва, консервне виробництво з використанням фізичних

	способів обробки сировини задля отримання нових видів продукції з підвищеною біологічною цінністю, виробництво концентрованих соків із використанням нового способу ультрафільтраційної обробки сокоматеріалів, стерилізацію та пастеризацію плодоовочевої продукції, обробку сировини високим тиском із метою інтенсифікації процесів консервування, підвищення якості та терміну зберігання, отримання продуктів із проміжною вологістю, різного ступеня подрібнення
Виноробна та пивоварна	впровадження інноваційних БТ-технологій виробництва винограду, що забезпечують його ефективність за рахунок зростання врожайності виноградних насаджень і підвищення якості продукції, впровадження системи Re Con із рекуперації енергії під час газифікації скрапленої вуглекислоти, впровадження біотехнологій, що забезпечують ресурсозбереження та екологічну безпеку, а також підвищення значимості науково-дослідної та інноваційної діяльності у виробництві пивоварної та виноробної продукції.

Сучасні харчові біотехнології. Харчова біотехнологія або харчова біоіндустрія – галузь біотехнології, що займається розробкою теорії і практики створення харчових продуктів загального, лікувально-профілактичного та спеціального призначення. У сучасній харчовій біотехнології можна виділити три основні напрями:

- поліпшення якості й корисних властивостей харчової сировини, а також підвищення її біобезпеки;
- інтенсифікація біотехнологічних процесів у виробництві харчових продуктів;

▪ застосування харчових добавок та інших інгредієнтів, отриманих біотехнологічним способом.

Поліпшення якості й корисних властивостей харчової сировини, а також підвищення її біобезпеки. Учені-біотехнологи розв'язують різноманітні завдання щодо покращення якості грибною, рослинною і тваринною сировини з точки зору її привабливості для покупця і зручності приготування. Вони подовжують термін зберігання і тривалість сезонно-географічної доступності фруктів та овочів; роблять їх більш смачними, хрусткими тощо, створюючи сорти винограду й овочів із родини гарбузових, що не містять насіння; цибулі, яка не спричинює слезовиділення; кави та чаю, що не містять кофеїну. Розробляються технології вирощування нових видів рослин, грибів і тварин, особливо – гідробіонтів.

Велика частина роботи з підвищення здатності продуктів переносити теплову обробку полягає в зміні співвідношення вмісту в них води і крохмалю. Наприклад, багата на крохмаль картопля корисніша, оскільки під час смаження вона адсорбує менше олії чи жиру. Іншою корисною властивістю крохмалистої картоплі є те, що для її приготування потрібно менше енергії і, відповідно, менше фінансових витрат. Більшість виробників томатних паст і кетчупів сьогодні використовують як сировину новітні сорти томатів, створених за допомогою методів клітинних культур і мікроклонального розмноження. М'якоть таких помідорів містить на 30 % менше води, а їх переробка економить для світової харчової індустрії сотні мільйонів доларів щорічно.

Іншою галуззю харчової промисловості, що також економічно виграє від підвищення якості сировини, є виробництво молочних і м'ясних продуктів. Сучасні біотехнологічні методи дозволили науковцям підвищити на 13 % вміст у молоці білка казеїну – важливого компонента процесу сироваріння. Біотехнологи, що працюють з сировиною тваринного походження, теж займаються пошуком шляхів підвищення якості продуктів харчування. Вже створено яловичину зі зниженим вмістом ліпідів і свинину з підвищеним співвідношенням м'ясо/сало.

Біотехнологія також забезпечує можливість отримання продуктів, виробництво яких при традиційному підході виявляється економічно не вигідним. Наприклад, промислове виробництво, що використовує полімери фруктози як підсолоджувачі, давно перестало бути прерогативою звичайних методів харчового процесингу. Полімери фруктози представлені короткими ланцюжками, що складаються із залишків молекул фруктози, за смаком вони нагадують цукор, але не містять калорій. Дослідники виявили ген, що перетворює 90 % сахарози цукрових буряків на полімери фруктози, які складають 40 % маси цього трансгенного буряка, що робить його дуже привабливою сировиною для виготовлення підсолоджувачів.

Обробіток трансгенних культур першого покоління вже приніс фермерам високі доходи. Користь, яку при цьому отримав споживач, не досить очевидна, але не враховувати її не можна. Наприклад, дослідження показали, що кукурудза стійких до комах сортів, які містять ген Bt-токсину, практично не пошкоджується комахами і менш схильна до грибкових захворювань, ніж кукурудза звичайних сортів. Таким чином, уміст синтезованих цими збудниками мікотоксинів, деякі з яких можуть викликати загибель худоби і хронічне отруєння людей, у рослинах Bt-сортів набагато нижчий.

Підвищення поживної цінності продуктів харчування має особливо велике значення для країн, що розвиваються. Дослідники використовували ген південноафриканської рослини амаранту для підвищення вмісту білка в бульбах картоплі. Трансгенна картопля також містить велику кількість незамінних амінокислот, які не входять до складу бульб звичайної картоплі. Як приклад можна також навести «золотий рис» і олію ріпаку, збагачені вітаміном А. Подальше вдосконалення сортів «золотого рису» призвело до підвищення вмісту в зернях легкозасвоюваних форм заліза.

Корисні властивості наступного покоління генетично модифікованих культур найбільш очевидні для споживача. Крім поліпшення якості та безпеки їжі в цілому, в майбутньому повинні з'явитися спеціалізовані продукти, що відрізняються підвищеною поживністю та сприяють збереженню і зміцненню здоров'я. На сучасному ринку представлена велика кількість

корисних рослинних олій, які одержують за допомогою біотехнології, що дозволило знизити в них вміст насичених жирних кислот. Ученим вдалося також здійснити біотрансформацію лінолевої жирної кислоти (ω_6) у ліноленову (ω_3), що зустрічається здебільшого в рибі і сприяє зниженню рівня холестерину в крові.

Іншим питанням, що стосується поживних властивостей рослинних олій, є негативний вплив на здоров'я населення транс-ізомерів жирних кислот, які утворюються в результаті гідрогенізації жирів. Цей процес застосовується для підвищення жаростійкості (для смаження) або зміни консистенції (для виготовлення маргарину) рослинних олій. Фахівці біотехнологічних компаній розробили метод надання необхідної якості соєвій олії не за рахунок гідрогенізації, а завдяки підвищенню вмісту в ній стеаринової кислоти.

Для сучасних виробників продуктів харчування найвагомішою проблемою біологічної безпеки сировини є мікробіологічні інфекції, що можуть виникнути на будь-якому етапі руху продукту від ферми до столу споживача. Кожен біотехнологічний продукт, що знижує кількість мікроорганізмів на сировині тваринного, рослинного або грибного походження, істотно підвищує її безпеку. Забезпечення біобезпеки продуктів за рахунок зниження мікробної контамінації починається з ферми. Стійкі до шкідників і захворювань трансгенні сорти рослин у значно меншій мірі схильні до бактеріального зараження. Нові біотехнологічні методи діагностики дозволяють виявляти характер бактеріальних патологій на ранніх етапах виробництва і з високим ступенем точності, що дозволяє вилучати і знищувати хворих тварин або інфіковані рослини до того, як хвороба пошириться.

Біотехнологія не тільки надає безліч способів підвищення біологічної безпеки продуктів харчування, а й озброює нас різноманітними методами виявлення мікроорганізмів та їх токсинів. Сьогодні розробляються тести на основі моноклональних антитіл, біосенсиори, методи полімеразної ланцюгової реакції і ДНК-проби, які незабаром забезпечать нам можливість швидкого й ефективного виявлення в харчових продуктах мікроорганізмів, що викликають псування продуктів

(*Listeria monocytogenes*) і харчові отруєння (*Clostridium botulinum*).

Біотехнологічні тести є компактними, вони не вимагають багато часу і, за рахунок високої специфічності молекулярних методик, є найбільш чутливими. Наприклад, для виявлення сальмонели за допомогою нового діагностичного тесту потрібно лише 36 годин, тоді як застарілі методи вимагають три-чотири дні. Уже розроблено біотехнологічні діагностичні тести, що дозволяють виявляти деякі токсини, зокрема, мікотоксини, синтезовані вражаючою зерно цвіллю, і наявність у продуктах харчування випадкових домішок потенційних алергенів, наприклад, при додаванні до них арахісу.

Біотехнологія сприяє біобезпеці сировини ще й за рахунок виявлення та видалення алергенних білків, що містяться в таких продуктах, як арахіс, соя і молоко. Хоча 95 % алергенів віднесено до однієї з восьми харчових груп, у більшості випадків ми не знаємо, який з декількох тисяч харчових білків є причиною запуску певної алергічної реакції. Використання біотехнологічних методів привело до значного прогресу в цій області. Крім того, біотехнологи розробили методи блокування або видалення генів, що зумовлюють алергію, із геномів арахісу, сої і креветок. І, нарешті, біотехнологія допомагає підвищити якість сільськогосподарської сировини шляхом зниження вмісту натуральних рослинних токсинів, виявлених у деяких культурах, у тому числі в картоплі й маніюці.

Виявлення гострої або хронічної токсичності бутильованої води, а також водних розчинів харчових добавок для нормування їх гранично допустимих у харчових продуктах концентрацій сьогодні регламентується міжнародними стандартами ISO 6341-1996 «Якість води. Визначення летальності *Daphnia magna* Straus (*Cladocera*, *Crustacea*). Тест на гостру токсичність» і ISO 10706-2000 «Якість води. Визначення хронічної токсичності речовин на *Daphnia magna* Straus (*Cladocera*, *Crustacea*)».

Важливість ферментованих продуктів є причиною того, що дослідники не припиняють працювати над удосконаленням необхідних для харчової промисловості мікроорганізмів-біоагентів. Багато бактерій, що використовую-ються у

виробництві кисломолочних продуктів, схильні до інфікування вірусами, що завдає серйозних фінансових втрат харчової промисловості. Метод рекомбінантних ДНК дозволив ученим створити штами молочнокислих та інших ферментуючих бактерій, стійких до вірусних інфекцій. Окрім того, сучасна харчова біотехнологія використовує здатність деяких бактерій, які застосовуються задля ферментації продуктів харчування, синтезувати сполуки, інгібуючі розвиток мікроорганізмів, що викликають псування їжі й отруєння.

Інтенсифікація біотехнологічних процесів у виробництві харчових продуктів. На основі інтеграції інноваційних біокаталітичних і біосинтетичних процесів розроблено нову ресурсозберігаючу біотехнологію отримання етанолу шляхом біоконверсії вторинних сировинних ресурсів. Підвищити глибину переробки сировини і скоротити кількість барди можливо за рахунок підвищення концентрації зернового сусла, раціонального вибору ферментативної системи, що забезпечує глибокий біогідроліз полімерів зерна, і нових рас дріжджів, адаптованих до високої концентрації сусла і підвищеної температури. Для вирішення цих проблем із використанням методів генної інженерії створено високоефективні рекомбінантні штами продуцентів ферментів для харчової промисловості, активність яких порівняно з існуючими промисловими штамами збільшено за глюкоамилазою в 1,5–3, за ендоглюканазою в 4–7, за ксиланазою в 8–10, за грибною сериною протеазою в 22–23, за пеніцилопепсином у 120, за фітазою в 350 разів.

Селекціоновано нові високопродуктивні штами осмофільних і термотолерантних дріжджів, що здатні до спрямованого синтезу етанолу. Їх використання забезпечує зниження в 1,5 рази рівня синтезу побічних метаболітів, скорочення обсягу барди на 30–40 %, інтенсифікацію процесів бродіння. Нові біотехнології переробки проміжних продуктів спиртового виробництва і барди дозволяють отримувати кормові продукти та біологічно активні добавки для тваринництва з високим вмістом білка, лізину, β -каротину, а також із захисними і пробіотичними властивостями.

Також створено комплексну біотехнологію отримання біологічно активних добавок харчового і кормового призначення на основі біокаталізу біомаси дріжджів і міцеліальних грибів. Отримані біопрепарати з позитивним ефектом випробувано як білково-амінокислотні коректори харчових продуктів і лікувально-профілактичних засобів з імуномодельюючими й анти канцероген-ними властивостями, а також для специфічної терапії інсулінозалежного діабету. Введення добавок до складу комбікормів для м'ясо-молочного скотарства, птахівництва, бджільництва, рибництва (аквакультури) підвищує продуктивність і виживаність худоби, птиці, риби тощо. З використанням ферментолізатів рослинної і мікробної біомаси розроблено нові харчові продукти різного функціонального призначення.

Застосування харчових добавок та інших інгредієнтів, отриманих біотехнологічним способом. Мікроорганізми (біоагенти) важливі для харчової промисловості не тільки завдяки своїй здатності до ферментації продуктів, але і як джерело харчових і технологічних добавок, що використовуються для підвищення поживної цінності, збільшення терміну зберігання, зміни консистенції, посилення смаку та аромату продуктів. На продовольчому ринку зростає асортимент функціональних харчових продуктів, для виробництва яких застосовують вітаміни, амінокислоти та інші сполуки, отримані біотехнологічним способом.

Харчові добавки, що використовуються виробниками, як правило, мають рослинне або мікробне походження, наприклад, синтезовані бактеріями ксантанова і гуарова смоли. Виробники продуктів харчування широко застосовують рослинний крохмаль як згущувач і замітник жиру в низькокалорійних продуктах. Зараз крохмаль виділяється з рослинної сировини і модифікується за допомогою хімічних реагентів або енергоємних механічних процесів. Біотехнологія дозволяє змінити властивості рослинного крохмалю і, таким чином, уникнути необхідності його промислової обробки.

Ферменти, що отримують за допомогою мікробної ферментації, відіграють для харчової промисловості важливу роль як технологічні добавки. Сьогодні у харчовій БТ

використовується понад 70 різних ферментів. Першим комерційним біотехнологічним продуктом був фермент хімозин, який використовується в сироварінні. До впровадження біотехнологічних методик цей фермент доводилося витягувати зі шлунків телят, ягнят або козенят, а сьогодні він синтезується бактеріями, в геном яких вбудований відповідний ген (метод рекомбінантних ДНК). Для виробництва збагаченого фруктозою кукурудзяного сиропу потрібно три ферменти, які важливі також для виготовлення випічки і пива. Для виробництва фруктових соків, деяких сортів цукерок і твердих сирів також необхідні ферменти.

Підкислювачі застосовують здебільшого як смакові добавки для надання продуктам «гострого» смаку. Наприклад, найпопулярніший підкислювач – лимонну кислоту (цитрат) – широко використовують у виробництві безалкогольних напоїв і кондитерських виробів. Її отримують із застосуванням біоагенту – *Aspergillus niger*, зброджуючи мелясу, що містить гідролізну глюкозу. При консервуванні помідорів широко використовують ще один підкислювач – яблучну кислоту (малат), що її утворює *A. flavus*. До числа інших кислот, що широко застосовуються у харчовій промисловості, відносяться оцтова (ацетат), молочна (лактат), ітаконова (ітоконат), що її синтезує *A. terreus*, глюконова (глюконат), яку використовують у формі глюконолактону (продуцент – *A. niger*), і фумарова (фумарат), що її продукує мікроскопічний гриб із роду *Rhizopus*.

Речовини, які підсилюють відтінки смаку, містяться в природних харчових продуктах. Головним підсилювачем смаку вважається натрієва сіль глютамінової кислоти (глутамат натрію), що синтезується *Micrococcus glutamicus*. Розщеплюючи за допомогою ферменту нуклеази мікроскопічного гриба *Penicillium citrinum* нуклеїнові кислоти, в промисловому масштабі отримують 5' нуклеотиди (містять головним чином інозин і гуанін), які також застосовують як підсилювачі смаку.

Основні потреби в харчових барвниках задовольняються за рахунок природних джерел і продуктів хімічного синтезу, але два з них традиційно отримують методами біотехнології. Як барвники і підсилювачі кольору використовуються деякі вітаміни, наприклад, В₂ (рибофлавін), або їх попередники,

наприклад β -каротин, що забарвлюють харчові продукти в оранжево-жовті кольори. Пігмент β -каротин застосовують при виготовленні ковбас як заміник нітриту натрію, а також кондитерських виробів, вершкового масла і макаронних виробів. Деякі амінокислоти при температурі 100–120°C у лужному середовищі взаємодіють із цукрами з утворенням барвників.

Ксантан був першим мікробним полісахаридом, який почали виробляти в промисловому масштабі як загущувач. Він синтезується мікроорганізмами *Xanthomonas campestris*, які культивують на субстратах (барді, сирній сироватці), що містять глюкозу, сахарозу, крохмаль, кукурудзяну декстрозу. Ця речовина має високу в'язкість у широкому діапазоні pH, що не залежить від температури і присутності солей. Ксантан безпечний для людини, тому з 1969 року його використовують у харчовій промисловості для виробництва консервованих і заморожених харчових продуктів (приправ, соусів, продуктів швидкого приготування, заправок, кремів, фруктових напоїв тощо). Разом з рослинним полісахаридом із насіння робінії водні розчини ксантану утворюють стабільні гелі, що використовують у виробництві кормів, наприклад, консервованих кормів для домашніх тварин.

У кондитерській промисловості, зокрема, у виробництві морозива, як стабілізатор широко застосовується полісахарид декстран (α -D-глюкан), що його синтезує *Leuconostoc mesenteroides*, вирощуваний на сахарозовмісному субстраті. Альгінати з бурих і червоних водоростей також використовуються в харчовій промисловості як загусники або гелеутворюючі сполуки. Так полісахарид агар-агар застосовують для стабілізації йогурту і запобігання утворенню кристалів льоду при отриманні морозива. У промисловому ж масштабі альгінати виробляють, культивуючи бактерії із роду *Azotobacter* в умовах надлишку вуглецю.

Пріоритетні напрями досліджень у харчовій біотехнології. До найважливіших біотехнологічних досліджень, що провадяться у високорозвинених країнах задля підвищення якості продуктів харчування, належать:

- розробка акустичних біосенсорів для виявлення неякісних харчових продуктів;

- ідентифікація й оцінювання протимікробних систем як нового засобу підвищення ступеня біобезпеки та поліпшення якості їжі;

- розробка сенсорів для поліпшення контролю чистоти процесів приготування харчових продуктів у герметично закритому обладнанні.

Також виділяють п'ять найактуальніших напрямів створення сучасних інноваційних біотехнологій і розробки новітніх методів переробки сільськогосподарської сировини для підвищення якості та здатності до тривалого зберігання продуктів харчування:

- розробка біокаталітичних методів підвищення технологічної та харчової адекватності продовольчої сировини;

- створення нових біотехнологій виробництва натуральних біоконсервантів і біокоректорів їжі, харчових добавок із пробіотичними властивостями, білково-амінокислотних збагачувачів та інгредієнтів, що забезпечують підвищення біологічної повноцінності харчових продуктів, їх безпеку та здатність до тривалого зберігання;

- упровадження біоконверсійних технологій переробки вторинних сировинних ресурсів і відходів харчових виробництв на ефективні для скотарства і птахівництва кормові добавки;

- створення біокаталітичних і біосинтетичних технологій виробництва функціональних біологічно активних добавок, лікувально-профілактичних засобів, спеціалізованих і функціональних харчових інгредієнтів (джерел незамінних амінокислот, біоактивних пептидів, ферментів, вітамінів, мікро- і макронутрієнтів), пов'язаних із забезпеченням здоров'я людини;

- розробка біотехнологій високоякісних, конкурентоспроможних фізіологічно повноцінних і збалансованих продуктів харчування для забезпечення здоров'я та продовольчої безпеки населення.

Дослідження у зазначеній області є важливою ланкою у вирішенні фундаментальної проблеми повноцінного харчування живого організму. Реалізація цих напрямів, зумовлених наявним науково-технічним доробком, забезпечить розвиток вітчизняної харчової біотехнології, створення сучасних ресурсозберігаючих

біотехнологічних виробництв, заснованих на ефективній переробці сільськогосподарської сировини, підвищенні безпеки та якості продуктів харчування і кормів, сприятиме посиленню конкурентних позицій вітчизняних виробників. На жаль, переважна більшість харчових інгредієнтів сьогодні імпортується, тому організація їх виробництва в Україні є актуальним, соціально затребуваним завданням. Першочерговим є налагодження виробництва харчових протеїнів, ферментних препаратів, пре-, про- та синбіотиків, функціональних харчових продуктів і біологічно активних харчових інгредієнтів.

1 Харчові протеїни. Людина традиційно отримує білки, жири і вуглеводи (основні компоненти їжі) з тваринних і рослинних джерел, які нині не покривають потреби людства. Сучасні методи біотехнологій, поєднані із застосуванням ультра- і нанофільтраційних систем, роблять економічно ґрунтовним вилучення харчового білка із різноманітних сировинних продуктів і відходів харчової промисловості. Тому дуже актуальним є комплекс заходів, спрямованих на поширення біотехнологій, що конвертують малоцінні відходи на білкові продукти і на компоненти з високою доданою вартістю. Додатковим відновлювальним джерелом збалансованих з точки зору амінокислотного складу протеїнів є аквакультура (комплекс біотехнологій вирощування прісноводних і морських гідробіонтів).

2 Ферментні препарати. Ферменти, що застосовуються в харчових виробництвах, є продуктами з високою доданою вартістю, і в Україні майже не виробляються. Розвиток даного напрямку дозволить створити компактний за масштабами, але високоефективний сектор, який є з одного боку базою розвитку всіх інших напрямків харчової біотехнології, спрямованих на глибоку переробку сировини, а з іншого боку, має високий експортний потенціал.

3 Пре-, про- і синбіотики. Розвиток виробництва і харчового інжинірингу продуктів даної групи є необхідним елементом для формування в Україні ринку здорового харчування. Завданням даного комплексу заходів є створення пробіотичних продуктів, розширення досліджень і практики

впровадження до асортименту відповідних підприємств нових продуктів і біотехнологій.

4 Функціональні харчові продукти (дитячі, лікувальні та профілактичні). Це – продукти систематичного вживання, що зберігають і покращують здоров'я і знижують ризик розвитку захворювань завдяки наявності в їх складі функціональних інгредієнтів. Вони не є фармацевтичними засобами, але перешкоджають виникненню окремих хвороб, сприяють росту і розвитку дітей, гальмують старіння організму. Відповідно до світової практики продукт вважається функціональним, якщо регламентований уміст мікронутрієнтів у ньому є достатнім для задоволення (за умови звичайного рівня споживання) 25–50 % від середньодобової потреби в цих компонентах. Розвиток напряму є важливим соціальним завданням, що знижує навантаження на сектор медицини і соціально-економічні збитки від хвороб.

5 Біологічно активні харчові інгредієнти (вітаміни і функціональні суміші). Харчові інгредієнти, які використовують задля підвищення поживної цінності, подовження терміну зберігання, зміни консистенції і посилення смаку й аромату продуктів, переважно мають рослинне або бактеріальне походження. Багато амінокислотних добавок, підсилювачів смаку і вітамінів, що додають у харчові продукти, виробляють за допомогою бактеріальної ферментації. У результаті реалізації комплексу заходів біотехнологія повинна забезпечити виробникам харчових продуктів можливість синтезу великої кількості харчових добавок, які сьогодні занадто дорогі або малодоступні через обмеженість природних джерел цих речовин.

Ще одним із пріоритетних напрямів сучасних досліджень у харчовій БТ є глибока переробка харчової сировини. Біотехнологія надає безліч можливостей удосконалення методів переробки сировини (субстрату) на кінцеві (цільові) продукти: натуральні ароматизатори та барвники; нові технологічні добавки, зокрема, ферменти й емульгатори; заквасочні культури біоагентів; новітні методи утилізації відходів; екологічно чисті виробничі процеси; нові засоби тривалого збереження і біологічної безпеки продуктів під час виготовлення.

Сучасні технології глибокої переробки харчової сировини базуються на принципах безвідходного виробництва: продукти переробки або повертаються до виробничого циклу, або використовуються в інших галузях (насамперед, у виробництві фармацевтичних, парфумерних і косметичних засобів, сільсько-господарському виробництві тощо). Впровадження таких технологічних схем у значній мірі зумовлено досягненнями сучасної біотехнології, яка зробила доступним і економічно ґрунтовним вилучення із харчової сировини широкої гами нових продуктів. Незабаром в Україні буде створено умови для поширення біотехнологій глибокої переробки (біоконверсії та біотрансформації) харчової сировини і радикальної біодеградації відходів харчової промисловості тощо.

Контрольні питання

1 Фахівцям яких професій потрібні знання у галузі харчових біотехнологій?

2 Перелічіть основні групи цільових продуктів сучасної харчової біотехнології.

3 Назвіть складові елементи харчової біотехнології.

4 Які субстрати (сировина) є найбільш вживаними у харчовій біотехнології?

5 Які наукові назви біоагентів біотехнології виробництва молочнокислих продуктів вам відомі?

6 Перелічіть наукові назви біоагентів біотехнології виробництва хлібобулочних продуктів.

7 Назвіть основні напрями сучасних харчових біотехнологій.

8 Які біотехнології забезпечують поліпшення якості і корисних властивостей харчової сировини?

9 Які засоби біологічної безпеки харчових продуктів вам відомі?

10 Яким чином забезпечується інтенсифікація біотехнологічних процесів під час виробництва харчових продуктів?

11 Назвіть пріоритетні напрями досліджень і створення інноваційних біотехнологій, що застосовуються у харчовій індустрії.

12 Які сучасні біотехнології переробки відходів харчової промисловості Вам відомі?

Використані та рекомендовані інформаційні джерела

1 Біотехнологія : підручник / В. Г. Герасименко та ін. Київ : ІНКОС, 2006. 647 с.

2 Бондар І. В., Гуляєв В. М. Промислова мікробіологія. Харчова і агробіотехнологія : навч. посіб. для студентів спеціальності 7.092901 – «Промислова біотехнологія». Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2004. 280 с.

3 Іщенко С. М. Методика навчання технологічному обладнанню харчової галузі майбутніх педагогів професійного навчання у вищих навчальних закладах. *Наукові записки. Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. 2016. Вип. 10 (2). С. 115–118.

4 Курта С. А. Промислові біотехнології : курс лекцій. Івано-Франківськ : ПНУ, 2018. 310 с.

5 Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу – «Вступ до фаху» для студентів спеціальності «Промислова біотехнологія» усіх форм навчання / упоряд.: О. В. Кузнецова, С. М. Лисицька. Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2008. 45 с.

6 Мирончук В. Г., Гулий І. С., Пушанко М. М. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості : підручник. Вінниця : Нова книга, 2007. 736 с.

7 Пасенко А. В., Новохатько О. В., Никифорова О. О., Дігтяр С. В. Біотехнологічний словник : навчально-наукове видання. Кременчук : КрНУ, 2018. 120 с.

8 Пирог Т. П., Антонюк М. М., Скроцька О. І., Кігель Н. Ф. Харчова біотехнологія : підручник. Київ : Ліра-К, 2016. 408 с.

9 Пирог Т. П., Ігнатова О. А. Загальна біотехнологія : підручник. Київ : НУХТ, 2009. 336 с.

10 Batrinou, Anthimia. (2011). Modern Food Biotechnology: Genetically Modified Food World Health Organization.

11 Caballero, B., Finglas P. & Toldra F. (2003). *Food biotechnology. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. (2nd ed.). San Diego, Calif. ; London : Academic.

12 Caballero, B., Finglas P. & Toldra F. (2003). *Food biotechnology. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. (2nd ed.). San Diego, Calif. ; London : Academic.

13 Modern biotechnology in food: What is food biotechnology? Retrieved from <https://www.eufic.org/en/food-production/article/modern-biotechnology-in-food-what-is-food-biotechnology>

14 World Health Organization. (2005). Modern food biotechnology, human health and development: an evidence-based study. World Health Organization.

АГРОЛІСОВА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Загальна характеристика. Багато фахівців розглядають харчову й аграрну (сільськогосподарську) біотехнології у тісному обопільному взаємозв'язку, оскільки остання належить до первинного виробництва окультурених рослин і domestikованих тварин, харчові продукти з яких є єдиним джерелом енергії для людини. Упровадження біотехнологій у сільське господарство має велике значення для розвитку агропромислового комплексу під час формування продовольчої безпеки, як складової національної, а також задля забезпечення конкурентних переваг вітчизняної економіки на світовому ринку.

Головним завданням агролісової біотехнології є використання біологічних процесів, систем та організмів у сільському та лісовому господарстві, які сприяють їх інтенсифікації і перетворенню у високоефективні, конкурентоздатні, екологічно безпечні галузі національної економіки. Першочергового значення при цьому набувають питання покращання біотехнологічними методами існуючих і створення нових високопродуктивних сортів культурних рослин, сільськогосподарських тварин і штамів мікроорганізмів.

На молекулярному рівні різні організми є дуже подібними, що зумовлює можливість транслокації (перенесення) потрібних ділянок ДНК (генів) між організмами, що робить генну інженерію набагато потужнішою за традиційну селекцію, і дозволяє підвищити продуктивність рослин і тварин, водночас сприяючи впровадженню екологічно чистих методів виробництва. Також доведено, що корми, створені за допомогою біотехнології, підвищують продуктивність тваринництва, зменшують кількість відходів і токсичних речовин, які можуть викликати захворювання у тварин. Генетично модифіковані корми можуть також поліпшити якість ґрунтів і води завдяки зниженню вмісту фосфору й азоту в продуктах життєдіяльності тварин.

Саме новітні біотехнології штучного фотосинтезу майбутнього дозволять у промислових масштабах продукувати глюкозу із води і вуглекислого газу шляхом використання

сонячної енергії. Таким чином, людська цивілізація стане «автотрофною», що є однією з умов перетворення техносфери на ноосферу, як це передбачав перший президент Академії наук України Вернадський В.І. Серед інших значущих результатів «автотрофності» майбутніх популяцій *Homo sapiens* буде відмова від видобутку та спалювання непоновлювальних енергетичних ресурсів (нафти, природного газу, вугілля, горючих сланців, торфу тощо), що саме по собі розв'язує багато локальних і глобальних природоохоронних проблем, зокрема, парникового ефекту, виснаження озонового шару, змін клімату тощо.

До основних завдань і напрямків сучасної агролісової біотехнології належать: а) створення нових високопродуктивних сортів і гібридів культурних рослин і порід сільськогосподарських тварин, б) біологічних засобів захисту рослин і тварин, в) виробництво первинних харчових продуктів і кормів, у тому числі бактеріального протеїну, г) виробництво фітогормонів і регуляторів росту тварин, інших біопрепаратів, д) розроблення методів утилізації побічної продукції рослинництва, лісівництва і тваринництва та виробництво з неї біогазу, інших видів біопалива, високоякісних й екологічно чистих органічних добрив, зокрема створення штучних фіксуємих Нітроген консорцій ґрунтових мікроорганізмів. Залежно від об'єкту (біоагенту) до агролісових БТ відносять біотехнології рослин і тварин, спрямованих на біофармінг, відтворення, покращення здоров'я і живлення (харчування), а також забезпечення захисту від патологій шляхом трансформації їх геному.

Сучасні агролісові біотехнології практично тотожні використанню генної інженерії та застосуванню генетично модифікованих організмів. Попри те, що понад 70 років ці технології широко використовуються у світі (наприклад, штучна поліплоїдія, клітинна гібридизація тощо), ставлення до них суспільства дуже неоднозначне: від прийняття до повного заперечення. В той же час, саме цільові продукти цієї галузі БТ мають величезний потенціал для забезпечення стабільності і безпеки продовольчого й аграрного ринків. Крім того, БІ має суттєві переваги перед традиційною селекцією, оскільки значно

зменшує ризики появи у гібридів негативних ознак. До основних процедур і методів сучасної агролісової біотехнології належать:

- генетична паспортизація рослин і тварин (genotyping) – отримання генетично детермінованих (індивідуальних та/або групових) характеристик за допомогою морфологічних і/або молекулярних маркерів, що забезпечує процедуру ідентифікації та сертифікації культурних рослин і їх насіння та сільськогосподарських тварин, а також контроль законності походження деревини;

- криоконсервация біологічного матеріалу рослин і тварин (cryopreservation) – метод тривалого зберігання та реалізації генетичного потенціалу культурних рослин і сільськогосподарських тварин;

- молекулярна діагностика збудників захворювань рослин і тварин (molecular diagnostic) – спосіб виявлення збудників захворювань культурних рослин і сільськогосподарських тварин із використанням молекулярно-біологічних методів, а також спрямований на моніторинг фітосанітарного стану розплідників і лісонасаджень;

- молекулярна селекція (мікроорганізми, рослини, тварини, птахи) (molecular breeding): біотехнологія, спрямована на рішення селекційно-генетичних проблем підвищення продуктивності культурних рослин і сільськогосподарських тварин та їх захист від різних біотичних і абіотичних стресових факторів, у тому числі з використанням сільськогосподарсько цінних мікроорганізмів;

- оцінювання біорізноманіття лісових насаджень (biodiversity value), зокрема, за допомогою методів аналізу їх нуклеїнових кислот (геномної ДНК).

Під час біотехнологічних досліджень в агролісовій галузі також застосовують ПЛР-системи, засновані на ДНК-маркерах (RAPD, AFLP і SSR). Основні недоліки цих методів – низька відтворюваність RAPD-аналізу, висока вартість AFLP і необхідність знання флангових послідовностей праймерів для SSR-аналізу. В різних областях досліджень рослин широко використовують ISSR-аналіз, позбавлений таких обмежень. Цей метод передбачає ампліфікацію ділянки між короткими

тандемними мікросателітними повторами із 1–4 нуклеотидів ДНК, які розсіяні по всьому геному і відрізняються кількістю повторюваних одиниць. ISSR-аналіз успішно був використаний для оцінки ступеня генетичного різноманіття на між- і внутрішньовидовому рівнях для багатьох культурних рослин (рис, пшениця, просо, виноград, картопля тощо). Також він застосовувався задля оцінювання генетичного різноманіття какао, ялинки Дугласа і Суджі та навіть грибів.

Особливої уваги в Україні потребує проблема, пов'язана з виснаженням лісових ресурсів на тлі загального зростання потреб промисловості, сільського господарства та біоенергетики в деревині, що зумовлює зростання попиту на швидкозростаючі деревні рослини. Сучасні методи БТ дозволяють прискорити процес розмноження деревних рослин та отримати за короткий час потрібну кількість життєздатного садивного матеріалу. Тривалість вивчення механізмів проліферації, клітинної диференціації, гістогенезу, органогенезу та регенерації лісової рослини з культивованих тканин і органів *in vitro* та її адаптації в умовах *ex vitro* є основним лімітуючим фактором для різноманітних програм з лісової генетики та селекції. Саме для розвитку таких БТ Міжнародна спілка лісових дослідницьких організацій (IUFRO – International Union of Forest Research Organizations) раз на два роки проводить Tree Biotechnology Meeting.

Не менш гостро постає проблема, пов'язана зі збереженням генетичного потенціалу лісів, їх генетичної, видової й екосистемної біорізноманітності. Потребують негайного впровадження ефективні заходи, спрямовані на збалансовану експлуатацію, відновлення й охорону лісових біогеоценозів *in situ* та збереження біологічних і генетичних ресурсів *ex situ*. В Україні розвинений селекційний напрям щодо вирощування високопродуктивних лісів. У різних природних зонах за науково обґрунтованими рекомендаціями створено клоново-насінні лісові плантації першого та частково другого рівнів, виведені цінні сорти та гібриди лісових порід тощо. Триває створення насіннєвої бази цінних лісових порід, стійких до несприятливих абіотичних і біотичних факторів, а також банків клонів, зокрема

шляхом мікроклонального розмноження цінних лісових порід та їх гібридів.

Крім того, сучасні методи БТ застосовують для вирощування посадкового матеріалу, виробництва біологічних засобів захисту лісів, створення нових форм деревних рослин із заданими ознаками, у тому числі методами генної інженерії. Для підвищення ефективності селекційної роботи використовують методи молекулярного маркування, задля збереження генетичних ресурсів створюють кріобанки і банки депонування рослинного матеріалу *in vitro*, також у сучасному лісівництві використовують методи генетичної паспортизації та сертифікації насіння, оцінювання законності походження зрубаної деревини тощо.

Широке впровадження БТ у лісівництво дозволить отримати широкий спектр наукоємної інноваційної продукції високої вартості, затребуваної в харчовій, медичній, хімічній і військовій промисловості, сільському господарстві, будівництві, ЖКГ й енергетичному комплексі країни, а саме: ксантан, кормові матеріали, харчові, косметичні інгредієнти, клеї, добрива, композиційні матеріали, різні види палива, нові матеріали з покращеними властивостями, у тому числі матеріали на основі наноцелюлози. Впровадження новітніх біотехнологій у лісопромисловий комплекс є геополітичним завданням, тому що фактично саме вони вирішують глобальну проблему переходу від використання невідновлюваних ресурсів до поновлюваної сировини.

Задля захисту культурних рослин і сільськогосподарських тварин від інфекційних патологій різної етіології серед інших біотехнологічних продуктів широкого розповсюдження набули антибіотики, класифікацію яких за їх продуцентом подано у таблиці 7.

Таблиця 7 – Класифікація антибіотиків агролісового призначення

продуценти	антибіотики
<i>Eubacteriobionta</i>	низин, дипломіцин, граміцидини, поліміксини, субтилін
<i>Streptomyces sp. sp.</i>	стрептоміцин, тетрацикліни, новобіоцин, актиноміцини
<i>Deuteromycetes</i>	пеніцилін, грізеофульвін, трихоцетин
<i>Basidiomycetes & Ascomycetes</i>	термофілін, лензитин, хетомін
<i>Lichenes & Algae</i>	уснінова кислота, хлорелін
<i>Embriobionta</i>	аліцин, рафанін, фітоалексини (пізатин і фазеолін)
<i>Zoobiota</i>	лізоцим, екмолін, інтерферон

Складові елементи агролісової біотехнології. Залежно від цільового продукту сучасна агролісова біотехнологія використовує десятки видів біоагентів і субстратів для них (табл. 8). Відповідно до міжнародної класифікації цільовими продуктами агролісової біотехнології є:

– *безвірусний посадковий матеріал* (плодово-ягідні культури; культури овочів) (virus tested stem cuttings) – рослини, отримані за допомогою методів клонального мікророзмноження, необхідні для отримання продуктивного і здорового посадкового матеріалу для потреб сільського господарства, а також посадковий матеріал рідкісних та зникаючих видів лісових деревних і трав'янистих рослин, необхідний для створення резерватів рідкісних і зникаючих видів лісових деревних і трав'янистих рослин;

Таблиця 8 – Субстрати, біоагенти і цільові продукти агролісової біотехнології

Субстрат	Біоагент	Цільовий продукт
меляса, кукурудзяний екстракт, сульфати амонію, Магнію, Феруму і Мангану, комплексна сіль молібденової кислоти, крейда, Натрію хлорид й Калію фосфат	Симбіотичні азотфіксатори із родів <i>Rhizobium</i> , <i>Bradyrhizobium</i> , <i>Mezorhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i> , <i>Azorhizobium</i> . Асоціативні азотфіксатори із родів <i>Pseudomonas</i> , <i>Agrobacterium</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Arthrobacter</i> . Фосфатмобілізуючі бактерії із родів <i>Alcaligenes</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Azospirillum</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Paenibacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Serratia</i> . Гриби <i>Aspergillus</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Alternaria</i> , а також деякі актиноміцети і дріжджі	бактеріальні добрива: азотфіксуючі і фосфатмобілізуючі бактеріальні добрива (нітрагін, ризоторфін, азотобактерин, фосфобактерин, екстрасол)
агаризоване середовище, яке містить відвар бобового	активні життєздатні бульбочкові бактерії роду <i>Rhizobium</i>	препарати бульбочкових бактерій нітрагінін і ризоторфін

насіння, 2 % агару й 1 % сахарози		
наповнювач субстрату для культивування грибів – пориста глиниста маса	облігатні симбіонти – ендомікоризні гриби	біопрепарати на основі везикулярно- арбуску-лярної мікоризи (ВАМ)
приклади наведено нижче	віруси, гриби, найпростіші та спороутворюючі бактерії	мікробні інсектициди (ентомопатогенні препарати), які піддаю-ться біодеградації
кормові дріжджі – до 3; кукурудзяне борошно до 1,5; кашалотовий жир – 1 (у відсотках)	<i>Bacillus thuringiensis</i>	ентобактерин-3, ден- дробацилін, інсектин, токсобактерин, енто- бактерин, алестин, екзо-токсин, бітоксидацилін
глибинне культивування (%): дріжджі кормові – 2, крохмаль – 1, NaCl – 0.2, MnCl – 0.01, CaCl – 0.05	штами видів із родів: <i>Beaveria, Metarrhizium,</i> <i>Entomophthora.</i> В Україні – <i>B. bassiana</i>	грибний препарат боверин
–	на основі вірусів ядерного поліедра	вірин-екс (проти капустяної совки), вірин-енш (проти непарного шовкопрядя) і АББ (проти американського білого метелика)

відходи крохмально-потокowego виробництва (м'яса, гідрол), гідролізати торфу і рослинних відходів, побічні продукти молочної промисловості	актиноміцети, плісняві гриби та бактерії	кормові антибіотики
м'ясні або дріжджові гідралізати, синтетичне середовище (%): (NH ₄) ₂ C ₄ H ₄ O ₄ – 0,5, C ₃ H ₅ (OH) ₃ – 1,5, MgSO ₄ – 0,02, KН ₂ PO ₄ – 0,2	<i>Bacillus brevis</i>	граміцидин
кукурудзяний екстракт, дріжджовий екстракт, амонію сульфат, глюкоза, сахароза, крохмаль	<i>B. polymyxa</i> , <i>B. circulans</i>	поліміксини
глюкоза, амонію лактат, соєве борошно, неорганічні солі	<i>B. licheniformis</i>	бацитрацини
амонійні солі органічних кислот і глюкоза (pH 6,5–6,8)	<i>Streptococcus lactis</i>	нізини

середовище Райстрика: глюкоза, лактоза, кукурудзяний екстракт, сполуки P, S, Mg, R, Mn, Zn, Fe, Cu	<i>Penicillium chrysogenum, P. brevicompactum, Aspergillus flavus, A. nidulans</i>	пеніциліни
технічний гліцерол (метанол, натрієві та калієві солі)	<i>Cephalosporium acremonium</i>	цефалоспорини
середовище МРС (гідролізоване молоко, дріжджовий аутолізат, гідрогенсульфати Mg і Mn, амонію цитрат і вода)	представники родів <i>Bacillus, Lactobacillus, Propionibacterium</i>	пробіотики біовіт, лактосан, лактовіт

▪ *білково-вітамінно-мінеральні концентрати* (БВМК) (protein vitamin-mineral concentrates) – комбікормова добавка, що є однорідною сумішшю білкових кормових засобів, мінеральних і біологічно активних речовин;

▪ *білок кормовий* (feed protein) – суха концентрована біомаса клітин дріжджів, бактерій або мікроводоростей, що спеціально вирощується для сільськогосподарських тварин, зокрема, птахів, хутрових звірів, риб тощо;

▪ *біологічні засоби захисту рослин* (БЗЗР) (biological plant-protecting agents) – біопрепарати, які використовуються для боротьби зі шкідниками і хворобами сільськогосподарських та лісових рослин, бур'янами, шкідниками зерна та зернопродуктів: мікробіологічні препарати на основі мікроорганізмів (бактерій, грибів, вірусів) і продуктів їх життєдіяльності; препарати з рослин, екстрактів рослин й інших природних субстратів; феромони (препарати на основі

природних сполук, що не чинять токсичної дії на шкідливі організми, а впливають лише на їх поведінку); природні хижаки, антагоністи і конкуренти шкідливих організмів;

- *амінокислоти кормові* (feeding amino acid) – незамінні для сільськогосподарських тварин і птиці амінокислоти (в першу чергу, це лізин, метіонін, треонін, що належать до групи комбікормових добавок), які забезпечують збалансованість раціону харчування тварин за амінокислотним складом і зумовлюють таким чином значну економію протеїну та зниження витрати кормів;

- *біодобрива* (biofertilizer) – екологічно чисті добрива, що одержані з біогумусу і натуральних органічних речовин, а також мікробні препарати, що забезпечують доступність і кращу засвоюваність поживних компонентів ґрунту (або іншого субстрату, в якому ростуть рослини) та симбіотичне нітрогенове живлення за допомогою зв'язування молекулярного азоту повітря;

- *вермікомпост* (vermicompost) – органічне добриво (біогумус), продукт переробки органічних відходів сільського господарства дощовими черв'яками (найчастіше *Eisenia foetida* і *Lumbricus rubellus*) і бактеріями за участю інших організмів (комах, грибів тощо);

- *діагностикуми* (diagnosticum) – засоби біологічного або синтетичного походження, призначені для діагностики хвороб або фізіологічного стану сільськогосподарських тварин і лісових рослин, а також для індикації й ідентифікації мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності;

- *каротиноїди натуральні* (natural carotenoids) – пігменти, отримані з біологічної сировини мікробного, рослинного або тваринного походження, що належать до групи комбікормових добавок;

- *комбікорми* (feed compound) – спеціалізовані за складом і концентрацією комбікорми для культурних рослин і сільськогосподарських тварин;

- *консерванти кормів* (feed preservatives) – одна або кілька живих культур молочнокислих і пропіоновокислих бактерій, які здатні пригнічувати розвиток небажаної мікрофлори в кормах

(бактерії, що входять до складу даного виду продукції, забезпечують також силосування кормів);

- *кормові концентрати* (feed concentrates) – гомогенна суміш кормових матеріалів із кормовими добавками або без них, із вмістом поживних речовин вище фізіологічних потреб тварин, призначена тільки для подальшого змішування з кормовими матеріалами або з кормовими матеріалами і кормовими добавками з метою одержання збалансованого за поживністю корму;

- *кормові матеріали* (feed materials) – продукти рослинного, тваринного або мікробного походження, що задовольняють поживні потреби тварин в їх натуральному стані, у свіжому або консервованому вигляді, а також продукти, вироблені з них шляхом промислової обробки та органічні або неорганічні речовини, що містять або не містять кормові добавки, що призначені для годування тварин, або як наповнювач попередніх сумішей (преміксів);

- *кормова суміш* (feed mixture) – корм, що складається з суміші кормових матеріалів або суміші кормових матеріалів і кормових добавок, незбалансований за поживністю, призначений для безпосереднього годування тварин;

- *нові* (біотехнологічні) *сорта рослин і породи тварин* (new plant varieties & animal breeds) – культурні рослини та сільськогосподарські тварини, отримані з використанням сучасних постгеномних (селекція з використанням молекулярних маркерів) і біотехнологічних (генетична інженерія) методів; вони порівнюються до ГМО; до них також належать рослини і тварини «біофабрики» для отримання різноманітних білків медичного призначення, вакцин, олій, вітамінів тощо;

- *нові форми лісоутворюючих порід дерев із заданими ознаками* (new tree forms with given property), що не зустрічаються в природних умовах проживання і мають одну або декілька відмінних ознак шляхом селекції лісоутворюючих порід на основі ДНК-маркування задля виведення нових гібридних і сортових форм;

- *кормові пребіотики* (feed prebiotics) – неперетравлювані інгредієнти корму (харчові волокна – полісахариди та лігнін),

що сприяють поліпшенню здоров'я за рахунок виборчої стимуляції росту і метаболічної активності однієї або декількох груп бактерій, що мешкають у товстій кишці тварин (належать до групи комбікормових добавок);

▪ *пробіотики кормові* (feed probiotics) – живі мікроорганізми (лактобактерії, біфідобактерії, стрептококи) і продукти їх ферментації, що мають антагоністичну активність до патогенної мікрофлори і сприяють відновленню мікробіоценозу травного тракту тварин (належать до групи комбікормових добавок);

▪ *кормові синбіотики* (feed synbiotics) – суміш пробіотиків і пребіотиків, які зумовлюють позитивний вплив на здоров'я організму-господаря, виживаність бактеріальних добавок, а також зростання й активацію метаболізму лактобактерій і біфідобактерій (належать до групи комбікормових добавок);

▪ *кормові ферменти* (feed enzyme) – білкові каталізатори (фітаза, протеаза, амілаза, маннанза, пектиназа тощо), застосування яких у тваринництві дозволяє підвищити засвоюваність кормі і забезпечу поживну доступність кормової сировини (належать до групи комбікормових добавок).

На сучасних біотехнологічних виробництвах агролісової галузі економіки України використовують різноманітні біореактори, які розрізняють за типом процесу, що у ньому відбувається:

– ферментери (будь-який ферментативний біохімічний процес);

– метантенк (процеси біометаногенеза);

– компостер (мікробіологічні процеси компостування);

– аеротенк (біологічне окиснення);

– культиватор (виращування біоагентів на поживних середовищах);

– біосорбційні фільтри (процеси біологічної аб- й адсорбції).

Сучасні агролісові біотехнології. Новітня агролісова біотехнологія – це наука про генно-інженерні, клітинні й органотканинні методи та технології створення, розмноження і використання генетично трансформованих (модифікованих) організмів, які використовують у сільському та лісовому

господарстві, задля збільшення їх різноманітності, інтенсифікації виробництва й отримання нових цільових продуктів різного призначення. Вищим досягненням інноваційної біотехнології є генетична транслокація – перенесення чужорідних (природних або штучно створених) донорних генів до клітин-реципієнтів культурних рослин і сільськогосподарських тварин, одержання трансгенних організмів із новими або посиленими попередніми властивостями й ознаками. За своїми цілями і можливостями цей напрямок є стратегічним. Він дозволяє розв'язувати принципово нові завдання зі створення рослин, тварин і мікроорганізмів із підвищеною стійкістю до стресових факторів середовища, високою продуктивністю тощо.

Якість агролісової продукції суттєво погіршується у результаті застосування мінеральних й отрутохімікатів, які завдають шкоди природним екосистемам. Мінімізувати негативні наслідки хімізації агролісового виробництва можна різними засобами. Насамперед необхідно відмовитись від монокультури (використання обмеженого набору сортів, порід і штамів), яка згодом втрачає стійкість до патогенних і шкідливих організмів, оскільки чинить лише однобічний вплив на конкурентні організми (бур'яни). Відбувається також вибіркове винесення елементів мінерального живлення, що призводить до деградації ґрунтів.

Тому необхідно проводити планомірний перехід від монокультури до багатокомпонентних (поліклональних) композицій, що включають різні біотики культивованих рослин. Зокрема, до їх складу необхідно вводити організми з різним ритмом розвитку і неоднаковим відношенням до динаміки фізико-хімічних і біологічних чинників довкілля. У генетично гетерогенних екосистемах виникають компенсаторні взаємодії однієї особини з різними генотипами, завдяки яким знижується рівень внутрішньовидової конкуренції й одночасно збільшується їх тиск у тому числі на бур'яни. Поліклональні композиції характеризуються також резистентністю до патогенів і шкідників завдяки популяційному імунітету.

Інвасійно-екологічні проблеми, пов'язані зі скороченням біологічного різноманіття деревних рослин, особливо гостро

проявляються в лісових біогеоценозах. Розв'язання даного завдання на основі культиварів *in vitro* дає можливість надійного зберігання цінних або зникаючих генотипів шляхом кріоконсервації або депонування *in vitro*. Кріоконсервація застосовується до порід, що розмножуються шляхом соматичного ембріогенезу, а депонування *in vitro* до видів, що розмножуються методом стеблової культури. Поєднання методів молекулярного маркування і клонального мікророзмноження елітних генотипів дозволяє підвищити продуктивність лісових плантацій на 50–100 %. Такий комплекс біотехнологічних методів забезпечує прискорення селекційного процесу під час створення нових поліпшених форм і сортів у 2–3 рази.

Одним із найефективніших способів отримання садівного матеріалу є розмноження у штучних контрольованих умовах *in vitro*, яке має низку переваг порівняно з традиційними методами, а саме:

- незалежність від періодичності врожайності, якості насіння, чинників довкілля;
- розмноження рослин протягом усього року, адже їх ріст і розвиток *in vitro* практично не залежать від сезону;
- добір рослинного матеріалу *in vitro* із заданими ознаками;
- отримання як генетично однорідного матеріалу, так і соматоклональних культиварів залежно від мети;
- продукування садівного матеріалу, генетично ідентичного вихідній рослині;
- розмноження цінних клонів рослин на невеликих площах, з меншими затратами енергії та праці;
- прискорення терміну розмноження цінних клонів, що важливо для багаторічних деревних рослин;
- збільшення коефіцієнту розмноження (понад 100 клонів на рік);
- отримання вегетативних генерацій рослин, які важко розмножуються у звичайних умовах;
- можливість розмноження сіянців без виведення їх із ювенільної фази;
- тривале зберігання рослин *in vitro* за низьких температур шляхом створення кріобанку цінних рослин;

- продукування матеріалу рослин, позбавлених епіфітної мікрофлори;
- експериментальний мутагенез і розхимерювання;
- дослідження індивідуальної генетики культиварів, що розмножуються насінням, і створення нових сортів;
- використання клітинних культур як джерело біологічно активних сполук, а також як модельні системи для вивчення диференціації експресії генів тощо.

Пріоритетні напрями досліджень в агролісовій біотехнології. Розвиток агролісового сектора України за рахунок використання наявних наукових напрацювань і подальших розробок різних напрямів аграрної і лісової біотехнологій в недалекому майбутньому призведе не лише до створення нових цільових продуктів, еколого-економічних і соціальних послуг, якісних робочих місць, але й до принципового підвищення продовольчого та ресурсного потенціалу країни.

Комплексний підхід під час створення механізму стимулювання розвитку біотехнологій у агролісовому секторі надасть змогу розв'язати такі проблеми: підвищити ефективність усіх галузях сільського господарства (рослинництва, тваринництва, переробки тощо), отримати нові високопродуктивні культури та види сільськогосподарських тварин, стійкі до вірусних, бактеріальних, грибкових захворювань і шкідливих організмів; підвищити їх продуктивні та якісні характеристики.

Стратегічним напрямом розвитку аграрної біотехнології, яка відповідає питанням продовольчої безпеки як складової національної безпеки України, є розвиток ветеринарної науки у напрямі виробництва вакцин і засобів діагностики, а також біофармації з акцентом на тваринництво та птахівництво. Лише тандем передової науки і технологічних підходів забезпечить оптимізацію виробничих процесів із метою отримання чистої продукції із одночасним збереженням довкілля.

«Зелені» біотехнології дадуть змогу зменшити використання пестицидів і гербіцидів, сформувати екологічну безпеку країни, особливу роль вони можуть зіграти у розвитку промислового виробництва деревини завдяки генетичним

модифікаціям саджанців дерев, стійких до захворювань, із високою швидкістю росту, збільшеним вмістом целюлози у деревині. Все це у комплексі забезпечить збільшення площ лісових масивів і поліпшення екологічного стану, запобігання ерозії ґрунту тощо.

Пріоритетними напрямками досліджень у галузі лісової біотехнології залишаються: а) мікроклональне розмноження (органогенез і соматичний ембріогенез) для отримання цінних форм деревних рослин, б) створення генетичних і кріобанків рослинного матеріалу задля збереження генетичної біорізноманітності, в) створення біотехнологічних форм лісових деревних рослин із поліпшеними ознаками (продуктивних, стійких, декоративних тощо), г) молекулярне маркування вихідного і культивованого матеріалу, д) розробка біологічних засобів захисту лісів, е) використання деревної біомаси у виробництві біопалива, біопластику тощо.

Нині у більшості країн світу необхідною умовою наукових розробок є застосування молекулярно-генетичних методів для ідентифікації клонів, паспортизації клонових насінних плантацій (КНП), уточнення схем, аналізу системи схрещувань; розробки проектів створення КНП з генетично збалансованим набором клонів. Актуальними залишаються питання вдосконалення методів створення та експлуатації лісонасінних плантацій: розробка й удосконалення методів стимулювання плодоношення і збереження врожаю, яке неможливе без вивчення репродуктивної біології. Перспективними для розвитку цього напрямку є дослідження мінливості деревних порід, зокрема, генетичної, на популяційному рівні, вивчення структури і стану природних насаджень, а також розроблення стратегій підтримання і відновлення об'єктів збереження генофонду *in situ* та *ex situ*.

Відповідно до плану науково-дослідних робіт і завдання Держкомлісгоспу України селекціонерами УкрНДГірліс та УкрНДІЛГА розроблено Концепцію збереження та невиснажливого використання лісових генетичних ресурсів в Україні, а також Положення із виділення, збереження та сталого використання генетичного фонду лісових деревних порід в Україні, які нині проходять дослідно-виробничу перевірку.

Концепція повинна забезпечити стабільність функціонування лісових екосистем сьогодні та в майбутньому, зберегти потенціал лісів стосовно продукування комплексу унікальних економічних, екологічних і соціальних послуг. Використання документу є основою для розробки нових й удосконалення існуючих законодавчо-правових, нормативно-регулюючих і організаційно-розпорядчих актів, що забезпечують різні сторони збереження біорізноманіття.

Технологією майбутнього десятиліття є трансгенез (генмодифікація) деревних рослин. Збільшення швидкості росту основних лісових порід, підвищення їх стійкості та поліпшення властивостей деревини – пріоритетні завдання сучасного лісознавства. Створення нових форм лісових порід традиційними методами селекції – тривалий і малоефективний процес. Генетична трансформація методом агробактеріальної транслокації рекомбінантних цільових генів дає можливість за короткі терміни модифікувати властивості деревних рослин. Комплекс методів генетичної трансформації дозволяє модифікувати окремі ознаки рослин (стійкість до гербіцидів, уміст лігніну, продуктивність тощо). Даний напрямок лісової біотехнології орієнтований винятково на плантаційний спосіб лісовирощування. У світі зареєстровано понад 150 польових полігонів для вивчення зростання трансгенних лісових порід. Велика їх частина проводиться на території США, менша – у Китаї, Канаді та Фінляндії.

Сучасний розвиток лісового господарства потребує впровадження новітніх технологій для збереження цінних лісових насаджень. Тому виникає необхідність у встановленні можливості їх відтворення шляхом отримання садівного матеріалу зі стійких дерев *in vitro* та його адаптації в *in vivo*. Широке запровадження мікроклонального методу розмноження деревних рослин, що важко розмножуються, дозволить значно збільшити обсяги виробництва якісного, безвірусного садівного матеріалу для задоволення власних потреб. У цьому контексті особливо актуальним є проведення досліджень, спрямованих на вивчення видових особливостей мікроклонального розмноження, адаптування рослин-регенерантів і вирощування саджанців для подальшого створення лісових культур. У зв'язку з цим

перспективними залишаються наступні напрями лісової біотехнології: створення форм рослин із новими властивостями; розробка екологічно безпечних біопрепаратів для захисту лісових масивів; підвищення ефективності використання біомаси лісу для виготовлення біопалива й отримання енергії; осучаснення підходів до біоконверсії лігніно-целюлозної сировини.

Перспективними для розвитку України є БТ виробництва біопалива другого покоління (з непродовольчої біомаси): деревини, соломи, біовідходів рослинництва і тваринництва, енергоємних рослин тощо. Економічно ґрунтовний енергетичний потенціал наявних відходів біомаси в Україні становить 24,5 млн т умовного палива (у.п.), а енергетичний потенціал енергетичних культур, які можна вирощувати на сільськогосподарських землях (приблизно 4 млн га), що не використовуються, – близько 13,7 млн т у.п. Сумарний потенціал становить 38,2 млн т у.п. (до 18 % загального обсягу споживання первинних енергоресурсів в Україні). Потенціал виробництва біогазу складає 2,9 млрд м³/рік із відходів тваринництва та 31,7 млрд м³/рік із відходів рослинництва.

Контрольні питання

1 Яким чином біотехнології сільського господарства впливають на національну безпеку країни?

2 Яке значення має впровадження біотехнологій у сільське та лісове господарство? Відповідь аргументуйте.

3 Яким фахівцям потрібні знання у галузі агролісових біотехнологій? Наведіть приклади.

4 Які факти свідчать про вагомий внесок агролісових біотехнологій в економіку України?

5 Назвіть складові елементи аграрної та лісової біотехнологій.

6 Охарактеризуйте цільові продукти агролісових біотехнологій?

7 Перелічіть біоагенти сучасних технологій, які застосовують у сільському і лісовому господарстві.

8 Наведіть приклади субстратів, що використовують агролісові біотехнології.

9 Наведіть пріоритетні напрями біотехнологічних досліджень у агролісовому секторі.

10 За використанням яких типів біореактору відбувається виробництво в агропромисловому комплексі?

11 Які пріоритетні напрями досліджень лісової біотехнології ви знаєте?

12 У чому полягають переваги отримання садівного матеріалу під час розмноження у штучних контрольованих умовах *in vitro*?

13 Назвіть переваги та недоліки видів аналізу: RAPD, AFLP і SSR.

14 Охарактеризуйте антибіотики та їх продуцентів, які застосовують у сільському і лісовому господарстві.

15 Які нормативно-правові акти регулюють використання генетично модифікованих організмів?

Використані та рекомендовані інформаційні джерела

1 Білоус В. І. Лісова селекція : підручник. Умань : УДАУ, 2003. 534 с.

2 Бондар І. В., Гуляєв В. М. Промислова мікробіологія. Харчова і агробіотехнологія: навч. посіб. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2004. 280 с.

3 Гайда Ю. І., Яцик Р. М. Щодо доцільності створення й культивування генетично модифікованих дерев. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2009. Вип. 116. С. 183–189.

4 Гречаник Р. М. Розмноження деревних рослин *in vitro*: нові перспективи та завдання. *Лісівнича наука: витоки, сучасність, перспективи* : матеріали наукової конференції, присвяченої 80-річчю від дня заснування УкрНДЛГА (м. Харків, 12–14 жовт. 2010 р.). Харків, 2010. С. 103–105.

5 Дубровін В. О., Мельничук М. Д. Технічне забезпечення біотехнологічних процесів агропромислового виробництва. *Наук. вісник НУБіП. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2012. Вип. 170 (1). С. 11–16.

6 Єдина комплексна стратегія та план дій розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на 2015–2020 pp. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/NT1978.html

7 Захарчук О. І. Особливості мікроклонального розмноження цінних видів деревних рослин. *Ботанічні сади: проблеми інтродукції та збереження рослинного різноманіття* : матеріали Всеукр. наук. конф. (м. Житомир, 10–11 жовт. 2013 р.). Житомир, 2013. С. 117–121.

8 Мельничук М. Д., Кляченко О. Л. Біотехнологія в агросфері : навч. посіб. – Київ : НУБіП, 2014. 245 с.

9 Марчук О. О., Кирилюк В. І. Збереження та розмноження цінних генотипів *in vitro*. *Наукові доповіді НАУ*. 2008. № 4 (12). URL: <http://www.nbu.gov.ua/ejournals/nd/2008-4/08moogiv.pdf>

10 Мусич О. Г., Лисиченко Г. В. До питання про заліснення териконів. *Зб. наук. праць ІГНС*. 2007. Вип.15. С.103–108.

11 Пилипенко К. А. Напрями забезпечення продовольчої безпеки шляхом упровадження біотехнологій у сільське господарство: міжнародний досвід. *Економіка і суспільство*. 2016. Вип. № 2. С. 152–157.

12 Пирог Т. П., Гриценко Н. А., Софілканич А. П., Савенко І. В. Технології синтезу органічних сполук мікроорганізмами на відходах виробництва біодизеля. *Biotechnologia Acta*. 2015. № 8(3). С. 9–27.

13 Руденко Є. В. Кунець В. В., Седюк І. Є., Мандигра М. С., Воловик Г. П. Пріоритети розвитку аграрної біотехнології. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 12. С. 5–9.

14 Ткач В. П. Наукові аспекти вирішення проблеми відтворення лісів і сталого ведення лісового господарства. *Лісництво і агроеліорація*. 2010. Вип. 117. С. 16–20.

15 Чорнобров О., Мельник О. Біотехнологічні аспекти масового розмноження та збереження деревних рослин за використання технологій *in vitro*. *Національне виробництво й економіка в умовах реформування: стан і перспективи інноваційного розвитку та міжрегіональної інтеграції* : зб. наукових праць між нар. наук.-практ. конф. (м. Кам'янець-Подільський, 31 жовт. 2018 р.). м. Кам'янець-Подільський, 2018. С. 49–52.

16 Яцик Р. М., Гайда Ю. І., Случик В. М. Основи генетики й селекції лісових рослин : навч. посібн. Тернопіль : Підручники і посібники, 2012. 288 с.

17 Anderies, J. M., Ryan, P. & Walker, B. (2006). Loss of resilience, crisis, and institutional change: Lessons from an intensive agricultural system in southeastern Australia. *Ecosystems*, 9(6), 865-878.

18 Bioeconomy Policy (Part II). Synopsis of National Strategies around the World. – German Bioeconomy Council P. Retrieved from http://gbs2015.com/fileadmin/gbs2015/Downloads/Bioeconomy-Policy_Part-II.pdf

19 Kalayci, I., Uzun A. D. (2015). Bioeconomy, biotechnology and Turkey. *Proceedings of 50th the IIER International Conference*, Zurich, Switzerland.

20 Plant and Forest Biotechnology: Risk Assessment and Evaluation. Report of multidisciplinary conference (15th June 2000, Sigtunastiftelsen, Sigtuna, Sweden). Retrieved from www.crb.uu.se/elsa/sigtuna.html

21 Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification (2004). Forest Genetic Resources Working Paper FGR/59E. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO. Rome, Italy. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/008/ae574e/ae574e00.html>.

22 McCormick, K., Kautto, N. (2013). The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability*, 5(6), 2589-2608.

МЕДИКО-ФАРМАЦЕВТИЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Загальна характеристика. Сучасні БТ, що використовують у медицині, поділяють на два типи: терапевтичні та діагностичні, а до фармацевтичних належать усі технології виробництва лікарських засобів, основані на використанні різноманітних біоагентів. Біотехнологічні лікарські засоби представлені декількома фармакологічними групами, серед яких антибіотики, вітаміни, гормональні, ферментні й інші біосинтетичні фізіологічно активні препарати, зокрема фітогенного походження (алкалоїди, глікозиди, сапоніни, флавоноїди, таніни й інші БАР лікарських рослин входять до складу 45 % ліків).

Багато захворювань, для яких у даний час не існує адекватних методів діагностики і лікування (спадкові, онкологічні, серцево-судинні, вірусні і паразитні інфекції, нервові і розумові розлади), за допомогою генної інженерії стануть доступні для діагностики і лікування. Говорячи про медичну біотехнологію, не можна не відзначити її винятковий внесок у боротьбу зі старінням, що стало можливим завдяки відкриттям в молекулярної біології, декодуванні генома людини і іншим успіхам у цій галузі. Звісно ж, що подальший розвиток генетичної інженерії, що є одним із найбільш могутніх прикладних біотехнологічних інструментів, дасть потужний імпульс і дозволить принципово поліпшити якість медичного обслуговування населення. Уже сьогодні з'явилася можливість на ембріональній стадії точно виявляти і в щадному для всього організму режимі усувати зачатки тих чи інших патологій.

Завдяки широкому застосуванню біотехнологічних методів у фармацевтиці та медицині з'явилося нове поняття «персоналізованої медицини», коли лікування пацієнта здійснюється на основі його індивідуальних, у тому числі генетичних особливостей, і навіть препарати, що використовуються під час терапії, виготовляються індивідуально для кожного конкретного пацієнта з урахуванням його стану. Поява таких ліків стало можливим, зокрема, завдяки застосуванню біотехнологічного методу гібридизації (штучного злиття) клітин. Процеси гібридизації клітин і отримання

гібридів ще до кінця не вивчені і не відпрацьовані, але важливо, що з їх допомогою стало можливим напрацьовувати моноклональні антитіла.

Моноклональними антитілами називають спеціальні «захисні» білки, які продукуються клітинами імунної системи людини у відповідь на появу в крові будь-яких антигенів (бактерій, вірусів, продуктів їх метаболізму тощо). Моноклональні антитіла володіють незвичайною, унікальною специфічністю, і кожне антитіло впізнає лише «свій» антиген, зв'язується з ним і робить його безпечним для людини. У сучасній медицині моноклональні антитіла широко використовуються в діагностичних цілях. У даний час вони застосовуються також як високоефективні препарати для індивідуального лікування пацієнтів, які страждають такими важкими захворюваннями, як злоякісні новоутворення, СНІД і ін.

Найбільш перспективною серед інших БТ, що використовує сучасна медицина, є векторна рекомбінація ДНК, коли кільцеподібну молекулу вектора (частіше плазмиду *E. coli*) розрізають ферментами рестриктазами у специфічній ділянці в обох ланцюгах ДНК, перетворюючи його із кільцевої на лінійну форму. До лінійної ДНК за допомогою ферменту ДНК-лігази (*ligation* – зшивання) «пришивають» ген (або гени) і потім знову замикають її у кільце за допомогою тієї ж ДНК-лігази. Одержану рекомбінантну ДНК вводять у клітину *E. coli*, котра розмножуючись, утворює клон, усі клітини якого містять рекомбінантну ДНК (плазмиду), а тому і чужорідний ген. Останній, тепер клонований у клітинах кишкової палички, індукує в них біосинтез відповідного білка (продукту).

Складові елементи медико-фармацевтичної біотехнології. Більшість класичних біотехнологій, що належать до медико-фармацевтичної галузі (МФБ), так чи інакше пов'язані з мікробним синтезом біологічно активних речовин, головним чином – антибіотиків. Відкриття основних груп антибіотиків і весь комплекс генетичних і біохімічних досліджень їх продуцентів (біоагентів) у 40–50-ті роки минулого століття, які дозволили створити масштабне виробництво принципово нових лікарських препаратів, можна віднести до

найважливіших досягнень біотехнології. Демографічний вибух в одних країнах і різке збільшення ривалості життя в інших на той час були зумовлені значною мірою антибіотиками. Серед продукції фармацевтичної промисловості розвинених країн антибіотики посідають перше місце за всіма показниками.

Незважаючи на знання структури практично всіх відомих речовин з антибіотичною дією, їх хімічний синтез є громіздким і неефективним. У промисловості одержують антибіотики медичного або ветеринарного призначення, використовуючи здатність відповідних штамів-продуцентів генерувати даний антибіотик у певній фазі росту і заданому режимі культивування (табл. 9).

Антибіотики – це низькомолекулярні БАР, які розрізняються за хімічною структурою, що зумовлює відповідну здатність до інгібування розвитку певних груп патогенних мікроорганізмів (табл. 9). Загальним для цих сполук є те, що як продукти метаболізму мікробів, вони в дуже малих концентраціях порушують ріст інших мікроорганізмів. Більшість антибіотиків належать до вторинних метаболітів, так званих ідіолітів.

Мікроорганізми, які утворюють вторинні метаболіти, спочатку проходять стадію швидкого росту – трофофазу, під час якої синтез ідіолітів є незначним. У міру сповільнення або припинення росту через виснаження однієї або декількох необхідних поживних речовин у культуральному середовищі мікроорганізми переходять в ідіофазу. У цей період і синтезуються антибіотики. Більшість мікробів під час трофофази є чутливими до власних антибіотиків, але у період ідіофази вони втрачають цю властивість. Щоб зберегти мікроорганізми, що продукують антибіотики, від самознищення, потрібно швидко досягти ідіофази і потім культивувати біоагенти у цій фазі.

Таблиця 9 – Біологічні агенти та цільові продукти
медико-фармацевтичних біотехнологій

Антибіотик	Біоагент	Об'єкт і спектр дії
Амфотерицин В	<i>Streptomyces nodosus</i>	Дріжджі, дріжджоподібні гриби, зокрема <i>Candida albicans</i>
Бацитрацин	<i>Bacillus subtilis</i>	Грамположитивні бактерії
Бензилпеніцилін	<i>Penicillium notatum</i>	Грамнегативні та грамположитивні бактерії
Блеоміцин	<i>Streptomyces verticillus</i>	Протипухлинний засіб, що викликає фрагментацію ДНК
Ванкоміцин	<i>Amycolatopsis orientalis</i>	Інгібує біосинтез мембран, змінює їх проникність, порушую синтез РНК у грамположитивних бактерій
Гентаміцин	<i>Micromonospora purpurea</i>	Грамнегативні та грамположитивні бактерії
Джозаміцин	<i>Streptomyces narbonensis</i> var. <i>josamyceticus</i>	Грамнегативні та грамположитивні бактерії
Доксорубіцин	<i>Streptomyces peucetius</i> var. <i>caesius</i>	Протипухлинний засіб, що перешкоджає синтезу нуклеїнових кислот
Канаміцин А	<i>Streptomyces kanamyceticus</i>	Грамнегативні та грамположитивні бактерії
Лінкоміцин	<i>Streptomyces lincolnensis</i>	Грамположитивні бактерії
Мітоміцин С	<i>Streptomyces caespitosus</i>	Протипухлинний засіб, що перешкоджає синтезу нуклеїнових кислот
Мономіцин	<i>Streptomyces circulatus</i> var. <i>Monomycini</i>	Лейшманіоз, токсоплазмоз, сальмонельоз

Ністатин	<i>Streptomyces noursei</i>	Дріжджоподібні гриби роду <i>Candida</i>
Поліміксин	<i>Bacillus polymyxa</i>	Грамнегативні та грампозитивні бактерії
Рифампіцин	<i>Streptomyces mediterranei</i>	Грампозитивні та грамнегативні бактерії, у тому числі мікобактерії туберкульозу та лепри
Рубоміцина гідрохлорид	<i>Streptomyces coeruleorubidus</i>	Протипухлинний засіб
Стрептоміцин	<i>Streptomyces griseus</i>	Грамнегативні бактерії та мікобактерії туберкульозу
Тетрациклін	<i>Streptomyces aureofaciens</i>	Перешкоджає утворенню комплексу між т-РНК і рибосомою, що зумовлює порушення синтезу білка у грампозитивних і грамнегативних бактерій
Тобраміцин	<i>Streptomyces tenebrarius</i>	Грамнегативні бактерії
Цефалоспорин	<i>Cephalosporium sp.</i>	Грампозитивні та грамнегативні бактерії
Еритроміцин	<i>Streptomyces erythreus</i>	Грампозитивні бактерії

На сьогодні відомо близько десяти тисяч антибіотиків та антибіотичних речовин природного походження, продуцентами яких переважно є шість родів трихальних грибів, три роди актиноміцетів (є продуцентами майже половини відомих антибіотиків) і два роди справжніх бактерій (близько тисячі антибіотиків). Із нитчастих грибів плісняві гриби родів *Cephalosporium* і *Penicillium* є продуцентами так званих β -лактамних антибіотиків – пеніцилінів і цефалоспоринів. Продуцентами більшої частини антибіотичних речовин, зокрема тетрацикліни та цефаміцини, є представники роду *Streptomyces*

(один тільки вид *Streptomyces griseus* синтезує понад п'ятдесяти антибіотиків), які належать до порядку трихальних бактерій – актиноміцетів.

Антибактеріальну дію першого антибіотика – пеніциліну – установили у 1940 р. науковці Оксфордського університету А. Флемінг, Х. Флорі та Е. Чейн. Початкова продуктивність лабораторного штаму цвілі тоді була 2 мг препарату на 1 л культуральної рідини. Продуктивність нових штамів, отриманих шляхом спонтанних та індукованих (рентгенівським або ультрафіолетовим опромінюванням, азотистим іпритом тощо) мутацій вдалося збільшити в 10 тис. разів (20 г/л). До теперешнього часу пеніцилінові антибіотики становлять найважливішу групу хіміотерапевтичних засобів. Ядром пеніцилінів є 6-амінопеніцилінова кислота, яку використовують для отримання напівсинтетичних пеніцилінів.

Метод підвищення продуктивності штамів-продуцентів антибіотиків, що ґрунтується на спонтанних мутаціях, незважаючи на великі затрати праці й часу, використовується й нині. Це є наслідком того, що біосинтез антибіотика відбувається в результаті сумісної дії 10–30 різних ферментів, кодованих відповідною кількістю генів. Полігенний механізм, покладений в основу біосинтезу антибіотика, є причиною того, що зміни окремих генів не дають бажаних результатів. Крім того, для багатьох антибіотиків, мікробіологічне виробництво яких налагоджено, молекулярні механізми їх біосинтезу дотепер не з'ясовані остаточно.

Наприклад, задля масштабного виробництва пеніциліну G використовують високопродуктивний промисловий штам *Penicillium chrysogenum*, який був одержаний у результаті послідовних циклів мутагенезу і селекції. Вирощують його глибинним методом у ферментерах за допомогою фенілоцтової кислоти, яка є попередником бензильного бічного ланцюга молекули антибіотика. Інтенсивний синтез пеніциліну розпочинається за наявності великої кількості біомаси міцелію при повному використанні глюкози і молочної кислоти в середовищі, при рН, наближеному до нейтрального. Мікробіологічна стадія при виробництві пеніциліну триває близько 200 год. Після закінчення ферментації культуральну

рідину фільтрують, а клітини біоагента промивають. З фільтрату і промивок за допомогою бутанолу й іонів калію у кристалізаторах одержують кристалічну калієву сіль пеніциліну G (чистота – 99,5 %), що є вихідним матеріалом для наступних хімічних модифікацій.

Цефалоспорини – друга велика група екстра целюлярних β -лактамних антибіотиків, у яких шестичленне дигідротіазинове кільце з'єднане з β -лактамним кільцем. Завдяки цьому ядром цефалоспоринів є 7 α -аміоцефалоспоринова кислота або 7-АЦК (цефемове ядро), вперше виділене у процесі очищення цефалоспорину C. Під час його виробництві застосовують мікробіологічний метод з подальшою хімічною модифікацією. Як продуцент антибіотика використовують *Cephalosporium acremonium*. У цього антибіотика поєднується антибактеріальна активність як проти грампозитивних, так і грамнегативних мікроорганізмів. Проте для досягнення лікувального ефекту потрібні високі концентрації цефалоспорину C.

Сучасні медико-фармацевтичної біотехнології.
Прикладом сучасних медичних БТ у нашій країні є новітні біотехнології в діагностиці, лікуванні і профілактиці захворювань людини, розроблені науковцями Інституту невідкладної і відновної хірургії ім. В.К. Гусака Національної академії медичних наук України, які стали лауреатами Державної премії у галузі науки і техніки у 2013 році. Ними вивчено особливості перебігу ранового процесу при різних опіках у дітей і дорослих, зміни імунофенотипових характеристик і ефективність хірургічного лікування опікової хвороби із застосуванням аlogenних і аутологічних фібробластів і кератиноцитів, у тому числі при застосуванні кондиційованого середовища культивування фібробластів.

Вперше розроблено БТ селективного одержання остеогенних клітин-попередників періосту й ендосту *in vitro* на основі способу розташування кісткових фрагментів на колагеновій підкладці. Описано морфофункціональні зміни остеокомпетентних клітинних ліній залежно від енергетики травми. Авторами проведено порівняльний аналіз функціонального стану пріоритетних клітинних пулів, що беруть участь в остеорепації при травмах кісткової тканини

різної інтенсивності. Обґрунтовано шляхи терапевтичної дії з поліпшення консолідації переломів шляхом спрямованої дії на пріоритетні клітинні пули.

В експерименті на моделі гострого інфаркту міокарда доведено переваги трансплантації мезенхімальних стовбурових клітин. підтверджено можливість прямої міграції і хоумінгу ізогенних мезенхімальних стовбурових клітин в ушкоджений міокард при внутрішньовенному введенні і їх подальше диференціювання в ендотеліоцити й фібробласти, доведено явище неоангіогенезу. Вперше розроблено й апробовано методи ауотрансплантації мезенхімальних стовбурових клітин кісткового мозку при лікуванні рефрактерної стенокардії, а також розроблено й упроваджено електрофізіологічні й електроанатомічні методи діагностики ішемізованого міокарда за допомогою системи NOGA XP, упроваджено методіку трансплантації аутологічних клітин тощо.

Авторами вивчено цитоморфологічні та функціональні особливості клітинних популяцій хронічних виразково-ранових дефектів (ХВРД), визначено *in vitro* проліферативний потенціал клітинних популяцій, обґрунтовано використання культуральних технологій у комплексному лікуванні ХВРД нижніх кінцівок, визначені особливості загоєння ХВРД нижніх кінцівок при застосуванні клітинно-тканинних еквівалентів. Уперше подано теоретичне обґрунтування використання біоінженерних технологій у комплексному лікуванні пацієнтів із зовнішніми неповними трубчастими норицями, подано оцінку проліферативної активності клітинних еквівалентів у зовнішній неповній трубчастій нориці та вперше визначена їх роль в можливості загоєння трубчастих нориць, розроблено клітинно-тканинний трансплантат для лікування зовнішніх неповних трубчастих нориць.

Дослідниками надане теоретичне обґрунтування застосування фібробластно-колагенового композиту для стимуляції репаративних процесів ран шийки матки; на підставі морфологічних, клінічних, цитологічних і планіметричних досліджень, проведено аналіз ефективності хірургічного лікування рубцевої деформації шийки матки з використанням фібробластно-колагенового композиту. Також показано, що в

основу фізіологічних ефектів поверхнево активних й неактивних речовин біологічних рідин покладено їх високу здатність до міжмолекулярної взаємодії з протеїнами, ліпідами, вуглеводами, неорганічними сполуками тощо. Багато процесів переносу з участю сурфактантів включає стадії адсорбції й десорбції на міжфазній поверхні. Вивчення фізико-хімічних параметрів адсорбційних міжфазних шарів (динамічного поверхневого натягу, в'язкоеластичності, релаксації, поверхневої в'язкості, пружності тощо) біологічних рідин дає цінну інформацію для фундаментальної медицини й практичної діяльності лікаря.

Провідна роль серед БТ, що використовують сучасна медицина і фармація, належить технологіям перенесення генів за допомогою дезоксирибонуклеїнової кислоти, конструювання рекомбінантних ДНК. трансформація статевих клітин чужорідними генами, біосинтезу новітніх антибіотиків та інших БАР тощо.

Біотехнологія перенесення генів за допомогою дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК-БТ). Для перенесення генів у соматичні клітини використовують як тотальну ДНК (наприклад, зі сперми лосося або з клітинних ліній мишеподібних гризунів і людини), так і клоновані гени. При трансформації соматичних клітин, що ростуть у культурі, і мутантних ліній, створених на основі клітинних культур, препаратами сумарної ДНК і клонованими генами як донорські маркерні гени використовують ТК, HPRT, APRT і DFR, що кодують ферменти тимідинкіназу, гіпоксантинфосфорибозилтрансферазу, аденінфосфо-рибозилтрансферазу і дегідрофолатредуктазу відповідно. Таким чином, для трансформації клітин ссавців у культурі необхідне джерело донорської ДНК, середовище з придатним буфером і маркіровані реципієнтні клітини і/чи придатне селективне середовище для рідких трансформантів.

При обробці клітинної культури препаратами екзогенної ДНК трансформується приблизно одна із 10^6 – 10^8) реципієнтних клітин. Одночасно варто нагадати, що частота трансформації соматичних реципієнтних клітин при використанні метафазних хромосом як вектора на один-два порядки є вищою. Вирішальне значення для досягнення високої

частоти трансформації соматичних клітин екзогенної ДНК мають джерело високомолекулярної ДНК-носія, належним чином забуферене середовище і стан свіжовисіяних реципієнтних клітин. В експериментах з трансформації як донорську зазвичай використовують отриману із соматичних клітин ДНК, розміри якої перевищують 100 кб, а оптимальною вважається концентрація 500 мкг/мл.

Перенесення генів у складі сумарної ДНК до реципієнтних соматичних клітин можливе за ліпосом (фосфоліпідних пухирців) чи тінів еритроцитів, у які розміщують попередньо виділену та підготовлену ДНК. Ліпосоми мають слабку токсичність, вони здатні захищати нуклеїнові кислоти, що знаходяться всередині й інші макромолекули від деградації. Немає істотних обмежень на виготовлення ліпосом таких розмірів, що дозволили б укласти в них біополімери з молекулярною масою, що коливається в широких межах (від генів до хромосом). Для забезпечення вибіркової спорідненості до певних реципієнтних клітин і збільшення здатності приєднувати до мембран певних клітинних популяцій поверхні ліпосом можна модифікувати за допомогою гліколіпідів, лектинів або ковалентно зв'язаних антитіл.

Трансформацію соматичних і статевих клітин геном ТК здійснюють за допомогою рекомбінантних ДНК, сконструйованих шляхом вбудовування фрагментів ДНК вірусу герпеса (*Herpes simplex*), що містять ген, який кодує тимідинкіназу. Щоб збільшити ефективність трансформації, соматичні чи статеві клітини обробляють очищеними чи клонованими генами шляхом осадження донорської ДНК кальцій-фосфатним методом. У цьому випадку вдається домогтися введення очищеного або клонованого гена в одну із кожних 10^5 – 10^7 оброблених реципієнтних клітин.

Більш ефективним методом перенесення генів є введення мікроголкою ДНК, що знаходиться в розчині, до ядер реципієнтних клітин. У цьому випадку трансформується 50–100 % оброблених клітин. Така ж частота трансформації досягається й у тому випадку, коли ядро тільки проколюється мікроголкою. ДНК, що представляє очищений чиклонований ген, у цьому випадку не вводиться безпосередньо в ядро, а

використовується для обробки клітин ссавців, що знаходяться в культурі.

Серед інших методів, за допомогою яких переносяться клоновані чи очищені гени в соматичні реципієнтні клітини ссавців, варто вказати на можливість їх обробки високими концентраціями поліетиленгліколю. Заслужує на увагу метод котрансформації, що набуває широкого розповсюдження задля внесення у реципієнтні клітини чужорідних неселектованих генів чи фрагментів ДНК. Розробляється також спосіб трансформації реципієнтних клітин за допомогою електричного розряду в полі високої напруги.

Стабілізація трансформованого фенотипу є наслідком ампліфікації донорського гена чи внесення його в геном реципієнтної клітини, що не виключає можливість функціонування механізмів, перешкоджаючих включенню екзогенної ДНК у геном клітини-реципієнта. Стабільні трансформанти з'являються при інтеграції донорського генетичного матеріалу, у тому числі ДНК клонованих генів, у хромосоми реципієнтних клітин, що викликає дестабілізацію останніх і виникнення у зв'язку з цим великої кількості хромосомних перебудов. Цей процес незавжди є наслідком втрати інтегрованого донорського гена, іноді змінюється експресія останнього, у зв'язку з чим трансформований фенотип не реалізується.

Існує прямий взаємозв'язок між станом трансгеному (стабільне — нестабільне), частотою інтеграції донорського генетичного матеріалу в геном реципієнтної клітини і частотою порушення стабільності трансгеному, а також між ступенем диференціації і станом каріотипу реципієнтних клітини. Лінії клітин-реципієнтів, які мають змінені гетероплоїдні каріотипи (фібробластоподібні клітини), здатні зберігати у своїх геномах донорський генетичний матеріал, що автономно реплікується. Навпаки, у реципієнтних клітинах із близьким до нормального чи нормальним каріотипом (статеві клітини) немає умов, що сприяють перебуванню трансгеному в нестабільному автономному стані. Тому при трансформації реципієнтних статевих клітин екзогенною ДНК спостерігається велика кількість стабільних трансформантів.

Біотехнологія трансформації статевих клітин чужорідними генами. Успіхи молекулярної біології, генетичної і клітинної інженерії дозволяють спрямовано трансформувати еукаріотичні організми задля конструювання нових геномів рослин, грибів і тварин. Одним із прийомів генетичної і клітинної інженерії є введення генів у статеві клітини. Внаслідок трансформації статевих клітин відбуваються фенотипічні зміни трансформанта на організмовому рівні, а також передача генетичної інформації, що набула зміни, від батьків до нащадків.

Для внесення донорського генетичного матеріалу зазвичай використовують реципієнтні яйцеклітини протягом 12–14 год на початку запліднення. Яйцеклітини на стадії двох пронуклеусів вилучають із яйцеводів вимиванням. За донорський матеріал слугують рекомбінантні ДНК, сконструйовані на основі плазмід (pST₆, pST₁₂, pST₉ і ін.) з геном ТК вірусу герпеса, що кодує тимідинкіназу і ділянка вірусу SV-40, що містить нуклеотидні послідовності, які несуть на синтезованій м-РНК стартові сигнали реплікації та нуклеотидні послідовності, що є промотором ранніх білків.

Наступним етапом трансформації є введення в пронуклеус заплідненої реципієнтної яйцеклітини за допомогою мікроголки і мікроманіпулятора 1 мкл розчину рекомбінантної ДНК. З оброблених у такий спосіб яйцеклітин лише 6–10 % здатні до подальшого розвитку, з яких близько половини досягає зрілого віку. Аналіз рестрикційного спектру ДНК народжених із трансформованих яйцеклітин мишенят дозволив зробити висновок про те, що плазмідні можуть виконувати векторну функцію при введенні клонованих генів у статеві клітини, а з трансформованих яйцеклітин розвиваються особини, що протягом онтогенезу зберігають донорський генетичний матеріал.

Також показана можливість трансформації запліднених яйцеклітин за допомогою мікроін'єкцій клонованих генів β -глобіну людини і вірусу герпеса, що кодує тимідинкіназу. У цьому випадку в запліднену яйцеклітину вносять близько 2,5 тис. копій плазмід PtkH- β , до складу рекомбінантної молекули ДНК якої входив фрагмент із 7,9 тис. нуклеотидних пар, що

кодує β -глобін людини, і фрагмент ДНК, який містить нуклеотидну послідовність з 3,6 тис. пар нуклеотидів, що кодує ТК вірусу герпеса.

Існує певна імовірність, що чужорідний ген виявиться не тільки в соматичних, але й у деяких статевих клітинах організмів, які розвинулися з трансформованої заплідненої яйцеклітини або трансформованого на ранній стадії розвитку ембріона. Присутність фрагментів чужорідної ДНК, що представляє нуклеотидну послідовність того чи іншого гена, у статевих клітинах часто призводить до того, що деяка частина нащадків певної особини, успадкує разом з іншими генами батьків внесений чужорідний ген. У такому випадку цей ген уже буде присутній у всіх клітинах, зокрема й у статевих, а отже, передаватиметься наступним генераціям і у випадку прояву його функціональної активності зумовлюватиме фенотипічні зміни організму.

Слабким місцем під час трансформації статевих клітин є експресія гетерологічних генів у трансформантів. Тому пропонується конструювання таких векторів рекомбінантних ДНК, до складу яких крім клонованих чужорідних генів входили б нуклеотидні послідовності, що здійснюють регуляцію генної активності. Задля цього до рекомбінантних ДНК поряд з чужорідними клонованими генами вносять промоторні ділянки вірусів, що адаптовані до життєдіяльності в клітинах еукаріотичних організмів і мають тісний структурний взаємозв'язок з їх геномами. При конструюванні здатного до експресії реплікону в складі вектора пропонується використовувати промоторні й інші регуляторні послідовності ДНК вищих організмів.

Біотехнологія конструювання рекомбінантних ДНК. Успішний розвиток молекулярної біології сприяв виникненню генетичної інженерії, що є біотехнологічним прийомом спрямованого конструювання рекомбінантних молекул ДНК на основі ДНК різного походження. Становленню БТ отримання рекомбінантних ДНК і клонування генів передувала розробка новітніх методів, за допомогою яких молекулу ДНК «розрізають» на фрагменти, модифікують, знову реконструюють в одне ціле, розмножують отриману таким чином

макромолекулу й одержують велику кількість її копій. Використовуючи рекомбінантну ДНК, можна синтезувати мРНК, за допомогою якої синтезувати молекули білка необхідного розміру, будови і властивостей. Адже одержання білка – одна з головних цілей майже всіх галузей сучасної БТ.

Цілеспрямоване створення рекомбінантних ДНК не можливо без аналізу їх нуклеотидних послідовностей. Для цього використовують гідролітичні ферменти – рестрикційні ендонуклеази (рестриктази), що викликають розщеплення ДНК на фрагменти у певних локусах. Рестриктази одержують із бактеріальних клітин. Наприклад, рестрикційна ендонуклеаза EcoRI розщеплює ДНК тільки в тих місцях, де є нуклеотидна послідовність GAA–TTC, рестриктаза SmaI гідролізує ДНК у місцях послідовності CCC–GGG, а місцем ферментативної дії BamHI є сполучення нуклеотидів GGA–TTC.

Послідовності, які пізнаються і гідролізуються цими й іншими рестрикційними ендонуклеазами, ймовірно зустрічаються уздовж дволанцюгової структури ДНК. Ферменти рестрикції дозволяють перетворити макромолекулу ДНК у набір фрагментів, що включають від декількох сотень до декількох тисяч пар азотистих основ. Фрагменти, що розрізняються між собою за молекулярною масою, можна отримати в ізольованому вигляді за допомогою електрофорезу в гелі, а потім провести аналітичне дослідження кожного з виділених фрагментів.

Оскільки кожен ген кодує амінокислотну послідовність певного протеїну, доцільним є визначення нуклеотидної послідовності ДНК біоагентів, геном яких зарозміром набагато менший, ніж геном клітини еукаріот. Звичайно до таких біоагентів належать неклітинні форми життя – віруси. 1979 року вдалося визначити повну послідовність нуклеотидів у геномі вірусу мавп SV-40. Установлено, він складається із 5243 пар азотистих основ, організованих у п'ять окремих генів. Вибір об'єкту виявився вдалим ще й тому, що аналіз окремих генів не був ускладнений надлишком неспоріднених послідовностей. Крім того, у клітині внаслідок розмноження вірусу одночасно знаходиться декілька сотень тисяч копій його геному, що значно полегшує процедуру відокремлення вірусної ДНК від ДНК клітини хазяїна. Завдяки тому, що генетичний код трансляції

послідовності нуклеотидів у послідовність амінокислот уже був розшифрований, стало можливим побудувати послідовність амінокислот у молекулах білків, кодованих усіма п'ятьма генами вірусу SV-40.

Одночасно зі з'ясуванням послідовності нуклеотидів у молекулі ДНК вірусу SV-40 було знайдено ділянки, що не належать до локусів структурного гена, що не кодують білки, а беруть участь у регуляції експресії генів і реплікації вірусної ДНК. Таким чином було розроблено методи виділення генів донорських організмів, введення їх у векторну молекулу й одержання рекомбінантних (гібридних) ДНК, а також забезпечення самовідтворення рекомбінантних ДНК, тобто їхньої реплікації, перенесення гібридних ДНК в організм реципієнта (клітини-хазяїна) і забезпечення експресії чужорідних генів.

У сучасній практиці генетичної інженерії як вектор (переносник) генів, що не мають аналогів у ДНК клітині-реципієнта, і тому не здатні брати участь у гомологічній рекомбінації, зазвичай використовують плазмідні і фаг λ . Плазмідні (невеликі кільцеві молекули позахромосомної ДНК) на відміну від класичних генів, знаходяться в цитоплазмі бактеріальних клітин і клітин деяких дріжджів. У зв'язку з цим плазмідні часто називають екстрахромосомними генетичними елементами. Автономне існування плазмід пов'язане з тим, що механізми, які лежать в основі їх реплікації, незалежні від механізмів, що регулюють розмноження бактеріальної хромосоми.

Плазмідні мають здатність вбудовуватися в геном клітини-хазяїна і знаходитися нескінченно довго в інтегрованому з ДНК бактерії стані. У цьому випадку генетичний матеріал плазмід поводить себе подібно хромосомним генам бактерії, у які вона вмонтувалася. Відомі сьогодні плазмідні розрізняються між собою розмірами, що є наслідком неоднакового обсягу їх генетичної інформації, різних механізмів регуляції їх реплікації, що зумовлено різними ферментними системами, що забезпечують ці механізми. Залежно від молекулярної маси плазмідні поділяються на дрібні ($5 \cdot 10^6$ Да) і великі ($1,5\text{--}1,7 \cdot 10^8$ Да).

До складу молекули плазмідної ДНК входить від $2,25 \cdot 10^3$ до $4 \cdot 10^5$ пар нуклеотидів. У клітинах бактерій кращою є конфігурація ДНК у вигляді дволанцюгових ковалентно закритих кільцевих надспіральных і дволанцюгових відкритих кільцевих молекул ДНК. Конфігурація дволанцюгової ковалентно закритої кільцевої структури, що при скручуванні перетворюється у надспіраль, характеризується високою стійкістю і зберігається в конформаційно зміненому стані навіть при впливі несприятливих факторів (наприклад, лужних розчинів). Відкриті кільцеві молекули утворюються внаслідок розриву фосфодиефірних зв'язків в одному з ланцюгів. Вони не утворюють надспіральної структури, знаходяться в релаксованому (розслабленому) стані, менш стабільні при впливі несприятливих чинників, а в лужних розчинах дволанцюгова структура швидко деградує через розрив водневих зв'язків.

На долю плазмід припадає близько 1–10 % клітинної ДНК. Якщо в клітині *E. coli* міститься 10 дрібних плазмід, молекулярна маса кожної з яких $5 \cdot 10^6$, а молекулярна маса хромосомної ДНК $2 \cdot 10^9$, то в плазмідах зосереджено 2 % клітинної ДНК. Обсяг інформації у дрібних плазмідах дозволяє їм кодувати молекули двох великих білків; великі плазміди можуть кодувати понад 200 великих білків.

Наявність деяких спільних ознак з помірними фагами дає підставу припускати існування однієї і тієї самої молекули ДНК у різних фазах – плазмідній і фаговій. Відомо, наприклад, що фаг λ найчастіше функціонує, убудовуючи свою молекулу ДНК у хромосомну ДНК бактеріальної клітини. Фагова ДНК може також відтворюватися автономно, як розмножуються плазміди. Крім бактерій, дрібні кільцеві молекули ДНК (діаметр 1,1–2 мкм) зустрічаються в цитоплазмі клітин різних еукаріот: дріжджів, *Neurospora*, *Euglena*, трипаносом, тютюну, дрозофіли, шпорцевої жаби, мишей, мавп, людини тощо).

Унікальною властивістю плазмід є функція перенесення (tra). Проте це властиве лише великим плазмідам, з яких найбільш вивчена плазміда *E. coli*, молекулярна маса якої становить 65 млн Да, а кількість пар азотистих основ – 24 тис. Фактор перенесення (оперон перенесення, фактор F або

плазміда F) містить 21 цистрон. Процес перенесення, що складається з декількох етапів, починається з того, що у певному локусі плазміди, що називається стартовою точкою перенесення (oriT), відбувається розрив одного з ланцюгів ДНК, який згодом переноситься у клітину-акцептор. На одноланцюгових структурах ДНК, що залишилися в донорській клітині, а також на перенесених у клітину-акцептор, реплікуються комплементарні ланцюги.

Фактор F, як і інші плазміди, може включатися в бактеріальну хромосому за типом незаконної рекомбінації у визначених місцях. Незаконна рекомбінація – це процес, в основі якого лежить обмін негомологічними ділянками ДНК. Перебування фактора F в інтегрованому з хромосомою стані (стан Hfr), є однією з альтернативних форм існування плазміди, а хромосоми *E. coli*, у які включений фактор F, набувають здатності до перенесення в клітини придатного реципієнтного штаму, і цей процес при інтеграції плазміди F із хромосомою *E. coli* здійснюється з високою частотою. При впливі на бактеріальну клітину УФ-випромінюванням частота включення плазміди F у хромосому цієї клітини підвищується.

З відомих спеціальних функцій, що кодуються окремими плазмідами, варто назвати плідність (здатність плазмід переносити генетичний матеріал шляхом кон'югації), стійкість до одного чи кількох антибіотиків (фактори R1 плазміди R), важких металів (Cd^{2+} і Hg^{2+}), ультрафіолетового випромінювання, здатність до утворення бактеріоцинів (речовин, при дії яких на клітини настає їх загибель) і антибіотиків (метиленоміцину, актинородіну та ін.), токсинів і поверхневих антигенів (ентеротоксинів гемолізіну, антигену K-88 та ін.), індукцію пухлин у рослин (плазміда Ti із *Agrobacterium tumefaciens* викликає утворення корончатого гала), метаболізм незвичайних джерел Карбону (багато штамів *Pseudomonas putida* містять плазміди, що кодують ферменти для утилізації вуглеводнів), участь у споруляції стрептоміцетів тощо.

Носіями такої спеціальної функції, як стійкість до антибіотиків і деяких інших груп лікувальних препаратів, є фактори R чи плазміди R (від англ. resistance – стійкість).

Механізм стійкості зумовлений тим, що плазмідні гени кодують синтез спеціальних ферментів, що інактивують антибіотики шляхом їх розщеплення або модифікації. Крім того, деякі антибіотики (тетрациклін) і сульфаніламід не спричиняють властивого їм антибактеріального ефекту через детерміновані зміни в бактеріальній мембрані.

Гени *r*, що зумовлюють стійкість патогенів до антибіотиків, можуть бути в плазмідних факторах *R* об'єднані. Тоді формується ознака множинної лікувальної стійкості. У результаті інтенсивної хіміотерапії проти бактеріальної дизентерії один зі штамів збудника цього захворювання *Shigella dysenteriae* стійкий одночасно до всіх чотирьох використаних у лікувальних цілях лікарських препаратів (хлорамфеніколу, стрептоміцину, тетрацикліну і сульфаніламідів). Явище множинної стійкості до ліків притаманне для багатьох патогенних і непатогенних бактерій.

Відомі й інші методи сучасної генетичної інженерії (конекторний, лінкерний), за допомогою яких досягається з'єднання неспоріднених молекул ДНК за рахунок ферментативного приєднання за допомогою кінцевої трансферази (дезоксинуклеотидилтрансферази) полі-(dA)-фрагментів до обох 3' кінців однієї з двох неспоріднених молекул ДНК; до обох 3' кінців другої неспорідненої молекули ДНК приєднують фрагменти полі-(dT)-фрагментів. Для з'єднання 3' кінців дволанцюгової структури ДНК можна використовувати гомополімерні нуклеотидні послідовності, що складаються з гуанінового і цитидилового нуклеотидів.

Особливістю термінальної дезоксинуклеотидилтрансферази є незалежність її дії від полінуклеотидної матриці, у зв'язку з чим подовження 3' кінців молекул ДНК, що з'єднуються, можливе за рахунок гомополімерних нуклеотидних послідовностей довжиною близько 100 залишків. У зв'язку з тим, що приєднані до 3' кінців однотипні полінуклеотидні послідовності можуть мати різну довжину, дефекти, що виникли в зв'язку з цим у двоспиральній структурі ДНК, добудовуються за рахунок ДНК-полімерази I.

З'єднання фрагментів ДНК і вектора, утворених у результаті дії відповідних ферментів рестрикції, здійснюють за

допомогою методу, що включає в себе елементи методів конекторних і липких кінців. Для цього хімічним шляхом синтезують фрагмент, що складається з 6–10 пар нуклеотидних залишків, що виконує з'єднуючу функцію, і тому називається лінкером. За його допомогою з'єднуються кінці клонованого фрагменту ДНК і вектора, у який цей фрагмент уводиться для утворення рекомбінантних ДНК. Попередньою умовою для створення лінкера є можливість наступного його розщеплення відповідною рестрикційною ендонуклеазою.

Потім до 3' кінців плазмідного чи іншого походження вектора і фрагментів ДНК приєднують з утворенням ковалентних зв'язків заздалегідь синтезований лінкер (сполучний ланцюг), а 5' кінці лінкера клонованої ділянки ДНК і ДНК вектора фосфорилують за участю полінуклеотидкінази і за допомогою лігази (фага Т4), що утворює ковалентний зв'язок між тупими кінцями ДНК, що утворені приєднанням лінкера до клонованого фрагмента ДНК чи вектора після ферментативної обробки відповідною рестриктазою, наприклад EcoRI, перетворюють на липкі кінці, в основі з'єднання яких лежить механізм, описаний вище.

На стадії виділення клонованих генів сумарну ДНК клітини-донора (наприклад, ссавця) за допомогою ферментів рестриктаз, що виконують роль своєрідного захисника, який охороняє клітину від вторгнення чужорідної ДНК, розщеплюють на фрагменти розміром від 1 до 30 тис. нуклеотидів. Складний геном розділяють на кілька сотень тисяч полінуклеотидних фрагментів, кожний з яких можна вмонтувати в молекулу ДНК вектора. Важливо, щоб полінуклеотидний фрагмент ДНК клітини-реципієнта, що вбудовується, не перевищував полінуклеотидної ємності вектора, що використовується.

З фрагментів, що утворюються при розщепленні ендонуклеазами сумарної геномної ДНК і ДНК вектора (плазмід чи бактеріофага) за допомогою методу липких кінців, конекторного чи комбінованого (лінкерного) методів у присутності ДНК-лігази одержують молекулу рекомбінантної (гібридної) ДНК. У присутності всіх необхідних компонентів

процес утворення рекомбінантної ДНК завершується протягом декількох хвилин.

Наступною стадією клонування рекомбінантної ДНК є введення цих гібридних молекул, що складаються з убудованих у ДНК вектора клонованих фрагментів ДНК, у тому числі еукаріотичних організмів, у бактеріальну клітину хазяїна. Явище поглинання ДНК із середовища бактеріальними та еукаріотичними клітинами одержало назву трансформації. Ефективність трансформації дуже низька – тільки одна з мільйону молекул ДНК проникає у клітину. Створюючи особливі умови, кількість трансформованих клітин можна значно збільшити. Важливою умовою одержання рекомбінантних ДНК є вибір таких плазмід, у яких була б тільки одна ділянка специфічної взаємодії з певною рестрикційною ендонуклеазою.

Уведена тим чи іншим шляхом у бактеріальну клітину рекомбінантна ДНК багаторазово там реплікується. Кожна гібридна молекула ДНК у результаті реплікації створює потомство ідентичних їй дочірніх молекул. Багаторазово розмножене потомство однієї бактеріальної клітини, що характеризується ідентичністю всіх складових його молекул, називають клоном. Фрагмент ДНК, попередньо отриманий у результаті розщеплення рестрикційною ендонуклеазою геномної ДНК (наприклад, еукаріотичного організму), у межах кожної клональної популяції присутній у чистому вигляді, єдиною домішкою якого є ДНК-вектор, що міститься в гібридній молекулі.

Тому в більш вузькому значенні клоном називають убудований фрагмент чужорідної ДНК, попередньо виділений з його первісного геномного оточення і в результаті вибіркового розмноження присутній у великій кількості копій в однорідній популяції гібридних молекул. Як було сказано вище, у плазмідні чивірусні вектори можуть долучатися різні фрагменти ДНК, що несуть у своєму складі різні гени, у зв'язку з чим утворюються сотні тисяч гібридних молекул, що розрізняються, і які при розмноженні утворюють клональні популяції. Родоначальницею кожної популяції є одна гібридна молекула ДНК.

При використанні як вектора бактеріофага гібридні ДНК, що утворилися і які складаються з фрагмента геномної ДНК еукаріотичного походження і ДНК вірусу, вводять у клітини *E. coli*, де рекомбінантні фаги багаторазово розмножуються. У результаті їх лізування одержують великий набір окремих клональних популяцій – бібліотеку клонів. Наступний етап – ідентифікація клонів. Завдання полягає в тому, щоб у бібліотеці клонів знайти одну чи кілька популяцій, що несуть рекомбінантну молекулу ДНК і містять потрібний ген.

Добір клонів можна проводити за ознаками, характерними для самого клонованого гена чи для вектора, у який убудований потрібний ген. Ідентифікація є порівняно простою маніпуляцією: клонований раніше фрагмент ДНК позначають радіоактивним ізотопом і встановлюють необхідний клон гібридизацією. При цьому радіоактивна ДНК за принципом комплементарності нуклеотидних послідовностей буде зв'язуватися переважно з клонованим фрагментом ДНК, який визначається. Що стосується ідентифікації клонованих фрагментів еукаріотичної ДНК, то і тут основою відбору є гібридизація.

Розроблено також прийоми, за допомогою яких можна виділити м-РНК і її ДНК-копію. У тих клітинах, які спеціалізовані для синтезу певного білка у великих кількостях, м-РНК також виявляється в концентраціях, що дозволяють порівняно легко виділити її, а також ДНК-копію відповідної м-РНК у кількостях, необхідних для тестування гена, що розшукується. Цей метод виявляється результативним і в тих випадках, коли м-РНК знаходиться в клітині, де її кількість складає десятки частки відсотка від інших матричних РНК.

Цей метод може бути використаний і тоді, коли через замалу кількість існуючих прийомів м-РНК не може бути ізольованою. Запропонований вихід з цього становища полягає у виділенні невеликої кількості чистого білка, біосинтеза якого здійснюється на матриці РНК, яка цікавить дослідника. Потім визначається амінокислотна послідовність цього білка і на підставі знання генетичного коду здійснюється визначення нуклеотидної послідовності відповідної м-РНК і ДНК, що кодує аналізований білок.

Пріоритетні напрями досліджень у медико-фармацевтичній біотехнології. Одним із пріоритетних напрямів сучасних медико-фармацевтичних досліджень є нанотехнології, які розповсюджуються на геноміку, біосенсорику, імуноаналіз, клінічну хімію, детекцію і фототермоліз мікроорганізмів і ракових клітин, адресну доставку лікарських засобів, ДНК й антигенів, оптичний біоіміджінг та моніторинг клітин і тканин із застосуванням сучасних систем реєстрації. Наприклад наночастинки золота та інших металів запропоновано застосовувати майже в усіх напрямках сучасної медицини – діагностиці, терапії, профілактиці, гігієні тощо. Широкий спектр їх використання зумовлений їх унікальними фізико-хімічними властивостями.

Передбачається, що застосування наноматеріалів призведе до революційних досягнень у медицині завдяки здатності наночастинок взаємодіяти з тканинами на молекулярному і клітинному рівнях. Сучасні дослідження щодо використання нанотехнологій у медицині, особливо в онкології, дуже поширені. Наночастинки благородних металів привертають велику увагу в зв'язку з їх унікальними властивостями і безліччю областей застосування, зокрема, в хімічному аналізі, у медичній діагностиці та лікуванні, в якості сенсорів, бактерицидних матеріалів, для посиленого поверхнею раманівського розсіювання (SERS), посилення флуоресценції органічних барвників тощо. Хімічно зв'язані через аміно-, тіольні, ізоціанатні групи фотоактивні молекули стабілізують наночастинки і модифікують їх поверхню.

Ще одним пріоритетним напрямом досліджень у фармацевтичній БТ є розробка інноваційних біотехнологій виробництва і застосування антибіотиків. Нова МФБ ґрунтується на досягненнях молекулярної біології, молекулярної генетики і генетичної інженерії. Сьогодні розробляються перспективні напрями, що ґрунтуються на молекулярних механізмах біосинтезу антибіотиків або їх окремих фізіологічно активних структур. Цей напрям передбачає використання різноманітних методів сучасної БТ:

– методи генної інженерії, що передбачають конструювання продуцентів з використанням плазмід *E. coli* як вектора для

створення рекомбінантних ДНК, які містять гени, що контролюють утворення ферментів біосинтезу антибіотика, а також конструювання генів для одержання відповідного штаму продуцента, який виробляє первинний метаболіт, що лімітує швидкість біосинтезу антибіотика;

- використання індукторів біосинтезу нуклеїнових кислот і ферментів для збільшення концентрації первинних метаболітів, з яких за наявності відповідних ферментів утворюються антибіотики;

- збільшення продуктивності продуцентів шляхом використання специфічних ферментів, які визначають перехід мікробної культури із стадії трофофази до ідіофази, а також пригнічують процеси ретроінгібування;

- мутасинтез задля створення штамів-мутантів, у яких блоковано утворення окремих фрагментів молекули антибіотику; у результаті отримують модифіковані або гібридні антибіотики;

- використання іммобілізованих ферментів, що каталізують як реакції гідролізу, так і синтезу під час виробництва нових пеніцилінів і цефалоспоринів;

- інкапсулювання антибіотиків шляхом їх включення у ліпосоми, що дає можливість забезпечити цільову доставку препарату у хворі органи-мішені і знижує таким чином їх побічну дію;

- введення продуцента, який є антагоністом збудника захворювання (наприклад, виникненню карієсу зубів сприяє дикий патогенний штам бактерії *Streptococcus mutans*, який знаходиться в ротовій порожнині і виділяє кислоти, що руйнують зубну емаль (ідентин), а мутантний штам цього виду бактерії при введенні в ротову порожнину не утворює корозивних кислот, витісняє дикий патогенний штам і виділяє летальний для нього білковий продукт).

Контрольні питання

1 Назвіть біоагенти медико-фармацевтичних біотехнологій.

2 Наведіть приклади мікроорганізмів, що забезпечують біосинтез антибіотиків.

3 Які нанотехнології застосовують у сучасній діагностиці та терапії?

4 Назвіть біотехнології, які застосовують у медицині та фармацевтиці на молекулярному, клітинному та тканинному рівнях.

5 Що є субстратами і цільовими продуктами для медико-фармацевтичних БТ?

6 З якою метою застосовують біотехнологію трансформації статевих клітин чужорідними генами?

7 Які біореактори використовують фармацевтичні технології?

8 Назвіть спектр дії (патології та/або патогенні мікроорганізми) основних груп антибіотиків.

9 Назвіть основні групи біологічно активних речовин і процеси їх біосинтезу.

10 Які типи векторів використовують сучасні біотехнології трансфекції, трансформації і рекомбінації?

11 На які стадії поділяють технології мікробного виробництва антибіотиків?

12 Назвіть пріоритетні напрями досліджень у медико-фармацевтичній біотехнології.

Використані та рекомендовані інформаційні джерела

1 Bromma, K., Chithrani, D. B. (2020). Advances in Gold Nanoparticle-Based Combined Cancer Therapy. *Nanomaterials*, 10, 1671-1696.

2 Freitas, R. (2006). Nanotechnology, Nanomedicine and Nanosurgery. *International Journal of Surgery*, 3(4), 243-246.

3 Priya, K., Iyer, P. R. (2020). Antiproliferative effects on tumor cells of the synthesized gold nanoparticles against Hep2 liver cancer cell line. *Egyptian Liver Journal*, 10, 15.

4 Kupryushkin, M. S., Pyshnyi, D. V., & Stetsenko, D. A. (2014). Phosphoryl guanidines: a new type of nucleic Acid analogues. *Acta Naturae*, 6, 4 (23), 116-118.

5 Malachowski, T., Hassel, A. (2020). Engineering nanoparticles to over come immunological barriers for enhanced drug delivery. *Engineered Regeneration*, 1, 35-50.

6 Nasedkina, T. V., Guseva, N. A., Gra, O. A, Mityaeva, O. N., Chudinov, A. V., & Zasedatelev, A. S. (2009). Diagnostic microarrays in hematologic oncology: applications of high- and low-density arrays. *Mol Diagn Ther.*, 13(2), 91-102.

7 Oberdorster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Kreyling, W., & Cox, C. (2014). Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhal. Toxicol.*, 16, 437-445.

8 Ponomaryova, A. A., Morozkin, E. S., Rykova, E. Y. ... Choinzonov, E. L. (2016). Dynamic changes in circulating miRNA levels in response to antitumor therapy of lung cancer. *Experimental Lung Research*, 42, 2, 95-102.

9 Safwat, M. A., Kandil, B. A., Elblbesy, M. A., Soliman, G. M., & Eleraky, N. E. (2020). Epigallocatechin-3-Gallate-Loaded Gold Nanoparticles: Preparation and Evaluation of Anticancer Efficacy in Ehrlich Tumor-Bearing Mice. *Pharmaceuticals*, 13(9), 254-274.

10 Song, C., Kang, M., Rhee, J., & Levitt, S. (2018). Vascular damage and delayed cell death in tumours after hyperthermia. *British journal of cancer*, 41, 309-312.

11 Sun, P.-P., Lai, C.-S., Hung, C.-J., Dhaiveegan, P., Tsai, M.-L., Chiu C.-L., & Fang, J.-M. (2021). Subchronic oral toxicity evaluation of gold nanoparticles in male and female mice. *Heliyon*, 7(3), 65-77.

12 Valanne, A., Huopalahti, S., Soukka, T., Vainionpää, R., Lövgren, T., & Härmä, H. (2015). A sensitive adenovirus immunoassay as a model for using nanoparticle label technology in vims diagnostics. *J. Clin. Virol.*, 33, 217-223.

ЕКОЛОГІЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Загальна характеристика. Сучасний розвиток природоохоронних біотехнологій (ПБ) з використанням безпечних для навколишнього середовища біологічних методів, спрямованих на розв'язання прикладних завдань системи захисту довкілля, свідчить про безальтернативність застосування й необхідність подальшого удосконалення екологічних біотехнологій в умовах потужного антропогенного впливу на біосферу та вказує на потребу збереження генетичного, видового й екосистемного біорізноманіття і безпечних умов для здоров'я людини та її еволюції.

Реалізація ПБ не передбачає використання значної кількості природних ресурсів, не потребує застосування екологічно-небезпечних технологічних процесів (механічної обробки, великих концентрацій реагентів, високих температур чи тиску як факторів активації процесів), не викликає утворення значної кількості газоподібних, рідких або твердих відходів. Навпаки, екобіотехнології притаманні м'які умови технологічних режимів, що наближають їх до природних процесів (невисокі температури, малий тиск, нейтральні середовища, висока швидкість хімічних перетворень при незначних концентраціях компонентів).

Привабливим аспектом ПБ є низькі порівняно з іншими технологіями капітальні й експлуатаційні витрати, простота, надійність, універсальність реалізації біопроцесів і відсутність технологічних джерел вторинного забруднення довкілля. Екоботехнологія базується на природних принципах перетворення й переміщення речовини, енергії та інформації в екосистемах, що властиво живим організмам, біологічним системам і природним комплексам і відповідає законам екологічної рівноваги та стійкості екосистем. Таким чином, екобіотехнології є екологічно безпечними для навколишнього середовища та здоров'я населення за умов ретельного дотримання вимог з біобезпеки. Саме тому їх ще називають природоподібними технологіями.

Хімічною основою реалізації біопроцесів екологічних біотехнологій є біохімічні реакції, що здійснюють живі

організми у середовищах, знешкоджуючи (біодеструкція) забруднюючі речовини або перетворюючи (біотрансформація) їх на менш агресивні для довкілля компоненти. Природна або генетично модифікована метаболічна й катаболічна активність асоціацій біоагентів та явище кометаболізму забезпечують реалізацію екологічних біотехнологій і безпечного входження в екосистему біотрансформованих речовин внаслідок процесів біодетоксикації, біодеградації та/або біоконверсії.

Перетворення хімічних сполук за участю біоагентів відбувається у різних напрямках і призводить до мінералізації, біосинтезу, полімеризації сполук, накопичення їх у компонентах довкілля тощо. Біотрансформація полютантів відбувається завдяки наявності в екосистемах мікробіоценозів певного складу, розвиток і розмноження яких індукує підвищена концентрація забруднювачів (у першу чергу, біогенів – сполук Карбону, Нітрогену, Фосфору тощо), при зниженні якої чисельність і структура мікробних асоціацій повертається до вихідного природного стану. Біотрансформація речовин реалізується шляхом реакцій окиснення, відновлення, дезамінування, декарбоксилювання, дегалогенування, метилювання, гідроксилювання, гідратації, гідролізу тощо.

Біоагентами процесу біотрансформації сполук різного походження є:

- природні угруповання мікроорганізмів (мікробіоценози);
- чисті культури мікроорганізмів;
- селекціоновані культури мікроорганізмів (штами);
- генетично модифіковані мікроорганізми;
- іммобілізовані й інтактні ферменти;
- біологічні сурфактанти (поверхнево-активні речовини).

Найважливіша роль у ПБ належить біоагентам, які утворюють у різноманітних мережах живлення останній трофічний рівень, – редуцентам або деструкторам (гетеротрофним мікроорганізмам) і вторинним консументам. Продуценти (здебільшого фототрофні організми) відіграють незначну роль у біотрансформації полютантів. Змішані мікробні асоціації (консорціуми) забезпечують більш повний розклад (біодеградацію) сполук, зокрема ксенобіотиків. Перспективним є застосування іммобілізованих клітин мікроорганізмів та

імобілізованих ферментів. Взагалі, головну роль у біотрансформації ксенобіотиків відіграють все ж таки автотрофні мікроорганізми, але не фото-, а хемотрофні (табл. 10).

Таблиця 10 – Використання мікроорганізмів для біотрансформації поллютантів

Полютант	Мікроорганізм
Інсектициди, гербіциди	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Pseudomonas stutzeri</i>
ДДТ	<i>Fusarium oxysporum</i>
Нафта	<i>Nocardia vacceinii</i> <i>Rhodococcus rhodochrous</i> <i>Methanobacterium formicicum</i> <i>Methanobacterium hungati</i> представники родів <i>Mycobacterium</i> і <i>Arthrobacter</i>
Воски, парафіни, лігроїн	<i>Pseudomonasputida</i>
Метан	<i>Methylococcus</i> , <i>Methylomonas</i> , <i>Methylobacter</i> , <i>Methylocystis</i> , <i>Methylosinus</i>
ПАР	представники родів <i>Pseudomonas</i> , <i>Xantomonas</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Achromobacter</i> , <i>Alcaligenes</i>
Сполуки металів (<i>Hg</i> , <i>Mo</i> , <i>Se</i> , <i>Ag</i> , <i>Fe</i>)	представники родів <i>Leptospirillum</i> , <i>Thiobacillus</i>
Сульфіди	<i>Thiobacillus denitrificans</i>
Нікотин	<i>Arthrobacter oxidans</i> <i>Pseudomonas convexa</i>
Сечовина	<i>Providenci astuartii</i>

Екологічні біотехнології застосовують для забезпечення екологічної безпеки реалізації технологічних процесів, переробки й біоконверсії відходів виробництва, охорони гідро-, літо- і атмосфери (табл. 11). ПБ сприяють захисту від антропогенного впливу й відновленню природних екосистем, детоксикації й утилізації відходів з отриманням екологічно чистих продуктів, збереженню екологічної рівноваги в біосфері, забезпечуючи таким чином якість екосистемних послуг і зберігаючи біорізноманітність.

Таблиця 11 – Відповідність екологічних біотехнологій геологічному середовищу

Середовище	Джерело забруднення	Екологічна біотехнологія
Водне	Стічні води (техногенні, аерогенні та побутові стоки)	Біоочищення стічних вод у спорудах у природних та штучних умовах
	Аварійні скиди (вилив нафтопродуктів, пестицидів, рідких мінералів)	Біоремедіація локальних ділянок водних і прибережних екосистем
	Евтрофікація водойм	Інтенсифікація процесів самоочищення водойм. Денітрифікація в системі біоочищення скидів. Заріблення водойм фітофагами
Ґрунтове	Стічні води (техногенні, аерогенні та побутові стоки)	Біоочищення стічних вод в умовах штучних гідроекосистем очисних споруд
	Аварійні вилив нафтопродуктів, кислот, лугів,	Біоремедіація локальних едафотопів

	розчинників, висип пестицидів, складування відходів	
	Органічні техногенні, аерогенні та побутові відходи	Компостування, переробка, біоконверсія
	Відвали гірничо- збагачувальних виробництв	Біовилуговування. Біоре mediaція
Повітряне	Техногенні й аерогенні викиди	Біоочищення забрудненого повітря

Складові елементи екологічної біотехнології. Субстратом для багатьох сучасних екологічних біотехнологій є відходи та локальні ділянки водного й ґрунтового середовищ, які забруднені певними полютантами. Залежно від субстрату, цільового продукту та технологічних умов в екологічних біотехнологіях використовують біоагенти різного якісного та кількісного складу. У певних біотехнологіях склад біологічних систем формується й підтримується протягом реалізації технологічного процесу, а в інших –отримують заздалегідь визначений склад (табл. 12). Для більшості екологічних біотехнологій біоагентом є не окремий організм, а біоценоз, що складається з різних організмів, які формують певну трофічну мережу. При цьому, чим більше трофічних рівнів у харчових ланцюгах, що її утворюють, тим меншою буде продуктивність біомаси на кожному рівні біотехнології.

Таблиця 12 – Субстрати, біоагенти та цільові продукти екологічної біотехнології

Субстрат	Біоагент	Цільовий продукт
Стічна вода та фільтраційні води звалищ	Біоплівка, активний мул, угруповання	Технічна вода та вода рибогосподарського

	макрофітів, зоопланктон та інші гідробіоти	призначення
Осади стічних вод	Анаеробний мул	Технічна вода, біодобриво
Тверді органічні техногенні, аерогенні й побутові відходи	Біоценоз мікроорганізмів (грибів, бактерій, актиноміцетів) і безхребетних (кліщів, нематод)	Добриво-компост
Тверді відходи гірничодобувних та збагачувальних виробництв у відвалах та шламонакопичувачі	Біопрепарати та біосорбенти	Вилугований розчин із металом
Газоподібні відходи	Біоплівка імобілізована Суспензія активного мулу	Очищене повітря
Забруднені локальні ділянки гідроекосистем	Біопрепарати або гідробіоти	Вода рибогосподарського призначення та морська вода
Забруднені локальні едафотопи	Біопрепарати, вермикюльтури, біомеліоранти, зокрема фітормедіанти	Очищений ґрунт
Використані матеріали	Біопрепарати для регенерації	Матеріали для повторного використання

Організми певного трофічного рівня живляться організмами попередньої трофічної ланки, використовуючи

частину отриманої біомаси в енергетичному обміні, повністю її окиснюючи. Тому поява в біоценозі представників із інших трофічних рівнів знижує накопичення біомаси мікробіоценозу. Поступова біотрансформація поллютантів у харчовому ланцюзі мікробіоценозу біоагентів супроводжується розсіюванням енергії вихідного субстрату в процесі дихання організмів на різних трофічних рівнях. Це призводить до зменшення біопродукції, що зумовлена синтезом клітинної речовини продуцентів.

Для реалізації сучасних ПБ залежно від технологічних умов використовують різноманітні споруди – біореактори. Найбільшого різноманіття у технічному оснащенні набули біотехнології з очищення стічних вод і переробки їх осадів (табл. 13). Достатньо різноманітна роль різних представників біоагентів екологічних біотехнологій, які забезпечують перебіг певних процесів біотрансформації забруднювачів гідро- й едафотопів, а також повітряних поллютантів (табл. 14).

Таблиця 13 – Біореактори екологічної біотехнології очищення стічних вод

Біотехнологія	Умови	Біореактор
Очищення стічних вод	Аеробні	Ґрунтові споруди (поля зрошення і поля фільтрації). Гідроспоруди (біофільтри, аеротенки, окситенки, біоставки, біоплато, фітофільтри тощо)
	Анаеробні	Ґрунтові споруди (поля підземної фільтрації). Гідроспоруди (анаеробні біоставки)
Обробка осадів, мулу	Аеробна стабілізація	Аеротенки-стабілізатори
	Анаеробна стабілізація	Септиктенки, метантенки, двох'ярусні відстійники, освітлювачі-перегнивачі
Компостування	Аеробні	Компостні купи та ряди
Біовилуговуван		Купи, відвали, чани задля

ня відвалів і шламів		вилуговивання
Біоочищення викидів		Біофільтри, біоскрубери, біосорбери, біореактори з циркулюючим шаром
Біоремедіація		Гідро- й едафотопи. Регенерований матеріал

Особлива поліфункціональна роль під час експлуатації гідроспоруд біоочищення стічних вод належить представникам рослинного світу як складовим консорціуму біоагентів. Водні рослини в процесі біоочищення стоків виконують наступні функції: фільтраційну (сприяють осадженню завислих речовин), поглинальну (вилучають біогенні елементи забруднюючих речовин), накопичувальну (здатні акумулювати певні метали, хімічні сполуки), санітарну (фітонциди належать до бактерицидних сполук), окислювальну (в процесі фотосинтезу збагачують воду киснем), детоксикаційну (поглинають та/або перетворюють токсиканти).

Виділяють певні екологічні групи водної рослинності (макрофітів) у гідроспорудах: повітряно-водні види (*Scirpus lacustris*, *Glyceria maxima*, *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *T. latifolia*), вільноплаваючі види, що вкорінюються (*Nuphar lutea*, *Nymphaea alba*, *Trapa natans*, *Potamogeton gramineus*, *P. natans*, *P. nodosus*) і види, що не вкорінюються (*Salvinia natans*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrrhiza*), занурені види (*Batrachium circinatum*, *Myriophyllum spicatum*, *Elodea canadensis*, *Stratiotes aloides*, *Potamogeton sp. sp.*, *Najas marina*). Особливістю експлуатації фітофільтраційних пристроїв, біоставків та інших гідроспоруд є технологічна необхідність періодичного вилучення надлишкової біомаси водної рослинності з біореактора. Видалену фітомасу доцільно утилізувати як сировину для хімічної (виробництво смол, спиртів, органічних кислот, ферментів тощо) і парфумерної промисловості, а також для виготовлення кормів у тваринництві.

Таблиця 14 – Біоагенти, їх склад і біотехнологічні процеси, що їх забезпечують

Біоагент (біоценоз)	Склад біоценозу	Процеси
Активний мул аеротенків. Біоплівка біофільтрів очищення стічних вод. Біоплівка грунтових споруд очищення стічних вод	Роди кокоїдних (<i>Zoogloearamigera</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Sarcina</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Nitrosomonas</i> , <i>Nitrobacter</i>), триальних (<i>Sphaerotilus</i> , <i>Cladotrix</i> , <i>Beggiatoa</i> , <i>Thiothrix</i>) і ціанобактерій, а також мікроводоростей (<i>Chlorophyceae</i> , <i>Chromophyceae</i> , <i>Euglenophyceae</i>), грибів (<i>Fusarium</i> , <i>Candida</i> , <i>Trichosporon</i>), найпростіших (<i>Amoeba</i> , <i>Arcella</i> , <i>Uronema</i> , <i>Peranema</i> , <i>Philodina</i> , <i>Opercularia</i> , <i>Vorticella</i> , <i>Epistylis</i> , <i>Litonotus</i> , <i>Aspidisca</i> , <i>Paramecium</i> , <i>Bodo</i> , <i>Centropyxis</i>) і безхребетних тварин (<i>Rotaria</i> , <i>Aeolosoma</i> , <i>Nais</i> , <i>Philodina</i> , <i>Monostyla</i> , <i>Notommata</i>)	Гідроліз, окиснення, амоніфікація, нітрифікація, асиміляція, денітрифікація
Мікробіоценоз біоставків, інших гідроспоруд	Бактерії, ооміцети, мікроводорості фітопланктону, одно- і багатоклітинні безхребетні тварини зоопланктону, гідробіонти-деструктори тощо	Окиснення, амоніфікація, нітрифікація, асиміляція, фільтрація, детоксикація

Анаеробний мул споруд із переробки осадів стічних вод	Бактерії із родів <i>Streptococcus</i> , <i>Enterobacterium</i> , <i>Methanobacterium</i> , <i>Methanococcus</i> , <i>Methanosarcina</i> , <i>Desulfotomaculum</i>	Гідроліз, зброджування, іслотоутворення, ацетогенез, метаногенез, сульфатредукція
Біосистеми компостування	Бактерії, актиноміцети, нижчі (дріжджі та ін.) і вищі гриби, водорості, безхребетні тварини	Гідроліз, окиснення, амоніфікація, нітрифікація, асиміляція
Біосистеми вилуговування	Бактерії із родів <i>Thiobacillus</i> , <i>Leptospirillum</i> , <i>Sulfobacillus</i> , <i>Sulfolobus</i>	Окиснення
Біоплівка, активний мул біоочищення	Бактерії із родів <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Hyphomicrobium</i> , <i>Xanthobacterium</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Thiobacillus</i>	Окиснення Асиміляція Детоксикація
Біопрепарати біоремедіації водного об'єкту	Бактерії, актиноміцети, нижчі гриби	Окиснення Асиміляція Детоксикація
Біосистеми біоремедіації ґрунту	Бактерії, актиноміцети, нижчі гриби. Вермікультура (<i>Lumbricus terrestris</i> , <i>Eisenia fetida</i>). Біоремедіаційні рослини	Окиснення Асиміляція Детоксикація
Біопрепарати регенерації матеріалу	Бактерії, актиноміцети, нижчі гриби	Окиснення Детоксикація

Сучасні екологічні біотехнології. Сучасні екологічні біотехнології розвиваються в напрямку підвищення ефективності діючих технологічних споруд та обладнання, посилення біохімічної активності біоагентів, отримання екологічно безпечного продукту, зниження витратності технологій, забезпечення безвідходності технологічних циклів.

Найпоширенішими в умовах виробничих процесів і забезпечення санітарних умов проживання населення урбанізованих територій є технології біологічного очищення стічних вод у біоспорудах. Це найвеликотоннажні технології за об'ємами перероблювальних потоків. Процеси, що відбуваються під час біоочищення вод схожі на природні, але прискорені та підлягають технологічному регулюванню. Біологічне очищення передбачає видалення забруднюючих органічних речовин із води за участю редуцентів, детритофагів, що входять до складу біологічних систем, формування яких у певній мірі залежить від складу стічних вод, умов аерації, температури, кислотності середовища. Розрізняють локальні, заводські та міські очисні споруди. Основні етапи біоочищення стоків: передочищення (механічне очищення), первинне очищення (фізичне, фізико-хімічне, хімічне очищення), вторинне очищення (біологічне очищення), доочищення (біологічне, фізико-хімічне), дезінфекція (хлорування, озонування). В умовах прогресуючого евтрофування природних водойм, актуальною потребою стає глибоке доочищення стоків від розчинних біогенів P, N, які масово потрапляють з очищеними водами у водойми, викликаючи їх підвищену продуктивність. Таким чином, етап доочищення стічних вод повинен стати невід'ємним для подальшого їх скидання у водні об'єкти.

Важливим технологічним завданням для ефективної експлуатації очисних споруд є відокремлення очищеної води від біомаси біоагенту технології. Порівняно з осадами мінерального, органічного складу біомасу гідробіонтів штучних гідроспоруд досить проблематично вилучати. Активний мул, вилучають методом відстоювання, для автолізу біоплівки розпушують завантажувальний матеріал біофільтру або запроваджують рециркуляцію стоків, у біоставках і різних фітофільтраційних пристроях передбачено періодичне

вилучення надлишкової фітомаси зі споруди. Зібрану біомасу утилізують шляхом переробки, біоконверсії. Для ефективного опрацювання осади піддають аеробній або анаеробній стабілізації. Важливими технологічними умовами стабілізації є наявність або відсутність аерації, температурний режим, рН. Наприклад, метаногенез у біогазових реакторах потребує мезофільного чи термофільного температурного режиму, підлогування середовища, певного режиму перемішування.

Під час реалізації технологій біоочищення стічних вод на ґрунтових спорудах необхідно ретельно забезпечити оптимальні обсяги подачі стоків на ґрунтову ділянку залежно від специфіки її призначення та експлуатації, а також дренаж фільтраційних стоків і їх відведення. Ґрунтові споруди можуть бути використані тільки для очищення стоків (поля фільтрації), або крім біоочищення ще й для зрошення стічними водами (поля зрошення) технічних культур, які висаджують на земельних ділянках ґрунтових споруд.

Найменш витратним є біоочищення стоків на біоплато, фітофільтраційних пристроях, біоставках тощо. Біотехнологічний процес на цих спорудах реалізується у природних умовах, які уповільнюють біохімічні реакції, що забезпечують очищення, він не піддається регулюванню, але й не потребує значних капітальних витрат. При очищенні стоків і стабілізації осадів в анаеробних умовах в метантенку, двох'ярусному відстійнику, освітлювачу-перегнивачу важливим завданням технолога є контроль за газовиділенням. При експлуатації метантенка проектується певна система для збирання, відведення, компресування та зберігання біогазу.

Для об'єктів промисловості важливим є запровадження обладнання з біоочищення викидів. Використовують біофільтри очищення викидів, біоскрубери, біореактори з циркулюючим шаром. Біологічні методи очищення газоповітряного потоку засновані на здатності мікроорганізмів розкладати в аеробних умовах забруднюючі речовини до кінцевих продуктів окиснення – CO_2 і H_2O . Ефективність біоочищення значною мірою визначається масо перенесенням забруднюючих речовин із газової фази потоку добіоплівки та рівномірним розподілом газу в шарі насадки. Наведене обладнання використовують для

очищення відпрацьованих виробничих газів від амоніаку, фенолу, крезолу, формальдегіду, органічних розчинників, сірководню, метилмеркаптану, інших сіркоорганічних сполук, а також для дезодорації повітря. Важливим є забезпечення необхідних для ефективного біоочищення викидів технологічних умов, ретельно приділяти увагу вибору оптимального якісного та кількісного складу мікроорганізмів біоплівки з урахуванням не тільки їх біохімічної активності, але й екологічних умов їх існування та потреби в біогенних речовинах відповідно до складу викидів.

Екологічні біотехнології переробки твердих відходів, а саме їх спрямованість і організація залежать безпосередньо від кількості та складу вихідного субстрату. Вони можуть бути утилізовані шляхом біотрансформації або біоконверсії. Біоконверсія целюлозолігнінових відходів при компостуванні – це довготривалий екзотермічний процес, що є синтезним і деструктивним одночасно. За температурним режимом компостування поділяють на чотири стадії: мезофільну ($t=20-40^{\circ}\text{C}$; $\text{pH}=5$; $\tau=1-2$ дні), термофільну ($t=40-60^{\circ}\text{C}$; $\text{pH}=8-9$; $\tau=2-3$ дні), охолодження ($t=40-20^{\circ}\text{C}$; $\text{pH}=9-8$; $\tau=1-3$ тижні), дозрівання ($t=20^{\circ}\text{C}$; $\text{pH}=8$; $\tau=2-4$ місяці).

Висока температура є необхідною умовою успішного компостування, але дуже висока температура інгібує ріст мікроорганізмів-деструкторів. Тому пороговою є температура 60°C , за якої нормально розвиваються біоагенти технології, але й відбувається загибель патогенних мікроорганізмів, гельмінтів, втрата насінням бур'янів здатності до схожості, тобто забезпечується санітарний ефект технології. Для реалізації біотехнології компостування важливим також є співвідношення C/N у субстраті (25/1–30/1), розмір частинок субстрату (10–50 мм), вологість (50–60 %), аерація (1–4 г O_2 на 1 г субстрату), вільний об'єм компосту (30 %), режим перемішування, розміри компостної купи або рядів, відсутність у субстраті токсичних речовин і важких металів.

За необхідності прискорення перебігу технологічного процесу у компост вносять ферментні препарати або ферментаційну біомасу. Якість цільового продукту біотехнології – компостне добриво – залежить від дотримання технологічних

параметрів компостування, використання надійних технічних систем та обладнання, складу вихідного субстрату, врахування економічних показників реалізації технологічного процесу тощо. Компостування дозволяє отримувати стабільне гуміфіковане біодобриво, внесення якого до ґрунтів збагачує його поживними речовинами, знижує рівень засолення, підвищує здатність утримувати вологу.

Методи іншої екологічної біотехнології, а саме біоремедіації, застосовують також і для біодетоксикації, біотрансформації, розкладу політантів, у тому числі ксенобіотиків, у водному та ґрунтовому середовищах, що базується на здатності певних мікробних угруповань природних екосистем або мікроорганізмів штучних біопрепаратів до катаболізму названих речовин. Особливої біохімічної активності мікроорганізми набувають протягом еволюційно зумовлених адаптаційних процесів. Здатність до метаболізму ксенобіотика за наявності у середовищі традиційного субстрату регулюється певними мутаційними змінами у генотипі біоагента, що сприяє успадкуванню набутої ферментативної здатності утилізувати новий субстрат.

У мікроорганізмів, що використовують як субстрат вуглеводні, наряду з спонтанно набутою ферментативною здатністю спостерігається явище кометаболізму, завдяки якому вони також здійснюють процеси біодетоксикації, біотрансформації, розкладу ксенобіотиків тощо. Біоремедіація забруднень у середовищі відбувається у декілька етапів, у яких задіяні відповідно хімічній будові політанта певні ферментні системи мікроорганізмів. До певного метаболічного етапу біодеградації ксенобіотиків здатні як угруповання мікроорганізмів, так і монокультури, що проявляють каталітичну активність щодо визначеного біохімічного шляху перетворення певної сполуки, а подальший процес біотрансформації здійснюють інші види мікроорганізмів, у яких є потужна ферментативна система для повної біодетоксикації шляхом мінералізації ксенобіотика.

Найбільш багатими на ензимні комплекси є представники групи грампозитивних мікроорганізмів *Actinomycetales*. Хімічні перетворення ксенобіотиків реалізуються у таких напрямках:

глибока біодеградація, катаболічна деструкція до простих, хімічно стійких у середовищі сполук, участь у біосинтезі інших сполук, послідовні реакції хімічних перетворень на декілька речовин. Найчастіше ксенобіотики піддаються біодеградації після перебігу реакцій підготовчого метаболізму, внаслідок яких за певних умов середовища (температура, рН, вологість, інсоляція, аерація, концентрація солей, наявність біогенів тощо) вони стають біодоступними для біоагенту.

Тому виділяють декілька основних стадій біотрансформації ксенобіотиків клітинами біоагентів: транспорт до клітини (дифузія, конвекція, розчинення); трансфер у середину клітини (активний, пасивний); периферійний і згодом центральний метаболізм (біодеструкція, мінералізація); екскреція метаболітів із клітин. При цьому наявність у біоагентів активних систем для виведення токсичних речовин і сполук важких металів зумовлюють стійкість цих мікроорганізмів до токсичної дії ксенобіотика, внаслідок чого вони зберігають життєздатність і реалізують здатність до трансформації полютантів. Проте частина ксенобіотиків у середовищі повністю не розкладається і накопичується у воді, ґрунті, рослинах, тканинах тварин-консументів. Тому актуальним завданням фахівців із біоремедіації є пошук, розробка нового складу асоціацій мікроорганізмів-редуцентів, генетична модифікація існуючих видів задля підвищення їх біокаталітичної спроможності щодо певних ксенобіотиків, інших антропогенних забруднень тощо.

Пріоритетні напрями досліджень в екологічній біотехнології. ПБ пропонує різноманітний асортимент технологічних рішень щодо ліквідації локальних забруднень водойм, ґрунтів, попередження забруднення атмосферного повітря та повітря виробничих зон, очищення стічних вод, переробки й утилізації твердих побутових, промислових і агрогенних відходів, упровадження екологічно безпечних технологій відновлення екосистем, реалізації потенціалу самоочищення середовищ від полютантів, підтримання екологічної рівноваги в екосистемах. Головним за пріоритетом завданням для фахівців з екологічної біотехнології є впровадження наступних технологічних рішень:

- широке впровадження природоподібних технологій, заснованих на механізмах інтенсифікації процесів самоочищення води (біологічних ставків, біоінженерних споруд, зокрема біоплато) за використанням штучно створених різноманітних гідроконсорцій (бактерій, ооміцетів, безхребетних, водоростей, макрофітів тощо);

- запровадження на спорудах біоочищення стічних вод стадії денітрифікації як обов'язкового етапу доочищення стоків задля зниження первинної продукції гідробіонтів і зменшення рівня евтрофування природних водойм;

- пошук нових і генетична модифікація існуючих C_4 -рослин для широкого використання як біоагентів біоремедіації на полігонах твердих побутових відходів, забруднених нафтою, нафтопродуктами, важкими металами й іншими ксенобіотиками едафотопів тощо;

- застосування під час метаногенеза у метантенках комбінацій вихідних субстратів різного складу для переробки широкого спектру органічних відходів та отримання оптимального за хімічним складом і теплотворною здатністю біогазу;

- удосконалення існуючого обладнання з біоочищення газоповітряних викидів із точки зору ресурсозбереження за умов виключення циркуляції води у пристроях, підвищення метаболічної активності біоагенту й ефективної його іммобілізації на інертному носії;

- максимальна механізація й автоматизація технологічного процесу компостування органічних відходів, широке запровадження компостування багатотоннажних твердих побутових відходів за умов їх селективного збирання задля запобігання забруднення кінцевого продукту біотехнології – добрива – сполуками важких металів і токсичними поллютантами;

- розробка та запровадження біопрепаратів досконалого складу для біоремедіації середовищ від хімічно стійких поллютантів, отримання генетично модифікованих видів мікроорганізмів з високою біокаталітичною активністю відносно стійких ксенобіотиків.

Подальший розвиток, удосконалення та реалізація екологічних біотехнологій набувають особливої актуальності у сучасних умовах зміни клімату, як наслідок – раптових забруднень складових довкілля техногенного й агрогенного походження. За статистикою за останні 20 років значно почастишали випадки техногенних катастроф, останніми роками особливо небезпечними стали надзвичайні ситуації природного характеру. Тому запровадження екологічно безпечних біотехнологій із збереження екосистем, екологізації технологічних процесів урбоєкосистем, відновлення порушених біогео і біогідроценозів із дотриманням заходів біобезпеки є принципово пріоритетним напрямком розвитку сучасної біотехнологічної галузі.

Контрольні питання

- 1** Назвіть біоагенти процесів біотрансформації поллютантів.
- 2** Наведіть приклади таксономічних й екологічних груп організмів, що забезпечують біотрансформацію ксенобіотиків.
- 3** Які екологічні біотехнології застосовують для охорони водного середовища?
- 4** Назвіть екологічні біотехнології, які застосовують для відновлення та раціональної експлуатації едафотопів.
- 5** Що є субстратами і цільовими продуктами для екологічних біотехнологій?
- 6** Перелічіть основні біоагенти екологічних біотехнологій.
- 7** Які існують біореактори для очищення стічних вод?
- 8** Назвіть основні функції макрофітів у гідроспородах біоочищення стічних вод.
- 9** Назвіть основні біохімічні процеси біоочищення стічних вод в аеротенках.
- 10** Які типи установок використовують для біологічного очищення газоповітряних відходів?
- 11** На які стадії поділяють технологічний процес компостування твердих відходів? Наведіть основні технологічні умови його реалізації.
- 12** Охарактеризуйте процес біоремедіація водного та ґрунтового середовищ.

13 Які фактори впливають на процес біотрансформації ксенобіотиків?

14 Яке значення має застосування екологічних біотехнологій для надання екосистемних послуг?

15 Назвіть пріоритетні напрямки біотехнічних досліджень з огляду сучасних екологічних викликів і перспектив розвитку екологічних біотехнологій.

Використані та рекомендовані інформаційні джерела

1 Загірняк М. В., Мальований М. С., Самешова Д., Козловська Т. Ф., Єлізаров М. А., Штрбова Е., Шлик С. В., Дігтяр С. В. Екологічна біотехнологія переробки синьо-зелених водоростей : монографія. Кременчук : ПП Щербатих О.В., 2017. 104 с.

2 Козловська Т. Ф. Никифоров В. В. Рослинний покрив як тест-об'єкт оцінки ступеня екологічного ризику забруднення атмосферного повітря прикар'єрних територій. *Вісник КрНУ*. 2011. Вип. 4 (69), ч. 1. С. 151–154.

3 Кухар В., Кузьмінський Є., Ігнатюк О., Голуб Н. Екобіотехнологія та біоенергетика: проблеми становлення і розвитку. *Вісник НАН України*. 2005. № 9. С. 3–18.

4 Пляцук Л. Д., Черниш Є. Ю. Екологічна біотехнологія: принципи створення біотехнологічних виробництв : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2018. 293 с.

5 Стольберг Ф. В. Ладженський В. Н., Спирін А. І. Біоплато – ефективна маловитратна екологія очищення стічних вод. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2003. №3. С. 32–34.

6 Черниш Є. Ю., Пляцук Л. Д. Проблематика створення ефективної біотехнологічної системи анаеробної переробки осадів промислових стоків. *Збірник наукових статей III Всеукраїнського з'їзду екологів за міжнародної участі (Екологія/Ecology – 2011)*. 2011. Т. 2. С. 49–51.

7 Швед О. В., Петріна Р. О., Комаровська-Порознявець О. З., Новіков В. П. Екологічна біотехнологія : навч. посіб. у 2 кн. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. Кн І. 424 с. Кн ІІ. 368 с.

8 Щеглова Н. С., Карпенко О. Я., Вільданова Р. І., Грабас К., Новіков В. П. Біосурфактанти – стимулятори нафтоокиснювальних мікроорганізмів. *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. 2008. № 622. С. 140–143.

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

10 Pasenko A. V., Nykyforova E. O. (2018). *Biotechnology of preparation and of the use of sediment of sewage as a fertilizer-meliorant*. Water Supply and Wastewater Disposal : Monografie (pp. 231-241). Lublin : Lublin University of Technology.

ЕНЕРГЕТИЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Загальна характеристика. У певному сенсі, якщо розглядати дрова як органічний енергоресурс рослинного походження, можна сказати, що біоенергетика супроводжує людство з моменту опанування вогнем. Також давно відомим процесом перетворення біомаси на енергію є метанове бродіння або біометаногенез, який Алессандро Вольта дослідив ще у 1776 році, встановивши наявність метану у болотяному газі. Вже у 1979 році одна сьома частина енергії, використовуваної у світі, була отримана з біомаси, що відповідало трьом млн. т нафти за добу. До 2010 року глобально встановлена біоенергетична потужність для виробництва електроенергії складала 35 ГВт, з яких 7 ГВт припадало на Сполучені Штати Америки.

Стрімкий розвиток технологій та їх екологізація стимулюють пошук нових джерел енергії. Серед напрямків альтернативної енергетики останнім часом усе більшого розвитку набуває енергетична біотехнологія, яка передбачає використання органічної речовини головним чином тваринного і рослинного походження в якості відновлювального джерела енергії. При цьому енергія може бути отримана як із органічних відходів, так і з «енергетичних» рослин. До останніх відносять:

- культури дерев, що швидко ростуть, та спеціальних одно- і багаторічних рослин з високим вмістом сухої маси для використання в якості твердого палива;

- цукро- і крохмалевмісні агрокультури для переробки на біоетанол і біобутанол, а також олійні культури для виробництва біодизелю;

- агрокультури, придатні для виробництва біогазу.

До енергетичних належать усі біотехнології, завдяки яким відбувається виробництво біопалива. Біологічним називають паливо із рослинної і тваринної сировини та продуктів життєдіяльності організмів або органічних промислових відходів. Розрізняють тверде (т.з. біопаливо I-ої генерації: дрова, брикети, паливні гранули, тріска, солома, лузга), газоподібне (біопаливо II-ої генерації: синтез-газ, біогаз, біоводень) і рідке (біопаливо III-ої генерації: біоетанол, біобутанол, біодизель тощо).

Біопаливо першої генерації (БП-I) (first generation biofuels). Як біопаливо першими почали використовувати традиційні сільськогосподарські культури з високим вмістом жирів, крохмалю й інших вуглеводів. Рослинні ліпіди (рідкі олії) добре піддаються перетворенню на біодизель. Рослинні моно- і полісахариди переробляються на біоетанол і біобутанол. Однак використання таких видів субстратів (сировини) виявилось вкрай незручним: крім витратного землекористування, виснаження ґрунтів і потреби в їх обробці, додаванні добрив та пестицидів, виникають проблеми із реалізацією відповідних харчових продуктів на ринку. Таку сировину відносять до першого покоління.

Біопаливо другої генерації (БП-II) (second generation biofuels)– різні види палива, отриманого методами піролізу біомаси, а також інші види палива (крім метанолу, етанолу, біодизеля), вироблені із джерел сировини «другого покоління», наприклад, лігніт-целюлозні сполуки, що залишаються після виділення придатної для використання у харчовій промисловості органічної сировини. Використання біомаси для виробництва біопалива другого покоління спрямовано на якнайменше використання земель, придатних для ведення сільського господарства. До інших джерел сировини другого покоління належать водорості (прості організми, пристосовані до росту в забрудненій або солоній воді), рижій (рослина, що росте в ротації з пшеницею та іншими зерновими культурами, ятрофа (рослина, яка росте на посушливих ґрунтах; вміст олії в ній складає від 27 до 40 % залежно від виду) тощо.

Швидкий піроліз дозволяє перетворити біомасу на рідину, яку легше і дешевше транспортувати, зберігати і використовувати. З рідини можна виготовляти автомобільне паливо або паливо для електростанцій. З біопалива другого покоління, що реалізуються на ринку, найбільш відомими є BioOil виробництва канадської компанії Dynamotive і SunDiesel німецької компанії CHOREN Industries GmbH. За оцінками Німецького Енергетичного Агентства (Deutsche Energie-Agentur GmbH) при існуючих технологіях виробництво палив шляхом піролізу біомаси може покрити 20 % потреб Німеччини в автомобільному паливі. До 2030 року, з розвитком технологій,

піроліз біомаси може забезпечити 35 % від споживання автомобільного палива. Собівартість виробництва складе менше 0,80 євро за літр палива. Окрім цього, була Створена «Піролізна мережа» (<http://www.pyne.co.uk/>) – дослідницька організація, що об'єднує науковців із 15 країн Європи, США і Канади.

Досить перспективним є також використання рідких продуктів піролізу деревини хвойних. Наприклад, суміш із 70 % живичного скипидару, 25 % метанолу і 5 % ацетону, тобто фракцій сухої перегонки смолистої деревини сосни, з успіхом може застосовуватися як заміна бензину марки А-80. При цьому для перегонки застосовуються відходи дереводобувних процесів. Вихід паливних фракцій складає до 100 кілограмів із 1 тонни відходів. Основні недоліки сировини другого покоління – задіяні земельні ресурси та відносно невисока фітопродукція з одиниці площі.

Біопаливо третьої генерації (БП-III) (third generation biofuels) – це група палива, отриманого із водоростей. Департамент Енергетики США з 1978 року по 1996 роки досліджував водорості з високим вмістом олії за програмою «Aquatic Species Program». Дослідники дійшли висновку, що Каліфорнія, Гаваї і Нью-Мексико придатні для промислового виробництва водоростей у відкритих ставках. Протягом 6 років водорості вирощувалися у ставках площею 1000 м². Ставок у Нью-Мексико показав високу ефективність захоплення CO₂ фітопланктоном. Врожайність склала більше 50 г водоростей з 1 м² за добу. 200 тисяч га ставків можуть виробляти паливо, достатнє для річного споживання 5 % автомобілів США. Причому ця площа є меншою за 0,1 % земель США, придатних для вирощування водоростей. Проте для названої БТ залишаються актуальними безліч проблем. Наприклад, водорості потребують високої температури, тому для їх культивування добре придатний пустельний клімат, але також потрібна певна температурна регуляція при нічних перепадах температур. Наприкінці 1990-х років технологія не потрапила в промислове виробництво через низьку вартість нафти.

Крім вирощування водоростей у відкритих ставках існують біотехнології вирощування водоростей у малих біореакторах, розташованих поблизу електростанцій. Скидне тепло ТЕС

здатне покрити до 77 % потреб у ньому, що потрібне для вирощування водоростей. Тому така технологія не вимагає спекотного пустельного клімату.

Біопаливо четвертої генерації (БП-IV) (fourth generation biofuels). Одним з найновітніших досягнень у сфері виробництва біопалива може бути визнано отримання біопалива «4-го покоління». У виробництві даного цільового продукту використовують спеціальний біоагент – генетично модифіковані мікроводорості, що протягом декількох циклів фотосинтеза декретують у середовищі алкани (основні компоненти моторного палива). Задля їх життєдіяльності також використовують вуглекислий газ. Подібні розробки в області альтернативної енергетики дозволять знизити до мінімуму споживання органічних ресурсів природи й мають підштовхнути людство до нового продуктивного напрямку енергоефективного розвитку.

Складові елементи енергетичної біотехнології. За субстрат усі енергетичні біотехнології (ЕБ) використовують органічну речовину переважно фіто- або зоогенного походження. Залежно від особливостей конкретної ЕБ, це можуть бути відходи агропромислового комплексу (гній великої рогатої худоби, птишиний послід, відходи рослинництва тощо), продукти роботи очисних споруд (активний мул), залишки підприємств харчової галузі (спиртова барда, молочна сироватка).

На особливу увагу заслуговують біоенергетичні технології, що передбачають використання як субстрату надлишкової органічної речовини, що продукується природними й антропогенними екосистемами у результаті дисбалансу в них. Оскільки порушення екологічної рівноваги викликане здебільшого нераціональною діяльністю людини й антропогенним пресингом на довкілля, то такі технології дозволяють вирішувати не лише енергетико-економічні питання, а й екологічні проблеми на місцевому та регіональному рівнях. До таких ЕБ слід віднести в першу чергу технології переробки на метан біомаси морських і прісноводних водоростей, а також органічної речовини ціанобактерій, вилученої із евтрофікованих водойм під час їх «цвітіння».

Типовими біооб'єктами, що використовують ЕБ є мікроорганізми, представники різноманітних таксономічних груп. Наприклад, дріжджі – досить поширена несистематична група сумчастих грибів, що забезпечують протікання процесів бродіння в анаеробних умовах. Окремо виділяються метаногенні мікроорганізми, що є облігатними анаеробами та продуцентами біометану в різноманітних технологіях виробництва біогазу.

До цільових продуктів ЕБ належать усі генерації біопалива: біоводень, біометан, біодизель, біобензин, біоспирти (біоетанол, біометанол і біобутанол) тощо. Досить перспективним може бути вдосконалення багатьох з них шляхом додавання як елементу технологічної лінії когенераційної установки, що дозволяє перетворювати теплову енергію на електричну.

Звичайно, кожен напрямок ЕБ потребує свого специфічного обладнання. Але типовим для них є наявність біореактора, в якому органічний субстрат завдяки біоагенту перетворюється на цільовий продукт. Традиційним прикладом біореактора, що використовується в біоенергетичному технологічному процесі виробництва біогазу, можна вважати метантенк або дайджестер. Для більшості процесів ЕБ чи не найголовнішою необхідною умовою є утворення анаеробного середовища, що забезпечує оптимальне протікання процесів бродіння, що лежать в основі майже всіх біоенергетичних технологій.

У нетрадиційній енергетиці особливе місце належить переробці біомаси (органічних, сільськогосподарських і побутових відходів) та незаражених органічних добрив метановим бродінням з отриманням біогазу, який містить близько 70 % метану. Особливо важливою є утилізація біомаси в сільському господарстві, де на різні технологічні потреби витрачається велика кількість палива та безперервно зростає потреба у високоякісних добривах. За різними підрахунками у світі зараз використовується чи розробляється близько 60 різновидів біометанових ЕБ.

Біомаса дозволяє отримати сьому частину світового об'єму палива, а за кількістю отриманої енергії посідає поряд із природним газом третє місце. З біомаси отримують учетверо більше енергії, ніж виробляє ядерна енергетика. Біогаз, який отримується з різного органічного матеріалу, відрізняється

своєю теплотворністю: газ побутових, сільськогосподарських відходів і газ стічних вод. Він має найбільшу теплотворність серед газів, які розташовані перед природним газом (ПГ). Біогаз з органічної біомаси, незалежно від походження, становить істотну конкуренцію за рахунок низької вартості біомаси.

Слід зазначити, що агропромисловий сектор України, виробляючи значні обсяги органічних відходів, має потенційні ресурси для виробництва біогазу, здатні замінити 2,6 млрд. м³ ПГ/рік. При подальшому розвитку сільського господарства та широкому використанні фітомаси (силос, трави) як субстрату цей потенціал може бути доведений за різними оцінками до 7,7 (10)–18 (11) млрд. м³/рік у перерахунку на ПГ. До 2030 року варто освоїти 51 % економічно доцільного ринку біогазових станцій. Загальне річне виробництво електричної енергії при цьому може становити до 2,5 млрд кВт/год. Потенціал використання тепла від міні-ТЕЦ становитиме 2,234 млн. Гкал. До 2030 року буде створено 5,2 тис. робочих місць, а викиди парникових газів скоротяться на 6 млн т/рік (табл. 15).

Паралельно з виробництвом електроенергії в Україні доцільно впроваджувати виробництво біометану для прямого заміщення природного газу або більш ефективної енергетичної утилізації біогазу у виробництві електроенергії та тепла. Загальний теоретично можливий потенціал для виробництва біометану становить близько 26,5 млрд Нм³/рік. Він, у свою чергу, складається із потенціалів для виробництва біометану із гною, а також потенціалу перелогових земель для вирощування енергетичних культур (кукурудзи, трави, зернових, цукрових буряків тощо), деревинної біомаси, соломи та побутових відходів (полігонного сміття, стічних вод) (табл. 16).

Таблиця 15 – Потенціал виробництва біогазу в окремих галузях АПК України

Вид діяльності	Кількість підприємств в Україні	Загальний обсяг основних відходів, тис. т	Потенціал виробництва біогазу із загального обсягу відходів і продукції, млн. м³/рік
Усього в Україні	11 667	39 727	9 543
Цукрові заводи	60	23 264	976
Пивзаводи	51	1 017	122
Спиртові заводи	58	2 705	117
Ферми ВРХ	5 079	15 432	386
Свиноферми	5 634	5 657	160
Птахофабрики	785	4 722	378
Силос кукурудзи			406

Таблиця 16 – Загальний потенціал різних видів біомаси в Україні

Біомаса	Потенціал, млрд. Нм³/рік
тваринні екскременти	2,4
перелогові землі для вирощування енергетичних культур	17,8
деревинна біомаса	2,5
солома	3,3
звалищний газ	0,35
осад очистки стічних вод (ООСВ)	0,15
Разом	26,5

Біологічний газ становить істотну конкуренцію природному за рахунок низької вартості субстрату. У виробництві біогазу беруть участь три види бактерій – гідролізні, кислото- та метаноутворюючі, що зумовлює поділ біометаногенезу на три відповідні стадії. Одним із різновидів біогазу є біоводень, де кінцевим продуктом життєдіяльності бактерій є не метан, а водень. Тому, перспективним напрямком сучасних ЕБ є використання мікроорганізмів, що мають фотосистеми та відповідний ферментативний апарат для продукування біоводню – виду альтернативного палива, що має суттєві переваги як енергетичного (висока теплотворна здатність порівняно з вуглеводами), так і екологічного характеру (субстратом для фотолізу є вода, а джерелом енергії – сонячне світло).

Біогаз – це суміш метану та вуглекислого газу, яка утворюється у процесі анаеробного бродіння у спеціальних біореакторах – метантанках, які збудовані та керуються задля забезпечення максимального виділення біометану. Енергія, яка утворена при спалюванні біогазу, може досягати від 60 до 90 % від тієї, яку має первісний матеріал. Другим і дуже важливим показником процесу переробки біомаси є її відходи, оскільки вони містять меншу кількість патогенних мікроорганізмів, ніж у первісному матеріалі.

Перелік органічних відходів, які біогазові технології використовують як субстрат, є дуже різноманітним:

- гній, птишиний послід, фекальні осади;
- зернова і мелясна післяспиртова барда, пивна дробина;
- відходи рибного і забійного цеху (кров, жир, кишки, канига);
- агрогенні відходи (солома, бадилля, буряни);
- відходи молокозаводів (сироватка та ін.);
- відходи виробництва біодизелю (технічний гліцерин від виробництва біодизелю із ріпаку);
- побутові відходи та відходи очисних споруд;
- відходи від виробництва соків (жом фруктовий, ягідний, зокрема виноградний, овочевий, зокрема буряковий);
- відходи виробництва крохмалю і патоки (мезга і сироп);
- відходи переробки картоплі, виробництва чіпсів (ошурки, шкурки, гнилі бульби);
- кавова пульпа;
- відходи лісопереробної промисловості;
- листовий опад та газонна трава;
- морські та прісноводні водорості та макрофіти.

Крім відходів, біогаз можна виробляти зі спеціально вирощених енергетичних культур, наприклад, із силосної кукурудзи або сільфі, міскантусу та ін. Вихід газу може сягати до 300 м³/т. В умовах України біометан можна виробляти трьома найбільш рентабельними способами:

1 Мікробіологічна ферментація органічного матеріалу з низьким вмістом лігноцелюлозних комплексів, в основному із сировини та відходів аграрно-промислового комплексу, органічної фракції твердих побутових відходів, стічних вод та осадів у контрольованих біореакторах з отриманням біогазу та наступного його очищення від домішок із підвищенням вмісту метану та доведенням до якості природного газу.

2 Збір біогазу на ПТПВ із наступним його очищенням від домішок і доведенням до якості природного газу.

3 Газифікація біомаси (із високим вмістом лігноцелюлозних комплексів, переважно деревини), з отриманням синтез-газу (суміш водню, оксиду вуглецю та метану) із подальшою його

метанізацією, очищенням і доведенням до якості природного газу.

Технологія газифікації та метанізації знаходиться на стадії досліджень і пілотних проектів. Залежно від виду сировини та технології, що застосовується, склад біогазу може значно відрізнятися, що багато в чому визначає технологію його очищення при виробництві біометану (табл. 17).

Таблиця 17 – Склад і властивості біогазу з різних джерел

Параметр	Одиниця вимірювання	Біогаз із ПТВП	Біогаз із гною
нижча теплотворна здатність	МДж/нм ³	16	23
	кВт-год/нм ³	4,4	6,5
	МДж/кг	12,3	20,2
об'ємна вага	кг/нм ³	1,3	1,2
число Уобба	МДж/нм ³	18	27
метанове число	–	>130	>135
метан	об. %	45	63
метан, варіація	об. %	35–65	53–70
вищі гідрокарбонати	об. %	0	0
гідроген	об. %	0–3	0
монооксид карбону	об. %	0	0
двооксид карбону	об. %	40	47
двооксид карбону, варіація	об. %	15–50	30–47
нітроген	об. %	15	0,2
нітроген, варіація	об. %	5–10	–
оксиген	об. %	1	0
оксиген, варіація	об. %	0–5	–
сірководень	ppm	<100	<1000
сірководень, варіація	ppm	0–100	0–10000
амоніак	ppm	5	<100
загальний хлор (у перерахунку на хлор)	мг/нм ³	20–200	0–5

Важливою відмінністю біогазу, зібраного на ПТПВ, є ймовірність підвищеного вмісту в ньому нітрогену, кисню, сполук сульфуру, хлору, силосанів. У свою чергу, біогаз із відходів та сировини агропромислового комплексу відрізняється підвищеним умістом сірководню та аміаку, що є агресивними для металевих конструкцій сполуками, але силосани в ньому практично відсутні.

Пріоритетні напрями досліджень в енергетичній біотехнології. Згідно з Програмою державної підтримки розвитку нетрадиційних і відновних джерел енергії до 2030 року сумарний обсяг заміни традиційних теплоенергоресурсів на альтернативні має становити 10 % всього енергоспоживання в Україні. Однак у Європі до 2030 року планують вийти вже на показник у 50 %. Перевагу віддають біоенергетиці, виробництву синтетичного газу з відходів, біопалива та навіть використанню шахтного метану.

Велике значення у світі приділяється застосуванню когенераційних технологій, тобто комбінованому виробництву електричної та теплової енергії. За кордоном когенераційні потужності становлять: у країнах ЄС – до 10 %; у Данії – до 50 % від загальних. У США планується до 2030 р. наростити когенераційні потужності до 200 тис. МВт із 700 тис. загальних.

В Україні проблемами реконструкції і модернізації малої енергетики активно займається колектив Інституту технічної теплофізики (ІТТФ) НАНУ (акад. А.А. Долинський, член-кор. В.М. Клименко та ін.). Група організацій у тісному співробітництві з ІТТФ розробила комплекс заходів щодо підвищення ефективності роботи котелень муніципальної енергетики шляхом модернізації малих, середніх та великих котлів з підвищенням коефіцієнта використання палива до 80–90 %. Йдеться насамперед про сотні тисяч котлів, 30 % із яких виробили свій ресурс. Упровадженням цих заходів можна значно знизити неефективні витрати палива та енергії. Запропоновані технології й устаткування дадуть змогу модернізувати практично всі котли різних модифікацій, які використовуються в Україні.

Відповідно до Енергетичної стратегії України на період до 2030 року, що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів

України 2006 р., загальний річний технічно досяжний енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України в перерахунку на умовне паливо становить близько 79 млн. т у.п., зокрема 63 млн. т у.п. – за рахунок освоєння альтернативних джерел енергії, 16 млн. т у.п. – за рахунок використання позабалансових (вторинних) джерел енергії.

Виробництво газоподібних і рідких видів палива із біомаси – один з ефективних способів її утилізації та одержання енергії з відновлюваних джерел, що вкрай важливо для країн, залежних від імпорту первинних енергоносіїв. Це повною мірою стосується й України, забезпеченість якої власними енергоресурсами становить лише 20–25 %, а стан довкілля потребує нагального покращання.

Наукові і аналітичні дослідження останнього десятиліття показують, що найефективнішими і найобнадійливішими для великомасштабного перетворення сонячної енергії є методи, засновані на використанні біосистем. Серед цих методів – достатньо добре освоєні ЕБ перетворення біомаси на енергоносії шляхом спиртового та метанового бродиння, а також принципово нові розробки, орієнтовані на модифікацію і підвищення ефективності самого процесу фотосинтезу, створення біопаливних елементів, отримання фотоводню, біоелектрокаталіз тощо.

Отримання біопалива за схемою «біомаса-біотехнологія» ґрунтується на поєднанні фотосинтезу, метаногенезу відходів рослинництва, тваринництва, кормовиробництва і ферментації нетрадиційних субстратів з використанням тих або інших біоагентів. Зокрема, фітомаса Землі становить понад 1800 млрд. т сухої речовини, утвореної в процесах фотосинтезу природних сільва- і гербаценозів, а також агроценозів. Істотна частина енергетичного потенціалу фітомаси споживається людиною. Для сухої речовини простим способом перетворення фітомаси на енергію є згорання, у процесі якого виділяється тепло, перетворюване потім на механічну або електричну енергію. Сира фітомаса також може бути перетворена на енергію шляхом біометаногенезу або спиртового бродиння.

До пріоритетних напрямів сучасної ЕБ також належить біоконверсія енергії – це новітня біотехнологія, що об'єднує

фізичну хімію, біохімію та біоенергетику, і подає спосіб трансформації одних форм енергій в інші на основі біопринципів та біоматеріалів. Наприклад, біологічні системи можуть трансформувати сонячну енергію за декількома механізмами, а саме завдяки: фотосинтезу, біофотолізу води; біоелектролізу, уловлюванню біоімпульсу тощо.

Прикладом пріоритетних досліджень у галузі біоенергетики є розробка науковців, які є авторами даного підручника, в основу якої покладено інноваційну комплексну (екологічну, енергетичну й аграрну) безвідходну БТ, що не має світових аналогів. Розробка передбачає отримання й апробацію нових цільових продуктів (біогазу, ліпідів для біодизеля, мікроцистину та інших біологічно-активних речовин, органо-мінерального добрива для використання в АПК), а також проектування біорефайнера, упровадження якого в національну економіку як домінанти біоекономічного кластеру Середнього Придніпров'я спрямоване на:

- забезпечення сталого еколого-економічного розвитку регіону;

- застосування екологічно безпечного, без суттєвих енерговитрат, способу збору гідробіонтів із водосховищ дніпровського каскаду та використання їх біомаси як безкоштовної сировини (субстрату для ферментації) для БТ;

- упровадження виробництва дешевого біогазу і трансформації його в електричну та інші види енергії (під час збору сестоно в плямах «цвітіння» на акваторії лише Кременчуцького водосховища площею 2250 км² у кількості до 50 кг/м³ із об'єму 828 млн. м³ води мілководь (глибина до 2 м; 18,4 % від площі водойми) його біомаса становитиме $\approx 4.14 \cdot 10^7$ т за вегетаційний період (120 діб)); піддавши цю біомасу ферментації в процесі метаногенезу, можна отримати до 28,98 млн. м³ біогазу ($\approx 18,837$ млн. м³ метану), що еквівалентно 20 тис. т нафти або 17 тис. т дизельного палива);

- оздоровлення довкілля і населення завдяки поліпшенню якості природної, у тому числі питної води, а також відновлення порушеної структурно-функціональної організації літоральних екосистем водосховищ дніпровського каскаду (газовий баланс,

гідрохімічний режим, зниження токсичності води, нерест іхтіофауни та ін.);

- виконання умов Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН зі змін клімату (Ріо-де-Жанейро, 1992);
- в) приєднання до Директиви 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23.10.2000.

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

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

Контрольні питання

- 1 Які стадії виділяють у процесі біометаногенезу?
- 2 У біотехнології виробництва якого цільового продукту використовується вид *Halobacterium halobium*?
- 3 Які умови повинні бути досягнуті в біореакторі для виробництва біометану?
- 4 Які субстрати можуть використовуватися для виробництва біоетанолу?
- 5 Що таке біосоляр і для чого він використовується?
- 6 В яких енергетичних біотехнологіях за біоагент використовують дріжджі?

- 7 Яким чином можна отримувати біоелектроенергію?
- 8 Що таке когенераційна установка?
- 9 Які основні складові компоненти біогазової суміші?
- 10 Для чого потрібно світло при виробництві біоводню?
- 11 Що є субстратом для отримання біоводню?
- 12 Чому з промислових відходів чи не найбільший інтерес для біоенергетичної переробки становлять відходи харчових виробництв?
- 13 Від чого залежить час, за який відбувається процес зброджування органічного субстрату в метантенку?
- 14 Які домішки у біогазовій суміші завдають найбільшої шкоди обладнанню?
- 15 В яких температурних режимах протікає процес бродіння?

Використані та рекомендовані інформаційні джерела

- 1 Гелетуха Г. Перспективи біогазу в Україні. URL: <http://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399>
- 2 Герасименко В. Г., Герасименко М. О., Цвіліховський М. І. Біотехнологія : підручник / за заг. ред. В. Г. Герасименка. Київ: Інкос, 2006. 647 с.
- 3 Загірняк М. В., Мальований М. С., Самешова Д., Козловська Т. Ф., Єлізаров М. А., Штрбова Е., Шлик С. В., Дігтяр С. В. Екологічна біотехнологія переробки синьо-зелених водоростей : монографія. Кременчук : ПП Щербатих О. В. 2017. 104 с.
- 4 Захаренко М. О., Яремчук О. С., Шевченко Л. В., Поляковський В. М., Михальська В. М., Малюга Л. В., Іванова О. В. Гігієна та біоферментація побічних продуктів тваринництва : монографія. Київ: Центр учбової літератури. 2017. 536 с.
- 5 Носенко Ю. Біогаз – реальна альтернатива природному газу? URL: <http://www.agro-business.com.ua/ideii-i-trendy/3701-biogaz-realna-alternatyva-prirodnomu-gazu.html>
- 6 Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року : розпорядження КМУ України № 902-р. 01.10.2014 р.

7 Спосіб отримання біогазу з синьозелених водоростей: пат. 24106 Україна. № 200611928; заявл. 13.11.2006; опубл. 25.06.2007, Бюл. № 9.

8 Спосіб виробництва метану та добрива. пат. 104743 Україна. № 201509746; заявл. 08.10.2015; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 3.

9 Швед О. В., Петріна Р. О., Комаровська-Прохнявець О. З., Новіков В. П. Екологічна біотехнологія : навч. посіб. у двох книгах. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 424 с.

10 Urban, F., Mitchell, T. (2011). Climate change, disasters and electricity generation Archived 2012-09-20 at the Wayback Machine. London: Overseas Development Institute and Institute of Development Studies.

ГІДРОЛОГІЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Загальна характеристика. Традиційно до аква- або гідрологічної біотехнології (АБ) відносять технології, що напряму пов'язані з водним середовищем і використовують за біоагенти представників різних типів гідробіонтів (*Mollusca*, *Arthropoda*, *Chordata* тощо). Ця галузь сучасної БТ включає також теоретичні знання і наукові дослідження. Найпоширенішою гідрологічною БТ є аквакультура, основана на технологіях вирощування водних організмів, переважно їстівних. Цей термін виник у 1970-х роках у зв'язку з початком промислового виробництва цінних видів риб, які легко вирощувати у штучних умовах.

Відповідно до Закону України «Про аквакультуру» аквакультура (рибництво) – це сільськогосподарська діяльність із штучного розведення, утримання та вирощування об'єктів аквакультури у повністю або частково контрольованих умовах для одержання сільськогосподарської продукції (продукції аквакультури) та її реалізації, виробництва кормів, відтворення біоресурсів, ведення селекційно-плеїнної роботи, інтродукції, переселення, акліматизації та реакліматизації гідробіонтів, поповнення запасів водних біоресурсів, збереження їх біорізноманіття, а також надання рекреаційних послуг.

Звичайно, у такому розумінні аквакультуру як рибництво логічним було б розглядати як одну із сільськогосподарських біотехнологій. Але у нашому підручнику гідрологічну біотехнологію відокремлено як самостійну галузь сучасної БТ через декілька причин. По-перше, сучасна АТ не обмежується лише вирощуванням прісноводних промислових видів риб. Адже біопродуктивність морських екосистем набагато більша порівняно з прісноводними. По-друге, йдеться про сучасні БТ розведення і вирощування не лише риби, але й багатьох видів інших морських гідробіонтів (марикультура): макроводоростей (головним чином представників відділів *Pheophyta* і *Rhodophyta*), безхребетних тварин (переважно видів із класів *Holothuroidea*, *Cephalopoda*, *Bivalvia*, *Crustacea*). При цьому біоагентами марикультури є не обов'язково їстівні види (наприклад, певні види червоних водоростей культивують для

виробництва з них цінного полісахариду – агар-агару, а певні види двостулкових моллюсків – задля вирощування перлин).

По-третє, у більш широкому розумінні, навіть сучасна прісноводна аквакультура спрямована на максимально можливе отримання харчових і кормових протеїнів, ліпідів, полісахаридів, вітамінів та інших БАР із одиниці об'єму води певної гідроекосистеми (наприклад, біоставків) шляхом використання різноманітних БТ. При цьому, обов'язковим є розрахунок біопродуктивності кожного харчового рівня проєктованої аквакультури (нижчих і вищих водних рослин, нижчих і вищих ракоподібних, водних і наземних моллюсків, риб і гідрофільних птахів тощо) залежно від трофічних і енергетичних субвенцій у дану екосистему.

Серед важливих гідробіотехнологічних заходів особливе місце посідає інтродукція об'єктів аквакультури, яка полягає у вселенні гідробіонтів (інтродуцентів) у водні об'єкти (їх частини), що розташовані за межами їх природного ареалу, з метою забезпечення збільшення обсягів продукції аквакультури та здійснення рибогосподарської меліорації за відсутності природного відтворення вселених організмів у нових місцях перебування.

Суворі екологічні обмеження, спрямовані на мінімізацію забруднень від рибоводних заводів у країнах Європи стимулюють швидкий технологічний розвиток установок замкнутого водопостачання. Крім того, рециркуляція води забезпечує більш високе і стабільне виробництво продукції аквакультури з меншим ризиком виникнення захворювань, а також кращими можливостями для контролю параметрів, що впливають на ріст, в інкубаційних цехах.

Якщо під час штучного розведення, утримання та вирощування об'єктів аквакультури використовуються рибницькі та плавучі садки, рибницькі басейни, інші технологічні пристрої, у тому числі застосовуються установки замкнутого водопостачання, то така аквакультура вважається індустріальною. Знання теоретичних основ аквакультури дозволяють розуміти можливості відтворення рибних запасів у сучасних екологічних умовах, коли відбулася глобальна реконструкція стоку річок, побудовані гідровузли, створені

величезні водосховища. Всі ці зміни вимагають здійснення широкого комплексу заходів щодо відтворення рибних запасів, що базуються на теоріях рибиництва.

Складові елементи гідрологічної біотехнології. Цільовим продуктом сучасної гідробіотехнології здебільшого є біомаса гідробіонтів (водоростей, риби, молюсків тощо), що вирощуються в умовах аквакультури, а також деякі інші речовини. Біоагентами виступають головним чином самі гідробіонти, а субстратом вода (прісна або солоня) або спеціальне живильне середовище. До цільових продуктів АБ відповідно до міжнародної класифікації належать:

- гідробіонти, отримані різними методами штучного культивування (*ex vivo culture of hydrobionts*), зокрема, гідробіонти, отримані за допомогою установки замкнутого водопостачання;

- нові (біотехнологічні) породи гідробіонтів (*new breed of hydrobionts*), отримані з використанням сучасних постгеномних (методів селекції, заснованих на застосуванні молекулярних маркерів) і біотехнологічних (генетичної інженерії) методів, останні прирівнюються до ГМО;

- продукти, отримані із гідробіонтів (*products from hydrobiont*) – біотехнологічна продукція, отримана з нехарчових відходів переробки гідробіонтів, у тому числі із біомаси водоростей;

- комбікорми (для аквакультури) (*feed compound*): Спеціалізовані за складом і концентрації комбікорми для гідробіонтів.

- комбікормові добавки (для аквакультури) (*feed supplements*): Спеціалізовані кормові добавки для гідробіонтів;

- діагностикуми (збудники хвороб гідробіонтів) (*diagnosticum*) – набір реактивів, матеріалів й еталонів, необхідних для проведення молекулярної діагностики збудників хвороб гідробіонтів.

Задля досягнення максимального економічного ефекту в умовах аквакультури широко застосовуються засоби інтенсифікації – технологічні процеси, що включають штучну годівлю об'єктів аквакультури, спеціальну підготовку рибогосподарських водних об'єктів (їх частин),

рибогосподарських технологічних водойм з удобренням їх органічними і мінеральними речовинами з періодичним спуском води для рибогосподарських потреб, та інші контрольовані технологічні процеси, які застосовуються окремо (вибірково) або комплексно.

Існують різні систем виробництва: на суші – ставки, у морі – спеціальні сітки, насамперед для лосося, тріски та середземноморських видів риби. В умовах солонowodних водойм впроваджується марикультура (морська аквакультура) – діяльність з розведення, утримання та вирощування об'єктів аквакультури у внутрішніх морських водах, територіальному морі та виключній (морській) економічній зоні України із застосуванням плавучих садків, інших технологічних пристроїв з використанням морської води. Об'єктами культивування переважно є ті організми, що складають природну кормову базу риб у природних водоймах. З великої кількості гідробіонтів вибирають види, які мають велику плодючість, швидкий темп росту, високу харчову цінність, є невибагливими до чинників середовища та здатні існувати за високої щільності.

Сучасні напрямки гідрологічної біотехнології. Порівняно обмежені можливості самовідтворення біоресурсів Світового океану змушують шукати нові підходи, які забезпечували б надходження рибної продукції на світовий ринок. Головний з них, звичайно, розвиток мари- й аквакультури. Сутність аквакультури (від лат. *aqua* – вода і *cultura* – догляд) полягає у розведенні та вирощуванні у контрольованих людиною умовах риб, молюсків, ракоподібних, голкошкірих, водоростей, що має для неї економічний, а іноді й естетичний (штучні перли, акваріумні риби та рослини тощо) інтерес. Іншими словами, йдеться про доцільне штучне відтворення риби та інших гідробіонтів за допомогою їх перенесення, акліматизації, створення підводних «ферм» і «плантацій». За організаційно-технологічними показниками аквакультура може здійснюватися за інтенсивною, напівінтенсивною та екстенсивною формами.

На даний час виділяють наступні напрями сучасної аквакультури відповідно до мети, що висувається на перший план:

- отримання товарної продукції аквакультури та її подальша реалізація (товарна аквакультура);
- штучне розведення (відтворення), вирощування водних біоресурсів тощо;
- надання рекреаційних послуг.

Основними напрямками отримання товарної аквакультури може бути: випасна, ставкова й індустріальна аквакультура. *Випасна аквакультура* – діяльність з екстенсивного вирощування об'єктів аквакультури шляхом вселення різновікових груп гідробіонтів, одержаних в умовах аквакультури, в рибогосподарські водні об'єкти (їх частини) для підвищення ефективності використання їх біопродукційного потенціалу. *Ставкова аквакультура* – це діяльність з розведення, утримання та вирощування об'єктів аквакультури з використанням рибницьких ставків, штучно створених водойм (руслів, балочних або ставків із греблею), відокремлених від материнських водних об'єктів (їх частин), лиманів, обводнених торфових кар'єрів тощо.

Індустріальна аквакультура є найбільш перспективною технологією аквакультури, оскільки передбачає діяльність із штучного розведення, утримання та вирощування об'єктів аквакультури з використанням рибницьких і плавучих садків, рибницьких басейнів, інших технологічних пристроїв, у тому числі із застосуванням установок замкнутого водопостачання (recirculating aquaculture system). Останні представляють собою інноваційний комплекс обладнання для індустріального розведення гідробіонтів (головним чином, риби) із застосуванням сучасних біотехнологічних методів.

Для здійснення ставкової аквакультури використовують рибогосподарські технологічні водойми, руслові, балочні та рибницькі ставки з греблею, штучно відокремлені від материнських водних об'єктів (їх частин), обводнені торфові кар'єри в умовах рибницьких господарств (риборозплідники, нерестово-вирощувальні, товарні, повносистемні господарства). Ставкова та індустріальна аквакультура передбачає вирощування об'єктів аквакультури у штучно створених, повністю або частково контрольованих умовах з використанням напівінтенсивної та інтенсивної форм аквакультури.

Для здійснення випасної аквакультури використовують рибогосподарські водні об'єкти (їх частини), рибогосподарські технологічні водойми при цьому не використовують. Випасна аквакультура здійснюється за екстенсивною формою за відсутності негативного впливу на навколишнє природне середовище. Для здійснення індустріальної аквакультури, у тому числі марикультури, використовуються рибницькі басейни, рибницькі садки, акваріуми, а також частини водних об'єктів із застосуванням спеціальних технологічних пристроїв: плавучих садків, колекторів для молюсків, установок замкненого водопостачання тощо.

Штучне розведення (відтворення), вирощування об'єктів аквакультури та їх використання, пов'язане з подальшим вселенням у водні об'єкти (їх частини), здійснюють суб'єкти аквакультури за рахунок їх власних коштів, коштів Державного бюджету України та місцевих бюджетів відповідно до затвердженого центральним органом виконавчої влади кошторисом, що забезпечує формування державної політики у сфері рибного господарства. Об'єкти аквакультури, вселені у водні об'єкти (їх частини) у результаті їх штучного розведення (відтворення) та вирощування з метою відновлення природних популяцій, поповнення запасів водних біоресурсів і збереження їх біорізноманіття, належать до державної власності.

Для надання рекреаційних послуг у сфері аквакультури задля оздоровлення, відпочинку, екологічного виховання населення суб'єкт аквакультури визначає місця у межах наданих у користування рибогосподарських водних об'єктів (їх частин), рибогосподарських технологічних водойм тощо. Рекреаційні послуги у сфері аквакультури можуть надаватися суб'єктом аквакультури на платній або безоплатній основі.

Одним з важливих завдань сучасної аквакультури є одержання планової кількості високої якості рибопосадкового матеріалу об'єктів культивування. Успіх вирощування повноцінної молоді пов'язаний з низкою умов і насамперед з повноцінною годівлею, тобто пошуком якісного і вигідного корму. Саме такими є живі корми, які являють собою сукупність рослинних та тваринних гідробіонтів. Личинки риб надзвичайно чутливі до якості корму.

У перші тижні життя молоді риб максимально задовольняють їх харчові вимоги живі корми (найпростіші, коловертки, ракоподібні). Вони характеризуються високою харчовою якістю, високим вмістом білка, жиру, незамінних амінокислот, вітамінів, ферментів та інших компонентів. Створення таких повноцінних штучних кормів майже неможливе. Також живий корм корисний і для дорослої риби у вигляді домішок до штучного корму. Для використання в якості корму для дорослої риби культивують моллюсків і червів.

Масовий відлов живого корму в природних водоймах не дозволяє забезпечити стабільне отримання живих кормів. Основний спосіб масового гарантованого отримання кормових організмів – це штучне розведення з використанням методів інкубації та культивування. Для цього необхідно знати їх біологічні та фізіологічні особливості, що надасть можливість створити оптимальні умови для їх розведення та отримання максимальної продукції.

Державна політика у сфері аквакультури здійснюється шляхом:

- науково обґрунтованого поєднання екологічних, економічних та соціальних інтересів з метою забезпечення сталого розвитку аквакультури;

- врахування природних і соціально-економічних особливостей рибогосподарських водних об'єктів та прилеглих до них територій при плануванні і створенні рибницьких господарств щодо здійснення аквакультури;

- здійснення оцінки впливу на довкілля у сфері аквакультури в порядку, встановленому законом;

- попередження антропогенного забруднення, що є наслідком господарської або іншої діяльності у сфері аквакультури;

- здійснення аквакультури способами, що не допускають заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу, зменшення запасів водних біоресурсів, їх кількісного та якісного складу у водних об'єктах (їх частинах);

- підвищення конкурентоспроможності, поліпшення якості та розширення асортименту продукції аквакультури

вітчизняного виробництва, поліпшення умов забезпечення населення такою продукцією;

- сприяння розвитку аквакультури, захисту інтересів вітчизняних суб'єктів аквакультури та національного ринку продукції аквакультури;

- підвищення ефективності використання наявного фонду рибогосподарських водних об'єктів (їх частин) для потреб розвитку аквакультури;

- сприяння створенню рівних умов конкуренції для суб'єктів аквакультури, сприятливих умов для розвитку малого та середнього бізнесу у сфері аквакультури;

- сприяння діяльності у сфері аквакультури, спрямованій на збільшення запасів та збереження біорізноманіття водних біоресурсів у водних об'єктах (їх частинах);

- удосконалення нормативно-правової бази рибогосподарської діяльності для забезпечення раціонального використання об'єктів аквакультури;

- науково-технічного забезпечення розвитку аквакультури;

- забезпечення ефективного функціонування системи підготовки фахівців у сфері аквакультури;

- розвитку міжнародного науково-технічного співробітництва у сфері аквакультури.

До інших сучасних напрямків, що зумовлюють прогресивний розвиток АБ у наш час, можна віднести: генетичну паспортизацію гідробіонтів (genotyping), яка забезпечує процедуру ідентифікації та сертифікації гідробіонтів; криоконсервацію гідробіонтів (cryopreservation), спрямовану на тривале зберігання і реалізацію біологічного потенціалу гідробіонтів у кріобанках; молекулярну діагностику збудників захворювань гідробіонтів (molecular diagnostic), основу на молекулярно-біологічних методах, а також молекулярну селекцію гідробіонтів (molecular breeding), спрямовану на розв'язання селекційно-генетичних проблем підвищення продуктивності гідробіонтів і їх захист від різних біотичних і абіотичних стресових факторів.

Пріоритетні напрями досліджень у гідрологічній біотехнології. Головним перспективним напрямком гідробіотехнології залишається вирощування морепродуктів в

умовах аквакультури задля задоволення потреб насамперед харчової промисловості. Україна має значний потенціал і можливість для створення значної кількості невеликих рибницьких господарств. Є також значний ресурс розвитку аквакультурних господарств, які надають рекреаційні послуги. За оцінкою спеціалістів фермерські (сімейні) рибні господарства – це майбутнє українського рибництва, тому створення умов для розвитку цього напрямку аквакультури та марикультури є першочерговим завданням.

Для розв'язання вказаних вище завдань Державним агентством рибного господарства України створено Бюджетну установу «Методично-технологічний центр з аквакультури», який надає послуги з нормативно-правового забезпечення розвитку галузі, управління, державного регулювання, організації виробництва та реалізації риби та рибної продукції, надає консультативні та консалтингові послуги, допомагає у становленні малого та середнього бізнесу в аквакультурі. Крім центру допомоги у налагодженні рибного бізнесу в Україні можуть надати Інститут рибного господарства України Національної академії аграрних наук (м. Київ), Інститут рибного господарства та екології моря (м. Бердянськ), Іхтіопатологічна лабораторія (м. Київ), Українська виробничо-акліматизаційна станція (м. Київ).

Одним з економічно привабливих напрямків АБ може бути штучне вирощування молюсків задля отримання перлів. Прісноводні перли здавна добували в Україні, Шотландії, Німеччині, Китаї та в країнах Північної Америки. З руської доби було відомо понад 150 перлиноносних річок, і промисел перлів існував здавна. У стародавніх рукописах згадується видобуток перлів і в Київській Русі, велика частина яких скуповувалася в місцях їх вилову й перепродавалася норвезькими купцями в Європі.

Ще одним перспективним напрямком можуть бути гідробіотехнологічні дослідження з метою відновлення екологічного стану водних об'єктів, їх продуктивності, рівня сапробності й евтрофікації, фізико-хімічних чинників водного середовища тощо. Антропогенна евтрофікація штучних та природних водойм у Європі погіршує якість питної води, від

якої залежить тривалість життя людини. В екосистемах каскаду дніпровських водосховищ результатом евтрофікації є «цвітіння» води, зумовлене масовим розвитком ціанобактерій.

Разом з тим сучасна біоекономіка передбачає розбудову мережі біокластерів, основною структурною одиницею яких є біорефайнери – підприємства, що здійснюють конверсію біомаси на паливо, енергію та хімічні речовини у повному циклі. Біорефайнер, що працює на біомасі ціанобактерій, стане енергопластичним ядром інфраструктури біокластеру в умовах Середнього Придніпров'я (газогенератор, установка зі скраплення біогазу, паливний котел на біомасі, когенераційна установка, підприємства з виробництва мікроцистину, фікоціаніну, амінокислотного гідролізату, переробки дигестату на біодобриво, тепличний комплекс тощо).

Результати наукових досліджень у цьому пріоритетному напрямку дозволять розв'язати низку соціальних (поліпшення якості питної води, забезпечення робочими місцями тощо), економічних (забезпечення ринку цільовими продуктами біорефайнеру), природоохоронних (реабілітація екосистем водосховищ, раціональне використання природних ресурсів тощо) проблем. Переробку біомаси ціанобактерій на різні цільові продукти (біопаливо, добрива, біологічно активні речовини) за використанням різноманітних методів та способів (біометаногенез, спиртове бродіння, ультразвукова і гідродинамічна кавітація, лазерне опромінення, екстракція тощо) покладено в основу інноваційної промислової біотехнології.

Багатообіцяючим може виявитися поєднання енергетичної та гідрологічної біотехнології, оскільки органічна речовина деяких видів гідробіонтів, що продукується в умовах штучного живильного середовища, може давати суттєво більший вихід біопалива, ніж при безпосередньому відборі первинної біомаси у природі. Її продукція в умовах аквакультури відбувається значно швидше, а також з'являються умови для штучного коригування біохімічного складу органіки. За використанням сонячної енергії у південних районах України просто неба можна вирощувати водорості впродовж 7–9 місяців. При застосуванні органічних залишків і відходів тваринницьких і

птахівницьких ферм, а також побутових і промислових стічних вод можна знизити собівартість водоростевої продукції на 60–80 %.

Останніми роками виділено ряд перспективних штамів, що дають високі обсяги біомаси і добре ростуть на мінеральних середовищах з добавкою витяжки з гною і комунально-побутових стоків: *Chlorella vulgaris* УА-1-26, *Scenedesmus obliquus* УА-1-66 та УА-2-7а. Їх продуктивність у відкритих установках сягає 8–28 г/м² сухої маси за добу. Ці штами мають досить велику стійкість проти несприятливих умов середовища і можуть бути використані в інших кліматичних умовах. У відкритих установках отримано також культури *Chlorella sp.*, *Ch. pyrenoidosa*, *Ch. obliquus* УА-2-6. За 5–6 діб товщина суспензії досягає 10–15 см, густина – 40–60 млн. кл./мл. При використанні природних джерел із сірководневою, субтермальною, сульфатохлоридно-натрієво-кальцієвою водою на шосту–восьму добу густина культури становить 90 млн. кл./мл.

У водних розчинах викидних газів котелень, які використовують як джерело тепла і вуглекислого газу, вирощують водорості *Chlorella vulgaris* – 157 і *Scenedesmus obliquus* УА-2-6. Початкова густина клітин становить 1,5–2 млн. кл./мл, температура газів, що надходять, 20–30°С, концентрація СО₂ у викидних газах – 7,5–10 %. За неперервної роботи установки врожай суспензії становить 12–22 г/м² при товщині шару 12–15 см. За рік з 10 га таким шляхом можна отримати 40–50 т сухої біомаси мікрowodоростей. Використовуються також залишки птахофабрик (курячий послід концентрацією 5–10 мг/л) для культивування *Ch. vulgaris*, *S. obliquus*. При збагаченні їх СО₂ та перемішуванні водорості краще розвиваються. В установках просто неба, з добавкою стічних вод птахофабрики, можна отримати 13–17 г сухої речовини на 1 м² за добу, одночасно з цим відбувається інтенсивне очищення води.

Культивування хлорококових водоростей на стічних водах тваринницьких комплексів проводять з початковою щільністю клітин 3–6 млн. кл./мл за умов перемішування і живлення СО₂, з додаванням стічної води після розведення 1:1 чи без неї. За цих умов у спосіб з розведенням за 8 діб отримують 450 млн. кл./мл (1,3 г/л сухої речовини), без розведення – 38 млн. кл./мл (1,0 г/л

сухої речовини). У культиваторах закритого типу (фотореакторах) з додаванням до середовища стічних вод тваринницьких комплексів можна отримати культуру хлорели щільністю 100 млн. кл./мл (у культиваторі з об'ємом 1,5 м³).

При культивуванні спіруліни з додаванням курячого посліду продуктивність її збільшується на 15–18 %. Як субстрат для її культивування можна використовувати неорганічні (NaNO₃, NaNO₂, (NH₄)₂SO₄) і органічні форми азоту (сечовину). *Spirulina* витримує азотне голодування (до 54 діб), після чого при переміщенні її в нормальне середовище хід процесів синтезу повністю відновлюється.

Контрольні питання

1 Які цільові продукти біотехнологій, що використовує прісноводна аквакультура, можна застосовувати як сировину у переробній промисловості?

2 Назвіть біоагенти гідрологічної біотехнології.

3 Дайте визначення поняттям «аквакультура» і «марікультура». У чому полягає відмінність між ними?

4 Які сучасні напрями аквакультури виділяють на даний час?

5 Для чого здійснюють акліматизацію та інтродукцію нових видів гідробіонтів?

6 Назвіть чинники, що впливають на рибогосподарську цінність водойм.

7 Які основні напрями отримання товарної аквакультури?

8 Що таке випасна аквакультура?

9 Які види молюсків традиційно використовують в аквакультурі?

10 Яким чином регулюється державна політика у сфері аквакультури?

11 За якими критеріями здійснюється вибір об'єктів для інтродукції й акліматизації?

12 Які пріоритетні напрями досліджень у гідрологічній біотехнології Вам відомі?

Використані та рекомендовані інформаційні джерела

1 Алимов С. І., Андрющенко А. І. Осетрівництво: навч. посіб. Київ: Оберіг, 2008. 502 с.

2 Алимов С. І. А50 Рибне господарство України: стан і перспективи. Київ: Вища освіта, 2003. 336 с.

3 Андрющенко А. І., Алимов С. І. Ставове рибництво : підручник. Київ: Видавничий центр НАУ, 2008. 636 с.

4 Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Введение в новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыбоводные системы : учебник. Копенгаген: Eurofish, 2010. 70 с.

5 Корчевой Ф. В., Просяная В. В. Основні причини та джерела хвороб ставкових риб. *Рибне господарство України*. 2003. №2(25). С. 25–26.

6 Про аквакультуру : Закон України від 08.09.2012 р. № 5293-VI. *Верховна Рада України*. 2012. 8 верес. (№ 5293-VI).

7 Шарило Ю. Є. Сучасна аквакультура: від теорії до практики : практичний посібник. Київ: Простобук, 2016. 119 с.

8 Шерман І. М., Євтушенко М. Ю. Теоретичні основи рибництва: підручник. Київ: Фітосоціоцентр, 2012. 484 с.

ГЕОЛОГІЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ

Загальна характеристика. Геологічна біотехнологія (ГБ) або біогеотехнологія основана на виробничих процесах, які передбачають використання біоагентів (мікроорганізмів і їх метаболітів) під час видобутку та переробки корисних копалин. В узагальненому вигляді ГБ базується на зворотній взаємодії трьох типів речовини з семі (за В.І. Вернадським), а саме на трансформації біогенної речовини (субстрат) у косну (цільовий продукт) за участі живої речовини (біоагентів).

Своїм корінням біогеотехнологія йде в геологічну мікробіологію. Мікроорганізми брали й беруть активну участь у геологічних процесах. Біологічні властивості різних груп мікроорганізмів і особливості їх життєдіяльності у родовищах корисних копалин становлять наукові основи біогеотехнології. У XIX столітті Луї Пастер уперше встановив участь мікроорганізмів в обміні, переносі й кругообігу речовин у природі. Завдяки працям С.Н. Виноградського, М. Бейеринка, У. Бавендама й багатьох учених у 30-х роках XX ст. сформувалася геологічна мікробіологія, яка вивчала закономірності кругообігу речовин у природі й роль мікроорганізмів у ньому.

ГБ стихійно зародилася ще в XVI ст. До нас дійшли відомості про те, що в ті далекі часи в Угорщині для одержання міді купи добутої руди зрошували водою. Цей нехитрий технологічний прийом виявився прототипом сучасного бактеріально-хімічного методу купчастого вилуговування металів із руд. Звичайно, тоді ще не знали, що застосований процес отримання міді за своєю природою є мікробіологічним. Це стало відомо тільки в 1922 р. завдяки роботам німецьких учених Рудольфа й Хельброннера. Очевидно, що 1922 рік слід уважати офіційною датою народження біогеотехнології. Другий етап розвитку ГБ (з початку 80-х років XX ст до цього часу) пов'язаний з формуванням поряд з бактеріальним вилуговуванням металів й інших напрямків: видалення сірки з вугілля, позбавлення від метану у вугільних шахтах, підвищення нафтовіддачі шарів тощо.

Таким чином, до сучасної ГБ належать три пріоритетні напрямки: біогідрометаллургія, мікробна ГБ і БТ нафтовіддачі.

До числа біогідрометалургічних методів належать спеціальна обробка глини і каолінів для керамічної промисловості, витяг металів з розчинів (біосорбція), очищення промислових стоків від металів, ціанідів, тіоціанату та їх комплексів з металами. Біогідрометалургійні технології є рентабельними і не завдають великої шкоди довкіллю.

Другий напрямок включає біотехнологічні способи переробки золотомісних і комплексних поліметалевих руд і концентратів, продуктів їх збагачення і відходів гірничодобувних виробництв за допомогою бактеріального вилуговування. Золото і срібло, на відміну від інших металів, тонко вкраплені в сульфідні мінерали і тільки після бактеріального окиснення та часткового руйнування мінералів вони вивільняються повністю з кристалічних решіток і далі витягуються традиційним способом. У багатьох країнах (США, Канада тощо) застосовують бактеріально-хімічні технології вилуговування міді і урану із відповідних руд у місці їх залягання або з позабалансових (збіднених) руд. Промислову переробку золотомишьякових концентратів проводять у послідовно з'єднаних біореакторах в Австралії, США, ПАР, РФ та інших країнах. Таким шляхом вдається витягувати до 96–98 % золота і до 90 % срібла. Подібна технологія розробляється також для переробки концентратів і продуктів, що містять інші кольорові метали.

До третього напрямку належить біотехнологія підвищення нафтовіддачі пластів, яка складається із двох послідовних етапів: 1) активації аеробних мікроорганізмів у привибійній зоні нагнетальної свердловини шляхом закачування аерованої води (з добавкою мінеральних солей); 2) заводнення пласта, що містить нафту.

Вироблений аеробними мікроорганізмами на першому етапі комплекс агентів, які витісняють нафту (жирні кислоти, спирти, біополімери, CO_2 тощо) спрямовують до видобувних свердловин. У міру зменшення концентрації кисню частина цих речовин утилізується анаеробними метаногенними бактеріями з утворенням метану, який також витісняє нафту. Завдяки цій технології лише на нафтових родовищах Татарстану було додатково отримано понад 500 тис. т нафти, яка зокрема

експортується на Кременчуцький нафтопереробний завод. Сьогодні також розробляються способи підвищення нафтовіддачі на родовищах зі складними геофізичними і фізико-хімічними умовами (високі солоність і температура), у тому числі шляхом додаткового введення мікроорганізмів у нафтоносний пласт.

Деякі геологічні біотехнології можна вважати й екологічними. Наприклад, у промислових масштабах реалізуються біотехнології вилуговування відвалів, застосування яких забезпечує насамперед природоохоронний ефект. Процес передбачає екстрагування металів із відходів гірничодобувних і збагачувальних виробництв. Тривалість залежить від технології. Наприклад, купний спосіб вилуговування полягає в обробленні штучно створених куп розчином біоагенту протягом кількох місяців, а чановий – обробленні промислових відходів, шламів у спеціальному біореакторі протягом кількох годин. Швидкість вилуговування залежить також і від ферментної системи та маси біоагенту.

Метаболіти біоагенту можуть слугувати джерелом живлення для гетеротрофних мікроорганізмів, що забезпечують необхідні умови середовища для активного росту вилуговувальних бактерій. Реалізація технологій біовилуговування передбачає підтримання активності культури мікроорганізмів біоагенту в активному стані у суворо контрольованих умовах, що зумовлюють прискорення швидкості росту мікроорганізмів-окиснювачів. Цільовий продукт біовилуговування отримують у розчині, який легко піддається нейтралізації. Газоподібні відходи в технології відсутні. В цілому, процес біовилуговування не залежить від обсягів перероблюваних відходів.

Екологічними можна також вважати БТ вилучення металів із відходів, що ґрунтуються на здатності бактерій певних родів окислювати сульфідні мінерали. В основі взаємодії біоагент-метал лежать певні фізико-хімічні процеси: мобілізація (біоекстракція – переведення нерозчинних сполук у розчинну форму); іммобілізація (біоосадження – перетворення розчинних сполук металів на нерозчинні); акумуляція (біосорбція – накопичення металів у середині або на поверхні клітин);

газоутворення (переведення у летку форму). У клітинах мікроорганізмів акумульовані метали використовуються у біохімічних ферментативних перетвореннях і дихальному метаболізмі (Fe, Mg, Mo тощо).

Складові елементи біогеотехнології. Залежно від технологічного напрямку геологічна біотехнологія використовує різні види біоагентів і субстратів (табл. 18). Наприклад, для бактеріального вилуговування застосовують тіонові бактерії *Thiobacillus ferrooxidans* (так звані залізобактерії) і *Th. thiooxidans* (так звані сіркобактерії), здатні окиснювати сульфідні мінерали й закисне залізо до окисного.

Таблиця 18 – Субстрати, біоагенти і цільові продукти геологічної біотехнології

Субстрат	Біоагент	Цільовий продукт
руда, рудні концен-трати і гірські породи	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i> , <i>Th. thiooxidans</i>	Cu, U, Au, Mn, Fe, Cd, Ag та ін.
кам'яне вугілля	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	кам'яне вугілля, очищене від сірки
метан	<i>Methylomonas sp.</i> , <i>Methylophilus sp. та ін.</i>	CO ₂
нафта	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. cereus</i> , <i>B. stearothermophilus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	нафта
м'ясо та солі Нітрогену	<i>Clostridium tyrobutyricum</i>	

Задля зниження концентрації метану у вугільних шарах використовують метанотрофні бактерії. В природі існують метанотрофи (роди *Methylomonas*, *Methylophilus*, ін.), які здатні в своєму ланцюзі енергетичного обміну використовувати

метан (CH_4) як єдине джерело карбону й енергії та окиснювати його до метанолу і далі за окремими стадіями до CO_2 .

Один із способів збільшення вторинного видобутку нафти передбачає використання комплексу вуглецеокинуючих і метаноутворюючих бактерій для збільшення нафтовіддачі пластів, що її містять. Метод заснований на активації геохімічної діяльності *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Pseudomonas aeruginosa*, та інших у нафтовому покладі, а також на внесенні в нафтоносний шар меляси (відходів цукрового виробництва), солей азоту й промислових штамів *Clostridium tyrobutyricum*.

Головним механізмом, що покладено в основу всіх технологічних процесів ГБ, є бактеріальне вилугування (bacterial leaching), який полягає у селективному розчиненні мінералів у водному середовищі в присутності мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності для добування металів (Cu, U, Au, Mn і ін.) з відвалів, збіднених забалансових руд, для видалення шкідливих домішок (As) і вибіркового поділі продуктів і концентратів, одержуваних із важкозбагачуваної та комплексної мінеральної сировини.

Розрізняють *купове*, *підземне* й *чанове* бактеріальне вилугування. *Куповому* вилугуванню звичайно піддають старі відвали або знову складовані забалансові руди, що містять Си й U. Одержувана при вилугуванні на цементацийних або екстракційних установках мідь у п'ять разів дешевша, ніж виділена з руди флотацією або плавкою. При *підземному* вилугуванні міді з підземних виробітків, занедбаних або бідних рудних тіл вилуговуючі розчини через свердловини закачують у рудне тіло і після проходження крізь нього, подають на поверхню, де з них витягають мідь. Після регенерації окисного заліза розчини використовують як зворотні (так званий замкнений цикл). *Чанове* бактеріальне вилугування ефективно застосовується при переробці важкозбагачуваних продуктів і концентратів, для очищення їх від шкідливих домішок, селективного добування металів із сульфідних концентратів.

Купове вилугування (heap leaching) – вилугування цінних компонентів з відвальних забалансових і втрачених руд, проведене на відкритих, спеціально обладнаних майданчиках.

Відрізняється високою продуктивністю й низькою собівартістю цільових продуктів. У промисловій практиці найпоширенішим є купчасте вилуговування під час переробки мідних і уранових руд. Останніми роками використовують також для переробки поліметалевих, зокрема – свинцево-цинкових руд. У промисловій практиці купове вилуговування міді й урану із руд і відвалів широкого застосування набуло в США (16 рудників), країнах африканського континенту, Австралії, Іспанії й Казахстані (на Ніколаєвському родовищі для переробки відвалів забалансових мідноколчеданних руд).

Підземне вилуговування (underground або in-situ leaching) – вилуговування на місці залягання руд кольорових і рідкісних металів. Підземне вилуговування ефективне, коли рудне тіло доступне розчиннику, а одержуваний розчин (луг) при досягненні водонепроникних порід (глини, граніту й ін.) накопичується, що дозволяє відкачати його на верхній горизонт для наступного концентрування й переробки. Підземне вилуговування використовують для добування Cu, Mo, U та інших металів.

Чанове вилуговування (tub leaching) використовують для переробки складних сульфідних концентратів і руд цінних металів (золота, урану, олова). Процес здійснюють у спеціальних ємностях (пачуках), які послідовно з'єднані між собою. У пачуки вносять пульпу – подрібнену руду, змішану з водою, та мікроорганізми. Здійснюють постійне перемішування, аерацію, забезпечують оптимальну температуру, рН. Використовують адаптовану до певної руди культуру мікроорганізмів у кількості (10^{10} – 10^{11} кл/мл).

Залежно від поставлених завдань у кожному конкретному варіанті купового, підземного або чанового бактеріального вилуговування використовують різноманітні спеціальні методи: сорбційне, тіосечовинне, тіосульфатне, екстракційне, агітаційне чи перколяційне вилуговування.

Сорбційне (sorbition leaching) – метод поєднання вилуговування й сорбції цінних компонентів, наприклад, процес ціанідного вилуговування й сорбції благородних металів іонообмінними смолами з пульп. При цьому благородні метали, розчиняючись у ціаністому розчині, переходять у рідку фазу

пульпи й одночасно сорбуються іонітом. По закінченню вилуговування й сорбції насичений золотом іоніт відокремлюють від пульпи, регенерують десорбцією золота й домішкових металів і знову направляють на сорбційне вилуговування.

Тіосечовинне вилуговування (thiocarbamide leaching) – вилуговування Ауруму й Аргентуму з використанням кислих водних розчинів тіосечовини, що містять у якості окиснювача солі тривалентного заліза Fe^{3+} . У порівнянні із ціануванням тіосечовинне вилуговування має наступні переваги: швидкість розчинення мінералу є вищою в 10 разів, процес менше піддається впливу з боку іонів-домішок, менша питома витрата й корозійна активність реагенту.

Тіосульфатне вилуговування (thiosulfate leaching) – вилуговування золота або срібла з використанням розчинів тіосульфату натрію або амонію в присутності кисню повітря й утворення комплексу $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2$. Аміачно-тіосульфатне вилуговування проводять у присутності іонів міді (каталітична дія) для добування Au і Ag. Залежно від виду руди, що переробляється, і вмісту в ній золота концентрація вилужуючого агента (тіосульфат амонію) у розчині може змінюватися від 2 до 60 %.

Екстракційне вилуговування (extractive leaching) – вилуговування в присутності екстрагента. Сполучення двох процесів – поділ твердих і рідких сумішей і добування твердих складових за допомогою розчинників – підвищує наскрізне добування металу й при належному поділі водної й органічної фаз виключає фільтрацію. Застосування при екстракційному вилуговуванні екстрагентів на твердому носії – твексів (тверді екстрагенти) забезпечує швидке безфільтраційне відділення пульпи від органічної фази, як при сорбції з пульп з використанням іонітів, і встановлення рівноваги між твексом і розчином, як при рідинній екстракції.

Агітаційне вилуговування (agitation leaching) – добування золота з руд їх селективним розчиненням у ціаністих лугах (ціанування) при інтенсивному перемішуванні й безперервному насиченні пульпи киснем повітря. Застосовується для добування Ауруму з тонкоподрібненої руди. Ступінь подрібнюваності руди

залежить від характеру вкрапленості Au і змінюється від 0,3 до 0,04 мм.

Перколяційне вилуговування (percolation leaching) – вилуговування просочуванням (перколяцією рідкого реагенту крізь тверді нерухомі шари породи. Перколяційне вилуговування застосовують, наприклад, для обробки золотовмісних пісків пористої структури із частками 0,2–1 мм у спеціальних круглих (висотою 2–4 м, діаметром 12–14 м) і прямокутних (довжина 25 м, ширина 15 м) чанах місткістю за пісками 800–900 т. Тривалість повної обробки одного завантаження піску 4–8 діб. Перколяційне вилуговування здійснюють послідовною подачею розчинів ціанідів лужних і лужноземельних металів концентрацією від 0,1–0,2 до 0,03–0,05 %. Видобування золота із ціаністих розчинів вилуговування становить 70–80%. Au і Ag виділяють із розчинів також шляхом цементації металевим цинком і сорбції іонообмінними смолами або активованим вугіллям.

Сучасні напрямки геологічної біотехнології. До сучасних геологічних біотехнологій серед інших належать: вилуговування металів, десульфування вугілля, деметанізації повітря вугільних шахт і підвищення нафтовіддачі пластів.

Біогеотехнологія вилуговування металів передбачає використання бактерій для добування металів із руд, рудних концентратів і гірських порід. При переробці збіднених і складних руд тисячі й навіть мільйони тонн цінних металів губляться у вигляді відходів, шлаків, «хвостів». Відбуваються також викиди шкідливих газів в атмосферу. Бактеріально-хімічне вилуговування металів зменшує такі втрати. Основу цього процесу становить окиснення тіоновими бактеріями сульфідних мінералів, що втримуються в рудах.

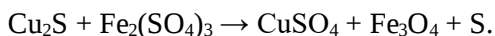
Тіонові бактерії є хемоавтотрофами, тобто єдиним джерелом енергії для їхньої життєдіяльності є процеси окиснення закисного заліза, сульфідів різних металів і елементарної сірки. Ця енергія витрачається на засвоєння CO₂, який виділяється з атмосфери або з руди. Отриманий Карбон іде на побудову бактеріальних клітин. *Thiobacillus ferrooxidans* окиснює сульфідні мінерали до сульфатів. Характерною рисою фізіології тіонових бактерій є потреба в дуже кислому

середовищі. Вони розвиваються при рН від 1 до 4,8 з оптимумом при 2–3. Інтервал температур, у якому можуть розвиватися бактерії цього виду, становить від 3 до 40°C з оптимумом при 28°C. Тіонові бактерії широко поширені в природі. Вони живуть у водоймах, ґрунтах, вугільних і золоторудних родовищах. У значних кількостях зустрічаються вони в родовищах сірчаних і сульфідних руд. Але в умовах природнього залягання таких руд активність тіонових бактерій стримується відсутністю кисню.

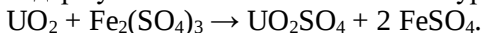
Під час розробки сульфідних родовищ руди вступають у контакт із повітрям, і в них розвиваються мікробіологічні процеси, що приводять до вилугування металів, а саме окиснюються сульфіди міді, заліза, цинку, олова, кадмію і ін. При цьому метали з нерозчинної сульфідної форми переходять у сульфати, добре розчинні у воді. Метали видобувають із сульфатних розчинів шляхом осадження, екстракції, сорбції тощо. Одним з можливих способів добування металів із розчинів є їх адсорбція клітинами живих мікроорганізмів, так звана біосорбція металів.

Основною технологічною операцією цього способу є зрошення відвалів добутої руди розчинами, що містять сірчану кислоту, іони двох- і тривалентного заліза, а також життєздатні клітинні тіонових бактерій. Іноді для посилення процесів вилугування усередину відвалу подають повітря. У таких умовах вилугуючий розчин фільтрується через товщу руди й у результаті мікробіологічних і хімічних процесів збагачується металами, що видобуваються з руди. Потім цей розчин збирають за допомогою системи колекторів, і з нього витягають метали одним з фізико-хімічних методів. Застосовуючи певні біотехнологічні заходи, цей природній процес можна прискорити.

У значних промислових масштабах бактеріальне вилугування застосовується для купового добування корисних копалин (міді й урану) з руд на місці їх залягання. Наприклад, економічно доцільно витягати Купрум за допомогою бактеріального вилугування зі забалансових сульфідних руд за схемою:



Щорічно у світі таким способом добувають сотні тисяч тон міді, або приблизно 5 % від її загального видобутку. У ряді країн цим способом одержують також значні кількості урану.



Біогеотехнологія десульфування вугілля – використання тіонових бактерій для видалення сірковмісних з'єднань із вугілля. Як буре, так і кам'яне вугілля нерідко містять значну кількість сірки. Високий вміст сірки у вугіллі, що добувається (більш 1,5 %), створює значні труднощі в його збуті та виявляє досить негативний вплив на стан навколишнього середовища. При спалюванні вугілля сірка, що міститься в них, перетворюється в сірчистий газ, який надходить в атмосферу, де з нього утворюється сірчана кислота. З атмосфери сірчана кислота випадає на поверхню землі у вигляді сірчаноокислотних дощів.

У деяких країнах Західної Європи за рік на 1 га землі з дощами випадає до 300 кг сірчаної кислоти. Нескладно уявити, який збитокносять кислотні дощі здоров'ю людини, її господарській діяльності та навколишній природі. Тому всі вуглевидобувні країни світу або не розробляють високосірчані шари, або збагачують добуте вугілля до рівня 1–1,5 % (1 % – на експорт, 1,5 % – для внутрішнього споживання) і нижче, або розбудовують системи сіркоочищення димових газів, що виділяються в атмосферу у процесі роботи твердопаливних електростанцій. Крім цього, високосірчане вугілля погано коксуються, а тому не може бути використане у кольоровій металургії. Біотехнологічне видалення сірки з вугілля, на думку фахівців, є економічно вигідним, і з ним пов'язують надії на розв'язання проблеми сірчаноокислотних дощів.

Дослідження мікроорганізмів рудних родовищ показали, що специфічним окиснювачем сульфідних мінералів у рудних родовищах є *Thiobacillus ferrooxidans*. Перші дослід з десульфування вугілля були виконані у 1959 р. З.М. Зарубіною, Н.Н. Ляліковою і Є.І. Шмуком. У результаті цих дослідів за 30 діб за участю бактерій *Th. ferrooxidans* з вугілля було вилучено 23–30 % сірки. Пізніше кілька робіт з мікробіологічного десульфування вугілля було опубліковано американськими дослідниками. Їм удалося за допомогою тіонових бактерій

знизити вміст піритної сірки у кам'яному вугіллі за чотири доби майже на 50 %. Цей метод буде супроводжуватися попутним вилуговуванням різних металів. Відомо, що в помітних кількостях у вугіллі утримуються германій, нікель, берилій, ванадій, золото, мідь, кадмій, свинець, цинк, марганець. Попутне одержання цінних металів при десульфуванні вугілля повинне дати додатковий економічний ефект.

Для процесу окиснення сірки й сульфідних мінералів необхідним є контакт клітини з мінералом. Тіонові бактерії виділяють у середовище органічні речовини ліпідної природи. Ліпіди, зокрема фосфоліпіди відіграють велику роль у розчиненні сірки й транспортуванні її усередину клітини. Цей механізм зумовлює їхню здатність окиснювати елементну сірку. Механізм окиснення сульфідних мінералів *Th. ferrooxidans*, очевидно, інший. Особливість цих організмів полягає в тому, що вони здатні руйнувати кристалічні ґратки сульфідних мінералів. Роботи з видалення піритної сірки з вугілля мікробіологічним шляхом проводяться зараз у багатьох країнах світу. За останніми даними у лабораторних умовах удається знизити вміст сірки майже на 100 %.

Біогеотехнологія деметанізації повітря вугільних шахт передбачає використання метаноокиснюючих бактерій задля зниження концентрації метану у вугільних шарах і вироблених просторах. У шарах кам'яного вугілля утримується величезна кількість метану, що досягає сотні кубометрів у 1 т вугілля. При цьому чим глибше залягає вугілля в надрах землі, тим більше метану воно містить. У світовому видобутку вугілля частка добування метану через дегазаційні системи шахт становить близько 22 %. У країнах з високим рівнем вуглевидобувної технології використання дегазаційного метану становить до 35 %. Виділення метану в остаточному підсумку впливає на хімічний склад атмосферного повітря. У верхніх шарах атмосфери Землі діють процеси деструкції й радіаційно-хімічного окиснення метану з утворенням вуглекислого газу. Цей механізм може бути причиною глобальних змін клімату, у тому числі – потепління й підвищення рівня світового океану, які спостерігають останніми десятиліттями.

Сучасні масштаби емісії метану із шахт у повітря є досить значними: 22 млрд м³ метану в рік за сторіччя додадуть в атмосферу Землі близько 4,3 млрд т вуглекислого газу. За даними Кліматологічного конгресу сучасний щорічний приріст СО₂ в атмосфері становить 22 млрд т. При підземному видобутку вугілля метан з розроблювальних вугільних шарів надходить в атмосферу шахт. Скупчення цього вибухонебезпечного газу в гірських виробтках створює постійну загрозу для життя шахтарів. Відомі випадки великих вибухів метану у вугільних шахтах світу, що забрали сотні людських життів. Отже запобігання надходження шахтного метану в атмосферу слід визнати не тільки великою екологічною проблемою в шахтах, але й важливою проблемою безпеки праці.

Традиційні засоби мінімізації умісту метану у вугільних шахтах (вентиляція, вакуумна дегазація, зволоження тощо) в умовах постійної інтенсифікації гірських робіт і переходу на більш глибокі вугленосні горизонти часто вже не можуть забезпечити одночасно високий рівень вуглевидобутку й безпечні умови праці. Оскільки традиційні методи дегазації не вирішують проблему ліквідації забруднення довкілля метаном, ця проблема може бути вирішена за допомогою БТ, що використовують як біоагент метанотрофи – бактерії, метаболізм яких оснований на реакціях окиснення СН₄. Мікроорганізми завдяки високій швидкості розмноження і фізіологічній активності за короткий час переробляють кількість речовин, що перевищує їхню власну масу в сотні разів.

Пропозицію щодо застосування метанотрофів задля зменшення концентрації СН₄, який виділяється під час гірських виробітків при розробці вугільних родовищ, було висловлено у 1939 році А.З. Юровським, Г.П. Капілаш і Б.В. Мангубі. Проте, ця думка тоді не знайшла практичного використання, а питання розробки технології боротьби з метаном вирішувалися шляхом дегазації вугільних шарів за допомогою засобів вакуумування й ізольованого відводу метану із шахти по трубах на поверхню. У 1966 році був запропонований мікробіологічний спосіб окиснення метану у вугільному масиві. Перше його промислове

випробування було здійснено у Донецькому басейні на шахті «Суходольська».

Незважаючи на суттєве поширення метаноокиснюючих бактерій у природі, у вугільних шарах і прилягаючих породах вони відсутні. Тому необхідну біомасу активних метанотрофів вирощують у ферментерах і у вигляді суспензії на поживномусередовищі подають у поровий об'єм вугільних шарів і вироблені простори. Робоча суспензія готується безпосередньо в шахті. У рудничну воду додають задану кількість біомаси метаноокиснюючих бактерій і необхідні для їх активної життєдіяльності мінеральні солі. Звичайно це мінеральні сполуки Нітрогену і Фосфору. У вугільний шар робоча суспензія нагнічується насосами через свердловини (1 т вугілля може прийняти 20–40 л робочої суспензії). У вугіллі мікроорганізми розподіляються по тріщинах і порах.

Таким шляхом насичують вугілля аеробними метанотрофами, для розвитку яких необхідний вільний кисень, котрого немає у вугільних шарах. Тому в насичену метаноокислюючими бактеріями ділянку вугільного шару через ті ж свердловини компресором постійно прокачується повітря. У таких умовах бактерії споживають метан, що міститься у вугіллі, і за рахунок цього відбувається зменшення вихідної газоносності вугільного шару. Мікробіологічні способи мінімізації CH_4 були неодноразово випробувані у вугільних шахтах. Надходження метану як із вугільних шарів, так і з вироблених просторів під час цих випробувань було знижено у середньому в два рази. За інших рівних умов це дозволяє підвищувати видобуток вугілля приблизно в 1,5 рази.

Перевагами біотехнології дегазації вугільних шахт є невелика енергоємність процесу мікробіологічного окиснення метану; низька металоємність, запобігання емісії CH_4 в атмосферу Землі й економічність боротьби з місцевими скупченнями метану у виробітках. Однак, поки ця БТ не отримала широкого застосування унаслідок недоробленості ряду мікробіологічних і технологічних питань (низька швидкість окиснення метану в масиві порід і виробітках, складність контролю над підтримкою раціону живлення метанотрофів, замала площа контакту біосуспензії з CH_4).

Біогеотехнологія підвищення нафтовіддачі пластів оснований на використанні різних груп мікроорганізмів задля збільшення вторинного видобутку нафти, яка залишається основною енергетичною і хімічною сировиною. Але за певними прогнозами світові запаси нафти можуть бути вичерпані вже протягом найближчих 50 років. Разом з тим існуюча технологія дозволяє витягувати лише половину нафти, що міститься у родовищах. Це зумовлено міцним зв'язком нафти з породами, що її вміщують. Підвищення нафтовіддачі пластів на 10–15 % було б рівнозначним відкриттю нових родовищ. У зв'язку з цим у наш час помітно зріс інтерес до пошуку шляхів і засобів підвищення вторинного видобутку нафти. Один із таких способів передбачає використання комплексу карбонокислюючих і метаноутворюючих бактерій для збільшення нафтовіддачі пластів.

Ідея використання мікроорганізмів з метою витіснення нафти була вперше висловлена в 1926 році J.W. Beckman. Лабораторне вивчення мікробіологічних методів уперше провів С.Е. Zobell. Ним були виділені культури сульфатвідновлюючих бактерій із води нафтового родовища й показано, що обробка нафтонасичених зразків бактеріями викликає довитіснення нафти, тобто мікробні метаболіти можуть бути використані для збільшення нафтовіддачі шарів. Біотехнічні методи підвищення нафтовіддачі відрізняються малою капіталомісткістю, високою ефективністю й безпекою для довкілля.

Біотехнічні методи підвищення нафтовіддачі поділяються на дві основні групи, до першої групи належать біотехнології, за яких активується природня мікрофлора шляхом подачі живильних речовин з поверхні (*in situ*), а до другої – біотехнології, за яких у шар вводяться культури мікроорганізмів з поживними речовинами (*extra situ*). У результаті своєї життєдіяльності мікроорганізми утворюють різні сполуки (жирні кислоти, спирти, карбонову кислоту, молекулярний водень, поверхнево-активні речовини), що впливають на флюїди й породу шару, а також процеси нафтовитіснення. Найбільш широко використовуються види *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa* і *Bacillus cereus*.

У 1992 році на Ромашкінському нафтовому родовищі в Татарстані був випробуваний пілотний третинний метод (після традиційного видобутку й вторинного заводнення) підвищення добування нафти, заснований на внесенні в шар меляси (відходів цукрового виробництва), солей Нітрогену та промислових штамів *Clostridium tyrobutyricum*. Об'єктом випробувань була ділянка покладу 302 башкирських відкладень, що включає шість нагнічувальних і 23 видодобувних свердловини. Під час експерименту аналізували ряд фізичних, хімічних, геохімічних і бактеріологічних параметрів пластових флюїдів, оцінювали інтенсивність біогенних процесів сульфатредукції й утворення метану.

У шарі меляса зброджувалася під впливом *C. tyrobutyricum* з утворенням H_2 , CO_2 , органічних кислот, нижчих спиртів і інших продуктів, що сприяють зниженню в'язкості природної нафти. Результати мікробіологічних, радіоізотопних і мас-спектрометричних досліджень свідчать про високу активність процесів у зоні дослідно-промислових випробувань, які підтверджуються змінами ізотопного складу сполук Сульфуру й Карбону. Проведений аналіз ходу розробки дослідної ділянки виявив позитивну зміну процесу витиснення нафти, викликане як мікробіологічним впливом, так і режимом заводнення. Також було встановлено, що при реалізації третинної технології мікробіологічні процеси проходять дві стадії. На першій – генеруються такі нафтовитісняючі агенти, як органічні кислоти, полісахариди, альдегіди й CO_2 . На другій стадії в анаеробній зоні нафтового шару утворюються гази – CH_4 , CO_2 і ін. Ці реагенти піднімають пластовий тиск, підвищуючи інтенсивність видобутку нафти.

Пріоритетні напрямки досліджень у геологічній біотехнології. У різних країнах світу ведуться дослідження з бактеріального вилуговування металів із відходів збагачення (пилу, шлаків, шахтних стоків тощо). Розробляються інноваційні біотехнології бактеріального вилуговування золота і інших кольорових металів, марганцю, а також збагачення бокситів за допомогою гетеротрофних мікроорганізмів (мікроскопічні гриби, дріжджі, бактерії). Розвиток біовилугування за рахунок застосування нових організмів, а

не технологічних змін залишається одним з перспективних напрямків, що розвиваються у гідрометалургії і збагаченні руд. Поряд із традиційними видами тіонових бактерій, які застосовували раніше (із родів *Thiobacillus* або *Acidithiobacillus* і *Leptospirillum*) тепер використовують нові види (*A. caldus* та із роду *Sulfolobus*), завдяки їх термофільності – здатності окиснювати сірчані сполуки при підвищених температурах. Таким чином, в останні десятиліття у галузі біовилуговування намітилися зміни, спрямовані, зокрема, на пошук і селекцію мікроорганізмів, які забезпечують процеси вилуговування при підвищеній температурі та нейтральних або помірно кислих значеннях pH, а також здатні до біорозкладу силікатних мінералів (на противагу окисненню сульфідів).

Застосування термофільних мікроорганізмів дозволяє відмовитися від системи водного охолодження під час обробки мінеральної сировини. Крім того, підвищення температури збільшує швидкість усіх геохімічних процесів обробки. Особливу увагу останнім часом привертає рід *Sulfolobus*, що належить до підцарства бактерій *Archeobacteriobionta*, зокрема – вид *S. metallicus*, який розвивається при 70°C і витримує токсичність розчинених металів і флотаційних агентів. Втім, проблема токсичності самих вилугованих металів не є вирішальним чинником, оскільки може бути розв'язана як за рахунок спрямованої адаптації мікроорганізмів, так і методом транслокації в них плазмід з геном, який підвищує стійкість, від природної мікрофлори рудних відвалів. Підвищення вилуговуючих властивостей або стійкості штаму до токсичних металів можливе також шляхом штучних мікомутацій, як це було зроблено для термофільного вилуговуючого виду *Acidianus brierleyi*.

Одним із принципових концептуальних підходів до створення безвідхідних або маловідходних виробництв є розробка нових технологічних схем і методів промислового виробництва на основі замкнених циклів, що виключають викид відходів у навколишнє середовище. Основним шляхом вирішення цих завдань є застосування наступних напрямків сучасної біогеотехнології:

▸ видобуток, збагачення й переробка руд за допомогою процесів біогетерокоагуляції, коли мікроорганізми вибірково агрегують частинки металів і мінералів із сировини та можуть бути виділені методами механічного збагачення (наприклад, флотації);

▸ виділення металів і їх сполук із розчинів методом біосорбції;

▸ інбігування біокорозії металевих конструкцій і споруд;

▸ ферментативний каталіз за участю металів і їх сполук;

▸ використання біохімічних процесів, що відбуваються в земній корі, для виконання технологічних завдань;

▸ біологічне очищення стічних вод, утворених у результаті вилуговування металів, з одночасним виділенням цінних компонентів;

▸ створення й застосування біомолекулярних систем нової техніки (іоніки, фотоніки, електроніки тощо);

▸ біомодифікація мінералів для подальшої переробки.

Контрольні питання

1 Що таке геологічна біотехнологія?

2 Які субстрати і біоагенти використовують у ГБ?

3 Що можна розглядати як цільові продукти ГБ?

4 Назвіть сучасні напрями біогеотехнології.

5 Які напрямки досліджень є пріоритетними для біогеотехнології?

6 Надайте визначення терміну «гідрометалургія».

7 Охарактеризуйте тіонові бактерії як біоагент ГБ.

8 Наведіть визначення процесу вилуговування руд або порід.

9 Чим відрізняється агітаційне вилуговування від бактеріального?

10 У чому полягає сутність купового й перколяційного вилуговування?

11 Які особливості підземного вилуговування вам відомі й які метали добувають цим способом?

12 Охарактеризуйте біосорбційне, тіосечовинне, тіосульфатне й екстракційне вилуговування.

13 За допомогою яких мікроорганізмів можна знизити концентрацію метану у вугільних шахтах? Назвіть переваги біотехнології дегазації вугільних шахт.

14 У чому полягає механізм біовпливу на нафтовій пласті? Назвіть мікропор-ганізми, які використовують для збільшення вторинного видобутку нафти.

Використані та рекомендовані інформаційні джерела

1 Brierly, C. L., Briggs, A. P. (2002). Selection and sizing of biooxidation equipment and circuits. *Mineral Processing plant design, practice and control*. Vancouver, British Columbia.

2 Brierley, J. A. (2003). Response of microbial systems to thermal stress in heap-biooxidation pretreatment of refractory gold ores. *Hydrometallurgy*, 71, 13-19.

3 Brown, A. R. G., Van Aswegen P. C. (2007). The BIOX™ Process: A solution to the treatment of refractory gold ores. Paper presented at the Mineral Processing and the Hydrometallurgy Plant Design Conference World's Best Practice, Australia, Perth.

4 Colmer, A. R., Hinkle, M. E. (1947). The Role of Microorganisms in acid Mine Drainage: A Preliminary Report. *Science*, 106, 2751, 253-256.

5 Devasia, P., Natarajan, K.A. (2004). Bacterial leaching. Biotechnology in the Mining industry. *Ann. Review of Microbiology*, 17, 65-91.

6 Gericke, M., Pinches, A. (1999). Bioleaching of copper sulphide concentrate using extreme thermophilic bacteria. *Minerals Engineering*, 12, 893.

7 Guay, R., Silver, M. (1975). *Thiobacillus acidophilus* sp. nov.: isolation and some physiological characteristics. *Can. J. Microbiol.*, 21, 3, 281-288.

8 Kelly, D. P., Wood, A. P. (2000). Reclassification of some species of *Thiobacillus* to the newly designated genera *Acidithiobacillus* gen. nov., *Halothiobacillus* gen. nov. and *Thermithiobacillus* gen. nov. *Int. J. Evol. Microbiol.*, 50, 511-516.

9 Logan, T. C., Seal T., Brierley J. A. (2007). Whole-Ore Heap Biooxidation of Sulfidic Gold-Bearing Ores. *Biomining*. Ed. by Douglas E. Rawlings and D. Barrie Johnson. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

10 Mishra, A., Pradhan, N. (2006). Microbiol recovery of uranium using native fundal strains. *Bioresour. Technol.*, 97, 1876-1883.

11 Xie, J.Y., Gao, J.C., Jin, S.B., & Han X. G. (2008). Bio-oxidation Plants of Refractory Gold Concentrate in China. *Proceedings of XXIV IMPC*, Beijing, China.

12 Wen, J. K., Ruan, R. M., Yao G. C., Liu X., Zang H. (2008). Bioheapleaching Pilot Plant Tests on Nickel Sulphide Ore. *Proceedings of XXIV International Mineral Processing Congress*. Science Press: Beijing.

ГЛОСАРІЙ

Глосарій є базою понятійного апарату, що використовують різноманітні галузі сучасної біотехнології. Він містить 130 біотехнологічних термінів, що можна розглядати як основні навчальні елементи дисциплін бакалаврської освітньої програми за спеціальністю 162 – біотехнології та біоінженерія.

1 Аграрна біотехнологія (Agricultural biotechnology) або сільськогосподарська – галузь, що займається питаннями теорії, методології та практики застосування біотехнічних досягнень у рослинництві та тваринництві.

2 Агролісова біотехнологія (Agroforestry biotechnology) або «зелена» – галузь сучасної біотехнології, що об'єднує технології сільськогосподарського і лісового виробництва, зокрема створення генетично модифікованих рослин.

3 Аквакультура (Aquaculture) – розведення і вирощування риби та інших гідробіонтів: водних тварин (молосків, ракоподібних тощо), а також рослин (вищих і нижчих) з метою отримання товарної білкової продукції.

4 Анаеробне [аеробне] культивування біологічних агентів (Anaerobic [aerobic] cultivation of biological agents) – культивування біоагентів без доступу [за наявності] кисню.

5 Антибіотики (Antibiotics) – речовини природного або синтетичного походження, що пригнічують розвиток одноклітинних мікроорганізмів, здебільшого бактерій і найпростіших.

6 Антиген (Antigen) – стороння органічна речовина, проникнення якої в організм людини або тварини спричиняє специфічну реакцію його імунної системи.

7 Антитіла (Antibodies) – білкова речовина, що синтезується в організмі людини або тварини у відповідь на введення антигена.

8 Бактеріальне добриво (Bacterial fertilizers) – препарат, створений на основі вільних і симбіотичних азотфіксувальних культур мікроорганізмів.

9 Бактеріофаг (Bacteriophage) – вірус, що інфікує бактерію, видозмінені форми якого використовуються як клонуючі вектори.

10 Безперервне культивування біоагентів (Continuous cultivation of bioagent) – культивування в умовах постійного надходження у ферментер поживного середовища та відтоку культуральної рідини з однаковими об'ємними швидкостями.

11 Біоагент (Bioagent) – будь-який живий організм (неклітинний, одно- чи багатоклітинний або його компоненти чи продукти метаболізму), що забезпечує перетворення субстрату (сировини) на цільовий продукт певної біотехнології.

12 Біобезпека (Biosafety) – (див. Біологічна безпека).

13 Біобензин (Biogasoline) – різновид біопалива: суміш бензину із етанолом або бутанолом у різних пропорціях.

14 Біобутанол (Biobutanol) – різновид біопалива: бутиловий спирт, отриманий біотехнологічним способом із цукрової тростини, буряка, кукурудзи, пшениці, маніюки, целюлози та ін.

15 Біоводень (Biohydrogen) – водень як біопаливо, отримане біотехнологічним шляхом (біорозклад води, що здійснюють зелені водорості).

16 Біовилуження (Bioleaching) – відновлення металів з руди мікроорганізмами.

17 Біовилучення (Bio-extraction) – використання мікроорганізмів для отримання цінних матеріалів (металів або органічних сполук) із складних сумішей.

18 Біогаз (Biogas) – газова суміш головним чином метану й оксиду Карбону, отримана метановим бродінням біомаси (див. біометаногенеза).

19 Біогеотехнологія (Biogeotechnology) (див. Біотехнологія геологічна).

20 Біогідрометалургія (Biohydrometallurgy) – мікробіологічний витяг металів із сировини з використанням біохімічних реакцій у водних розчинах.

21 Біогідротехнологія (Biohydrotechnology) (див. Біотехнологія гідрологічна).

22 Біодавач (Biosensor) (див. Біосенсор).

23 Біодеградація (Biodegradation) або біорозклад – процес руйнування органічних сполук ферментами біоагента.

24 Біодизель (Biodiesel) – біопаливо, виготовлене на основі рослинних (олій) або тваринних (жирів) ліпідів, а також продуктів їх етерифікації.

25 Біодобрива (Bio-Fertilizers) – екологічно чисті добрива, одержувані з біогумуса, інших натуральних органічних речовин, або в результаті бродіння біомаси (наприклад, як продукт біометаногенеза).

26 Біоекономіка (Bioeconomics) – економіка на засадах системного використання різноманітних галузей сучасної біотехнології.

27 Біоекополіс (Bioecopolis) – поселення у межах екологічно чистого ландшафту, створене із застосуванням біотехнічних способів ведення аграрного господарства, із швидкобудованими, дешевими й енергоефективними будинками-садибами.

28 Біоелектроелементи (Bioelectric elements) – джерела живлення, що використовують енергію живого організму, призначені здебільшого задля живлення імплантованих медичних приладів.

29 Біоенергетика (Bioenergy) (див. Енергетична біотехнологія).

30 Біометаногенез (Biomethanogenesis) – анаеробний багатофазний (гідроліз, ацидогенез, метаногенез) процес конверсії органічних сполук на біогаз.

31 Біоетанол (Bioethanol) – етиловий спирт, який отримують із біомаси шляхом спиртового бродіння органічних продуктів, що містять вуглеводи, під дією ферментних систем дріжджів і бактерій. Як моторне паливо використовується у вигляді присадок або у чистому вигляді.

32 Біозавод (Bio-plant) (див. Біорефайнер).

33 Біоімплант (Bioimplant) – протез, зроблений з біосинтетичного матеріалу.

34 Біоіндикація (Bioindication) – комплекс методів оцінювання якості природного середовища за станом його біоти, заснованих на спостереженні за складом і чисельністю видів-індикаторів.

35 Біоіндустрія (Bioindustry) (див. Промислова біотехнологія).

36 Біоінженерія (Bioengineering) – 1) розділ біотехнології, який вивчає способи промислової реалізації потенційних можливостей біологічних агентів на основі моделювання гідродинамічних і тепломасообмінних процесів; 2) цілеспрямована модифікація властивостей живих організмів (вірусів, бактерій, грибів, рослин і тварин), що здійснюється на

генетичному (молекулярному) та/або епігенетичному (клітинному й тканинному) рівні.

37 Біоінформатика (Bioinformatics) або обчислювальна біологія – біологічна дисципліна, що займається дослідженням, розробкою і застосуванням обчислювальних методів, зокрема комп'ютерних, задля обробки біологічних, медичних та інших даних.

38 Біокінетика (Biokinetics) – розділ біології, який вивчає кількісні характеристики біологічних процесів, що впливають на їхній перебіг у часі, та механізми регулювання швидкості цих процесів.

39 Біокластер (Biocluster) – об'єднання підприємств, постачальників обладнання, комплектуючих, спеціалізованих виробничих і сервісних послуг, науково-дослідних установ й освітніх закладів у сфері біотехнологій, пов'язаних відносинами територіальної близькості та функціональної залежності під час виробництва і реалізації товарів і послуг.

40 Біоконверсія (Bioconversion) або біотрансформація (Biotransformation) – різноманітні біохімічні перетворення одних органічних речовин біологічної сировини в інші під дією ферментних систем рослинного, мікробного і тваринного походження.

41 Біологічна безпека (Biosafety) (скор. Біобезпека) – комплекс заходів, спрямованих на збереження живими організмами своєї біологічної сутності (властивостей, системоутворюючих зв'язків тощо) та на запобігання втрати біологічної цілісності.

42 Біологічний засіб захисту рослин (Biological plant protection product) – препарат, створений на основі культур мікроорганізмів, продуктів їхнього метаболізму або вірусів для боротьби із хворобами та шкідниками сільсько- і лісгосподарських рослин.

43 Біологічно активні речовини (Biologically active substances) (скор. БАР) – загальна назва речовин (первинних і вторинних метаболітів), що мають виражену фізіологічну активність.

44 Біологічні засоби захисту (Biological protection) (скор. БЗЗ) – організми, мікробіологічні препарати та інші біологічні засоби, що застосовуються для боротьби із шкідливими для сільськогосподарських, рослин (у тому числі лісових) і тварин.

45 Біологічна різноманітність (Biodiversity) (скор. Біорізноманітність) – всі форми життя в усіх його проявах. Біорізноманітність представлена трьома рівнями: генетичним (різноманіття генів і їх варіантів – алелей), видовим (різноманіття видів) й екосистемним (різноманіття екосистем).

46 Біомаркер (Biomarker) – характеристика (біологічна ознака), яка використовується як індикатор стану певної біосистеми (клітини, тканини, органу, організму, екосистеми тощо) задля оцінки поточних фізіологічних процесів, прогнозування індивідуального ризику та виявлення захворювань, оцінювання ефективності лікування, визначення негативних чинників довкілля, а також для розробки нових лікарських засобів.

47 Біомаса (Biomass) – 1) сукупна маса живих організмів, присутніх в екосистемах у момент спостереження; 2) поновлюване джерело органічного матеріалу, який може бути використаний як паливо або субстрат у різних галузях сучасної біотехнології.

48 Біомаса інактивована (Inactivated biomass) – стерилізована біомаса (кормові дріжджі, грибний міцелій та ін.).

49 Біоматеріал (Biomaterial) – 1) у гістології: матеріал із рослинних або тваринних тканин; 2) у медицині: живі або мертві, зокрема законсервовані, клітини, тканини або органи; 3) у медичній біотехнології: синтетичний або природний матеріал, який використовується як замітник органів та їх частин, тканин, біорідин тощо.

50 Біомедицина (Biomedicine) – збірний термін, що позначає напрямок на стику двох наук – медицини і біології, в основі якого лежить використання ідей і технологій, розроблених у біохімії, імунології, цитології, генетиці й інших біологічних науках, для розв'язання медичних проблем.

51 Біонафта (Bio-oil) – біопаливо III-ої генерації, яке синтезується із біомаси шляхом глибокої хімічної переробки на основі піролізу.

52 Біопаливо (Biofuels) – паливо із рослинної і тваринної сировини та продуктів життєдіяльності організмів або органічних промислових відходів. Розрізняють, тверде (т.з. біопаливо I-ої генерації: дрова, брикети, паливні гранули, тріска, солома, лузга), газоподібне (біопаливо II-ої генерації: синтез-газ,

біогаз, біоводень) і рідке (біопаливо III-ої генерації: біоетанол, біобутанол, біодизель тощо).

53 Біопестициди (Biopesticides) – біогенні сполуки, які викликають загибель або пригнічення розвитку живих організмів у результаті специфічної біологічної дії, а не як хімічні отрути.

54 Біопластик (Bioplastics) або органічний пластик – біодеградуючі форми полімерів, що виробляються із відновлюваної біомаси (водоростей, грибів, вищих рослин, рослинних олій тощо).

55 Біоплівка (Biofilm) – структура, утворена угрупованнями (консорціями) мікроорганізмів на межі агрегатних фаз: рідина – тверда речовина або рідина – газ. У біотехнологіях використовують мікроорганізми, іммобілізовані на поверхні як правило полімерного носія.

56 Біополімери (Biopolymers) – клас високомолекулярних сполук клітинного походження: протеїни, нуклеїнові кислоти, полісахариди тощо.

57 Біопрепарат (Biodrug) – будь-який медичний препарат, що продукується живими організмами або виробляється з їх метаболітів.

58 Біопродукти (Organic products) – біотехнологічні речовини й енергія, одержувані із відновлюваних біологічних джерел, зокрема біомаси.

59 Біореактор (Bioreactor) – замкнений пристрій, що забезпечує оптимальні умови перетворення субстрату за участю біоагента на цільовий продукт певної біотехнології. Найбільш застосованим у різноманітних біотехнологіях типом біореактору є ферментер.

60 Біорегіон (Bioregion) або екорегіон) – територія з інфраструктурою і логістикою, які ґрунтуються на біоекономіці й екологічних принципах.

61 Біоремедіація (Bioremediation) – комплекс методів очищення вод, ґрунтів і повітря з використанням біологічних агентів тобто метаболічного потенціалу живих організмів.

62 Біоресурси (Bioresources) – сукупність генетичних ресурсів, організмів або їх частин, популяцій або будь-яких інших

біотичних компонентів екосистем, які мають фактичну або потенційну користь або цінність для людства.

63 Біорефайнер (Biorefiner) або біозавод – підприємство, що здійснює конверсію біомаси та виробляє паливо, енергію і хімічні речовини у повному циклі.

64 Біосенсор (Biosensor) або біодавач – пристрій, в якому чутливий шар, що містить біологічний матеріал, безпосередньо реагує на присутність певного компонента і генерує відповідний сигнал.

65 Біотестування (Biotesting) – метод сучасної біоіндикації задля визначення токсичності середовища за допомогою тест-об'єктів (модельних організмів), що сигналізують про небезпеку незалежно від того, які речовини і в якому складі та концентрації викликають зміни життєво важливих функцій у них.

66 Біотехнологічне приладобудування (Biotechnological instrumentation) – галузь економіки з виробництва приладів, устаткування й обладнання для різних біотехнологій.

67 Біотехнологія (Biotechnology) або технологія живих систем – комплексний науково-практичний напрямок, що розробляє інженерні питання технологічного використання живих організмів, клітин, їх частин та молекулярних аналогів для виробництва товарів і послуг.

68 Біотехнопарк (Biotechnology park) – науково-технічна установа, основана на застосуванні різноманітних галузей біотехнології та інноваційних процесів.

69 Біофармацевтика (Biopharmaceuticals) – наука, що досліджує фізичні, хімічні та біологічні властивості біопрепаратів і систему їх дозування.

70 Біофармацевтична промисловість (Biopharmaceutical industry) або біофарміндустрія – галузь фармацевтичної промисловості, яка виробляє біофармацевтичні препарати (протеїни, ферменти, антитіла тощо).

71 Біофотоліз води (Biophotolysis of water) – розкладання води на кисень і водень під дією світла за допомогою біологічних агентів.

72 Валова швидкість утворювання продукту (Gross growth rate of product foundation) – зміна концентрації біомаси чи продуктів метаболізму біологічних агентів за одиницю часу.

73 Вакцина (Vaccine) – препарат із загинилих чи ослаблених патогенів або похідних антигенів, який може викликати формування антитіл (імуноглобулінів, інтерферонів, лейкотрієнів тощо) у людини (тварини).

74 Геологічна біотехнологія (Geological biotechnology) або «коричнева» – галузь сучасної біотехнології, основана на використанні геохімічної діяльності мікроорганізмів у гірничодобувній промисловості.

75 Гібридома (Hybridoma) – клітинний гібрид, одержаний злиттям мієломної клітини з плазматичною клітиною імунізованої тварини, здатний синтезувати моноклональні антитіла.

76 Гідрологічна біотехнологія (Hydrological biotechnology) або «синя» – галузь сучасної біотехнології, що займається питаннями вивчення гідробіонтів, зокрема переробки морепродуктів, розведення промислової фауни і флори в умовах аква- або марикультури.

77 Генетично модифікований організм (Genetically modified organism) (скор. ГМО) – неклітинний, одноклітинний чи багатоклітинний організм, здатний до відтворення або передачі спадкового матеріалу, відмінний від природних організмів (диких форм), отриманий із застосуванням методів генної інженерії і містить гени, їх фрагменти або комбінації генів від інших живих організмів.

78 Генна інженерія (Genetic engineering) – сукупність методів і технологій генетичних модифікацій, у тому числі технологій отримання рекомбінантних РНК і ДНК та виділення генів із організму, здійснення маніпуляцій з ними і введення їх в інші організми.

79 Генна терапія (Gene therapy) або генотерапія – сукупність генно-інженерних і медичних методів, спрямованих на внесення змін в генетичний апарат соматичних клітин людини з метою лікування різних захворювань.

80 Гідролізне виробництво (Hydrolysis production) або ідролізна промисловість – виробництво, засноване на реакції

гідролітичного розщеплення глікозидних зв'язків полісахаридів біомаси здерев'янілої рослинної сировини із отриманням цільового продукту – моносахаридів, які піддаються подальшій біохімічній чи хімічній переробці, або входять до складу товарної продукції.

81 Глюкозо-фруктозні сиропи (Glucose-fructose syrups) (скор. ГФС) – харчові продукти, які виробляють із крохмалю і вони є повноцінними заміниками сахарози.

82 Діагностикуми (Diagnostics) – стандартні набори реактивів для різноманітних, зокрема медичних діагностик.

83 Екологічна біотехнологія (Environmental biotechnology) або природоохоронна або «фіолетова» біотехнологія – галузь сучасної біотехнології, що займається вирішенням проблем охорони, збереження, відновлення і збалансованої експлуатації біосфери біотехнічними та природоподібними методами.

84 Економічний коефіцієнт утворення продукту (Economical coefficient) – відношення кількості одержаного цільового продукту біотехнології до кількості використаного компонента поживного середовища.

85 Енергетична біотехнологія (Energy biotechnology) або «помаранчева» – галузь сучасної біотехнології, спрямована на забезпечення енергетичних потреб людини, та заснована на принципах або ресурсах живої природи і збереження природного енергетичного і матеріального балансу довкілля.

86 Імобілізація (Immobilization) – зв'язування біоагента з носієм фізичною або хімічною взаємодією із збереженням його функціональних можливостей.

87 Імобілізований біоагент (Immobilized bioagent) – біоагент, абсорбований або ковалентно прикріплений до поверхні носія, включений у гель або мікрокапсулу, фіксований біофункціональними реагентами, що зберігає свої функціональні властивості.

88 Імунна біотехнологія (Immune Biotechnology) – розділ «червоної» біотехнології, який вивчає створення діагностичних та імунних препаратів для діагностування, лікування й профілактики захворювань людини і тварин.

89 Інгібування (Inhibition) – пригнічення росту біоагентів чи утворення продуктів їх метаболізму, спричинене хімічною чи фізичною дією.

90 Інтерферон (Interferon) – речовина білкового походження, синтезована клітинами людини й тварин, яка належить до універсальних чинників неспецифічної резистентності організму.

91 Каллус (Callus) – гетерогенна маса недиференційованих рослинних клітин, здатних розвиватися на поживних середовищах.

92 Клітинні та тканинні технології (Cell & tissue technology) або цитологічні та гістологічні біотехнології) – розділ біоінженерії, оснований на біомедичних технологіях, зокрема із використанням стовбурових клітин.

93 Клон (Clone) – сукупність генетично ідентичних клітин, що утворилися внаслідок нестатевого розмноження однієї клітини.

94 Константа інгібування (Inhibition constant) – концентрація компонента поживного середовища чи продукту метаболізму, що спричиняє інгібування, за якого питома швидкість росту біоагентів чи утворення продуктів їх метаболізму дорівнює $1/2$ від максимальної.

95 Константа лімітування (Limitation constant) – концентрація компонента поживного середовища, що спричиняє лімітування, за якого питома швидкість розвитку біоагентів чи утворення продуктів їх метаболізму дорівнює $1/2$ від максимальної.

96 Кормові добавки (Feed additives) – білково-вітамінні, мінеральні й інші добавки, що застосовуються при нестачі деяких кормових інгредієнтів у раціоні годівлі тварин.

97 Крива утворювання продукту (Growth curve of product foundation) – графічне зображення залежності концентрації біомаси чи продуктів метаболізму біоагентів від часу в періодичному процесі культивування.

98 Культивування біоагентів (Cultivation of bioagents) – цілеспрямоване вирощування біологічних агентів з використанням поживних середовищ.

99 Культура клітин (Culture of cells) – сукупність окремих клітин рослинного або тваринного походження, здатних розвиватися поза організмом на (у) поживних середовищах.

100 Культура мікроорганізмів (Culture of microorganism) – сукупність клітин мікроорганізмів одного виду, здатних розвиватися на (у) поживних середовищах.

101 Культура тканини (Explant) – сукупність недиференційованих клітин або частин органів рослин і тварин, здатних розвиватися на (у) поживних середовищах поза організмом.

102 Культуральна рідина (Culture liquid) – суспензія біологічних агентів, що містить залишки компонентів поживного середовища й продукти метаболізму.

103 Культивар (англ. Cultivar від лат. cultae – культурний + varieties – різновид) – штучно створений різновид живих організмів: штам мікроорганізмів, сорт рослин або порода тварин.

104 Лімітування (Limitation) – обмеження швидкості росту біоагентів чи утворювання продуктів метаболізму, зумовлене недостатньою концентрацією компонента поживного середовища в культуральній рідині.

105 Лісова біотехнологія (Forest biotechnology) – частина зеленої біотехнології, що займається збереженням і прискореним відтворенням лісових біоресурсів.

106 Марикультура (Mariculture) або морська аквакультура – частина аквакультури, що забезпечує штучне вирощування морських промислових гідробіонтів (тварин і водоростей) у природних і штучних солоних водоймах.

107 Медико-фармацевтична біотехнологія (Medico-pharmaceutical biotechnology) або «червона» – галузь сучасної біотехнології, основаної на застосуванні методів біоінженерії, інноваційні технології лікування і профілактики захворювань, а також включає виробництво біофармпрепаратів, біовиробів медичного призначення, продуктів лікувального харчування тощо.

108 Метаболічний коефіцієнт (Metabolic coefficient) – кількість використаного компонента поживного середовища або метаболіту, утвореного одиницею маси біоагенту за одиницю часу.

109 Моноклональні антитіла (Monoclonal antibodies) – антитіла, синтезовані клонованими гібридами, які мають однакові властивості.

110 Нанобіотехнологія (Nanobiotechnology) або біонанотехнологія – молекулярні технології створення і використання біомолекул як компонентів нанотехнології.

111 Наномедицина (Nanomedicine) – комбінований термін, що позначає застосування нанотехнологій задля лікування і діагностики різних захворювань.

112 Періодичне культивування біоагентів (Batch cultivation of bioagents) – культивування біоагентів без видалення культуральної рідини з ферментера та з введенням у нього відповідної кількості поживного середовища.

113 Питома швидкість утворювання продукту (Specific growth rate of product foundation) – відношення приросту концентрації цільового продукту до його початкової концентрації за одиницю часу.

114 Постгеномні технології (Postgenomic technologies) – технології, що виникли на основі знань про геном організмів, перш за все геном людини.

115 Препарат бактеріофага (Bacteriophage preparation) – фільтрат лізованої відповідним високоспецифічним фагом бактеріальної культури, що його використовують для профілактики, діагностування та лікування інфекційних хвороб.

116 Приріст концентрації продукту (Yield concentration of product) – різниця між концентраціями біомаси чи продуктів метаболізму біологічних агентів у кінці та на початку процесу культивування.

117 Пробіотик (Probiotic) – концентрат симбіотичної мікрофлори кишечника людини, застосовуваний для відновлення нормального мікробіоценозу в разі захворювання на дисбактеріоз.

118 Продуктивність процесу біосинтезу (Productivity of biosynthesis process) – кількість цільового продукту, одержуваного з одиниці об'єму поживного середовища за одиницю часу.

119 Промислова біотехнологія (Industrial biotechnology) – виробництво біопалива, ферментів і інших біопродуктів для різних галузей промисловості.

120 Протопласт (Protoplast) – мікробна або рослинна клітина, звільнена ферментативним або механічним способом від клітинної стінки.

121 Субстрат (Substrate) – 1) у біохімії: вихідний продукт, перетворений ферментом у результаті специфічного фермент-субстратної взаємодії на кінцевий продукт; 2) у мікробіології: поживне, культуральне середовище; 3) у біотехнології: сировина, яка за участю біоагента перетворюється на цільовий продукт.

122 Тотіпотенція (Totipotency) – здатність рослинної клітини розвиватися в цілу рослину.

123 Трансгенні організми (Transgenic organisms) або ГМО – віруси, бактерії, рослини, гриби і тварини, генетична інформація яких змінена з використанням методів генної інженерії.

124 Ферментація (Fermentation) – каталітичний процес біохімічної (ферментативної) конверсії органічної речовини (субстрату) на продукт за участю субстрат-ензимного комплексу.

125 Ферментер (Fermenter) – розповсюджений у більшості біотехнологій тип біореактору – апарат для культивування біоагенту.

126 Харчова біотехнологія (Food biotechnology) або «жовта» – галузь сучасної біотехнології, що займається розробкою теорії і практики створення харчових продуктів загального та лікувально-профілактичного призначення.

127 Харчові добавки (Nutritional supplements) – речовини, що додаються в технологічних цілях у харчові продукти в процесі виробництва, упаковки, транспортування або зберігання задля надання їм бажаних властивостей: аромату (ароматизатори), кольору (барвники), тривалості зберігання (консерванти), смаку (посилювачі смаку), консистенції (гомогенізатори) тощо.

128 Цільовий продукт (Target product) – трансформований біоагентом субстрат, товарна продукція, на виробництво якої спрямована дана біотехнологія.

129 Швидкість розведення культуральної рідини (Delution rate of cultural liquid) – відношення об'єму поживного середовища, яке надходить у ферментер за одиницю часу, до об'єму наявної у ньому культуральної рідини.

130 Штам (Strain) або культивар мікроорганізмів – штучно створений різновид вірусів, бактерій й одноклітинних еукаріот.

ДОДАТОК

Національні стандарти у галузі біотехнологій, гармонізовані з
європейськими

ДСТУ EN 12128:2019 (EN 12128:1998, IDT)	Біотехнологія. Лабораторії, що проводять дослідження, розроблення та аналізування. Коефіцієнт заповнення мікробіологічних лабораторій, зони ризику, місце розташування та вимоги фізичної безпеки
СТУ EN 12460:2019 (EN 12460:1998, IDT)	Біотехнологія. Великосерійна технологія та виготовлення. Настанови щодо вибирання та встановлення устаткування відповідно до біологічного ризику
ДСТУ EN 12468:2019 (EN 12468:1997, IDT)	Біотехнологія. Змінені організми для використання в довкіллі. Настанови щодо стратегії поточного контролювання навмисного поширення генетично змінених рослин
СТУ EN 12683:2019 (EN 12683:1998, IDT)	Біотехнологія. Змінені організми для використання в довкіллі. Настанови щодо складання характеристики генетично зміненого організму через аналізування тривкості зміни геному на молекулярному рівні
ДСТУ CR 12739:2019 (CR 12739:1998, IDT)	Біотехнологія. Лабораторії, що виконують дослідження, розроблення та аналізування. Звіт стосовно вибирання устаткування для біотехнологічних лабораторій залежно від ступеня небезпеки
ДСТУ EN	Біотехнологія. Лабораторії, що виконують

12741:2019 (EN 12741:1999, IDT)	дослідження, розроблення та аналізування. Настанови щодо діяльності біотехнологічних лабораторій
ДСТУ EN 13441:2019 (EN 13441:2001, IDT)	Біотехнологія. Лабораторії, що виконують дослідження, розроблення та аналізування. Настанови щодо стримування поширення генетично змінених рослин

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ЄЛІЗАРОВ Михайло Олександрович
ДІГТЯР Сергій Вікторович
МАЗНИЦЬКА Оксана Вікторівна
НОВОХАТЬКО Ольга Володимирівна
НИКИФОРОВА Олена Олексіївна
ПАСЕНКО Альона Вікторівна
САКУН Оксана Анатоліївна
загальна редакція:
НИКИФОРОВ Володимир Валентинович

ГАЛУЗІ СУЧАСНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ

Підручник

Рецензенти:
КРУСІР Галина Всеволодівна

ЛУБЕНЕЦЬ Віра Ільківна

Технічний редактор і коректор тексту
АРТЕМЕНКО Лариса Леонідівна

Підписано до друку 24.09.2021р.
Формат 60х84^{1/16}. Умовн. друк. арк. 7,9.
Наклад 250 прим. Замовлення № 74-21.
Папір офсетний. Гарнітура Times.

Видавець і виготовлювач ПП Щербатих О. В.
Вул. Софіївська, 36-Б, м. Кременчук, 39601
Свідectво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2129 від 17.03.2005
www.novabook.com.ua