

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Факультет ветеринарної гігієни, екології та права
Кафедра екології

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до вивчення нормативної навчальної дисципліни
«Екологічна біотехнологія»

для студентів денної форм навчання
Галузь знань: 10 «Природничі науки»
Спеціальність: 101 «Екологія»
другий (магістерський) рівень спеціальності
за освітньою програмою «Екологія»

Львів 2021

Укладач:

Завідувач кафедри, д.с.-г.н,
професор кафедри екології

Р.П. Параняк

*Затверджено методичною комісією спеціальності 101 «Екологія»
протокол №5 від 22 січня 2021 р.) за поданням кафедри екології
(протокол №7 від 21 січня 2021 р.).*

Параняк Р.П. Екологічна біотехнологія: методичні
рекомендації для студентів спеціальності 101 "Екологія". Львів :
ЛНУВМБ, 2021. 47 с.

Рецензенти:

Смолінська О.Є. – доктор педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри філософії та педагогіки Львівського
національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С. З. Гжицького;

Мальований М.С. – доктор технічних наук, завідувач
кафедри екології та збалансованого природокористування Інституту
екології, природоохоронної діяльності та туризму ім. В'ячеслава
Чорновола Національного університету «Львівська політехніка».

Методичні рекомендації містять матеріал та завдання для аудиторних занять із дисципліни "Екологічна біотехнологія" й покликані допомогти студентам у вивченні дисципліни, усвідомити екологічну спрямованість біотехнологій та різноманіття їх застосувань у різних галузях, зокрема з метою уникнення негативного впливу на довкілля, утилізації і знешкодження нових небезпечних відходів біотехнологічними методами. Призначено для студентів відповідного напрямку підготовки.

© Роман Параняк, 2021

© Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2021

Зміст

| | |
|--|----|
| Опис та навчально-тематичний план дисципліни | 4 |
| Вступ | 6 |
| Тема 1. Екобіотехнологія – комплексна міждисциплінарна наука..... | 8 |
| Тема 2. Біомоніторинг довкілля | 13 |
| Тема 3. Альтернативні продукти екобіотехнології..... | 17 |
| Тема 4. Системи очищення стічних вод | 22 |
| Тема 5. Специфіка біоочисних комплексів виробництв | 27 |
| Тема 6. Біодобрива – екобіотехнологічна альтернатива збагачення ґрунтів | 31 |
| Тема 7. Біоочищення ґрунтів | 36 |
| Тема 8. Біоочищення повітря..... | 40 |
| Термінологічний словник..... | 43 |
| Приклади типових тестових запитань | 45 |
| Список рекомендованої літератури..... | 47 |

Опис та навчально-тематичний план дисципліни

Опис навчальної дисципліни згідно робочої програми

| Найменування показників | Всього годин | |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| | Денна форма | Заочна форма |
| Кількість кредитів/годин | 3,5/105 | - |
| Усього годин аудиторної роботи | 32 | - |
| в т.ч.: | | |
| лекційні заняття, год. | 16 | - |
| практичні заняття, год. | 16 | - |
| лабораторні заняття, год. | | |
| семінарські заняття, год. | | - |
| Усього годин самостійної роботи | 73 | - |
| Форма контролю | залік | |

Примітка.

*Частка аудиторного навчального часу студента у відсотковому вимірі:
для денної форми здобуття освіти – 30,5 %*

Розподіл навчальних занять за розділами дисципліни

| Назви розділів і тем | Денна форма | | | Заочна форма | | |
|---|-------------|-----------|-----------|--------------|---|---|
| | л | п | с | л | п | с |
| Тема 1. Екобіотехнологія – комплексна міждисциплінарна наука | 2 | 2 | 6 | - | - | - |
| Тема 2. Біомоніторинг довкілля | 2 | 2 | 6 | - | - | - |
| Тема 3. Альтернативні продукти екобіотехнології | 2 | 2 | 6 | - | - | - |
| Тема 4. Системи очищення стічних вод | 2 | 2 | 6 | - | - | - |
| Тема 5. Специфіка біоочисних комплексів виробництв | 2 | 2 | 12 | - | - | - |
| Тема 6. Біодобрива – екобіотехнологічна альтернатива збагачення ґрунтів | 2 | 2 | 5 | - | - | - |
| Тема 7. Біоочищення ґрунтів | 2 | 2 | 16 | - | - | - |
| Тема 8. Біоочищення повітря | 2 | 2 | 16 | - | - | - |
| Разом | 16 | 16 | 73 | - | - | - |

Вступ

Біотехнологія, згідно поширеного визначення, це використання живих організмів і біологічних процесів у виробництві. Проте, якщо прийняти формально таке визначення за основу, то до складу біотехнологій потрапляє усе традиційне сільське господарство упродовж останніх кількох тисяч років. Разом із тим, сьогодні біотехнологію асоціюють із елементами генної інженерії, новітніми методами у виробництві та переробці, екологічними технологіями тощо. Збагнути місце біотехнологічних методів у сучасному світі – одне із завдань циклу дисциплін про біотехнології, які викладають студентам природничих наук спеціальності „Екологія”: „Основи біотехнології”, „Екологічна біотехнологія”, „Біометоди в екології” тощо.

Зміст курсу навчальної дисципліни „Екологічна біотехнологія” робить акцент на екологічних застосуваннях біотехнологічних методів: біомоніторингу стану довкілля, запобіганню та усуненню забруднення повітря, води та ґрунту тощо. Важливий напрям біотехнологічної науки – сприяння розв’язанню задачі пошуку альтернативних джерел енергії та альтернативних сировинних запасів для різних галузей і сфер діяльності людини.

Число екологічних застосувань біотехнології та обсяг інформації, що стосується методів та прийомів біоочищення, отримання енергоносіїв із біомаси, застосування біотехнологічних аналітичних систем тощо величезний і не може бути детально опанований за години, які виділені для аудиторних занять і матеріал для яких розміщено у цих методичних рекомендаціях. Біля 70% від загального часу, виділеного на опанування дисципліни становить самостійна робота, інструкції до якої описано у окремих методичних вказівках із даної навчальної дисципліни. На самостійне опрацювання відведено теми, що стосуються роботи із субстратами та отримання продуктів біотехнологій, ферменти, зокрема більш детальне вивчення процесів аеробної та анаеробної ферментації відходів, технологічні схеми і практичне застосування аерувальних систем очищення стічних вод та анаеробних систем перероблення відходів, біохімічні підходи в області окислення важких металів та перетворення сонячної енергії.

При вивченні курсу студенти отримують теоретичну основу під час лекційних занять, закріплюючи її на практичних заняттях та шляхом самостійної роботи. Ці методичні рекомендації містять короткий теоретичний мінімум та питання для самоперевірки із восьми тем, на опанування якими відводиться 16 годин лекційних та стільки ж практичних занять. Окремі розділи рекомендацій містять термінологічний словник із роз'ясненням основних термінів, що стосуються застосування біометодів та біотехнологій у екології, а також приклади типових тестових запитань з даної дисципліни.

Опанування екологічних аспектів сучасних біотехнологій стане на пригоді студентам спеціальності „Екологія” й допоможе усвідомити доцільність використання біотехнологічних методів для захисту довкілля. Необхідним елементом вивчення курсу є використання принаймні основної рекомендованої літератури [1-3]. Навчальний посібник [1] допоможе поглибленому теоретичному вивченню основних тем курсу, посібник [2] містить завдання й приклади виконання лабораторних робіт, які охоплюють основні розділи курсу екологічної біотехнології і будуть корисні тим, хто зацікавиться прикладними аспектами дисципліни. Навчальний посібник [3] серед іншого пропонує виклад закономірностей та співвідношень для емпіричного опису використання культур мікроорганізмів, опис окремих екобіотехнологій та особливостей їх інженерної реалізації.

Тема 1. Екобіотехнологія – комплексна міждисциплінарна наука

Біологія як наукова основа біотехнологічних процесів і систем протягом останніх десятиріч зробила упевнений крок уперед на шляху пізнання різних форм життя. Нові відкриття в різних галузях біологічної науки багато в чому узагальнили розрізнені прикладні напрями, підвели під них єдину фундаментальну основу. Це розширило можливості практичного використання біології в цілому, а не тільки окремих її напрямів. На стику біологічних, хімічних і технічних наук виникла міждисциплінарна галузь *біотехнологія*.

Біотехнологія (від греч. Βιο – життя, τεχνο – мистецтво та λογία – слово, учення) являє собою наукову галузь, що досліджує можливості використання живих організмів та біологічних процесів у промисловому виробництві.

Предметом біотехнології є дослідження особливостей функціонування й розвитку біологічних систем та виявлення закономірностей, у яких можливе створення умов проведення спрямованого біосинтезу. Об'єктами біотехнологічних досліджень виступають компоненти природних і штучних екосистем, їх регуляція, життєздатність, а також перспектива зменшення техногенного навантаження на довкілля. У біотехнології використовують різноманітні методи (див. рис.1.).

Основні завдання біотехнологій в екології:

- збереження цілісності навколишнього природного середовища, його стабільності, стійкості, використання екологічно безпечних біотехнологічних методів у певних галузях господарської діяльності;
- широке запровадження методів біодеградації твердих і рідких комунальних та промислових відходів;
- використання засобів біоочищення побутових і промислових стічних вод на базі іммобілізованих фільтрувальних систем, біофільтрів;

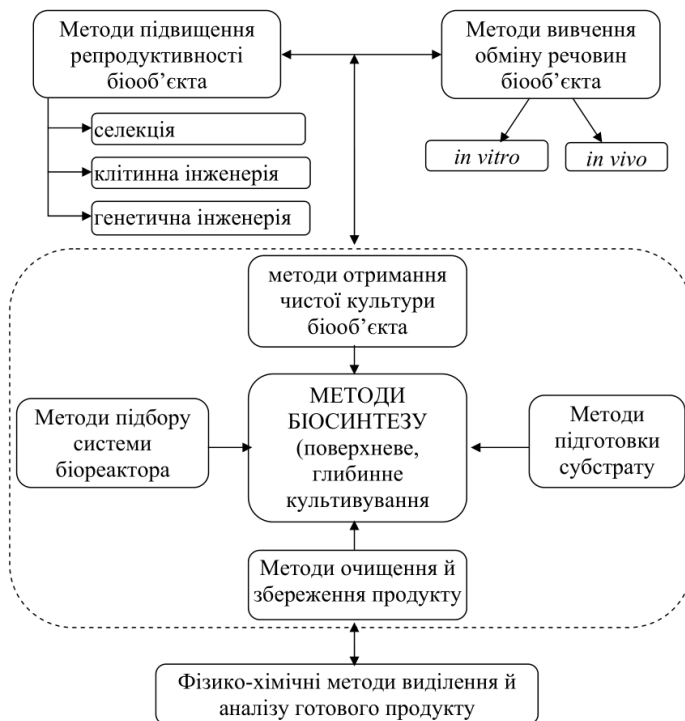


Рис.1. Схема комплексу методів біотехнологічного виробництва та їх взаємозв'язку

- налагодження виробництва альтернативних видів біопалива (біогазу, біоетанолу);
- створення альтернативних технологій для застосування в агро-промисловій галузі;
- дотримання технологічних принципів перетворення природних матеріалів, енергії, що ґрунтуються на раціональному природокористуванні;
- проектування й виробництво інженерних конструкцій, аналітичних пристроїв з використанням біомолекул для проведення екологічного моніторингу, біоіндикації (створення біосенсорів різних модифікацій, біоелементів-біочипів для кібернетики, а також в електронно-обчислювальних машинах);

- розробка методів генетичної та клітинної інженерії для виготовлення біооб'єктів з катаболічною системою детоксикації шкідливих ксенобіотиків;
- використання біосинтетичних, біологічно активних речовин у медицині та ветеринарії;
- уведення корисних біодобавок у продукцію харчової промисловості;
- створення й застосування технологій збагачення та біопереробки мінеральної сировини;
- упровадження альтернативних технологій у діяльність агропромислового комплексу.

Біотехнологія як наука формувалася поступово протягом еволюційного розвитку людства. У давні часи головним досягненням емпіричної біотехнології було те, що завдяки успіхам рільництва й тваринництва можна було прогодувати більшу кількість людей. Новий етап розвитку пов'язують із іменем Луї Пастера (1822–1895), який своїми працями створив реальні передумови для виникнення й розвитку прикладної мікробіології та біотехнології. Пастер відкрив мікробну природу бродіння, довів можливість життя без кисню, розробив теоретичні положення вакцинопрофілактики та вакцинотерапії, став автором методу стерилізації (пастеризації). Виявив мікробіологічну сутність багатьох хвороб людини, був одним із творців мікробіології та імунології. На базі його досліджень виникло й розвивалось бродильне виробництво органічних розчинників (ацетону, етанолу, бутанолу й ізопропанолу) та інших хімічних речовин наприкінці XIX та на початку XX ст.

Пастерівські відкриття мали гідне продовження в дослідженнях учених різних країн світу: Р. Коха, Г.Н. Габричевського, Д.Й. Іванівського, Е. Дюкло, А. де Барі, Е. Ру, Ш.Е. Шамбертена, Ж.А. Вільємена, Д. Листера, І.В. Баранецького, О. Брефельда та ін. Особливо вагомий внесок у мікробіологічні дослідження та розширення можливостей методів біотехнології зробив Р. Кох. Неоцінними були успіхи у вивченні мікроорганізмів та можливості їх практичного використання українських учених І.І. Мечникова, Д.К. Заболотного, В.Л. Омелянського, М.Ф. Гамалії, Л.О. Тарасовича.

На початку ХХ ст активно будували дріжджеві заводи, виробництво ацетону, бутанолу, лимонної та молочної кислот, що утворюються у процесах бродіння. Період 1941–1960 рр. – ера антибіотиків (відкриття Флемінгом пеніциліну у 1928 знайшло продовження у роботах Х. Флорі та Є. Чейна, яку у 1940 отримали очищений від домішок жовтий порошок пеніциліну). Британські дослідники у 1943 р. виявляють мутації бактерій, що стає початковим періодом розвитку генетичної інженерії. Розробку цього напрямку було продовжено в фундаментальних роботах амер. учених М. Маккарті й К. Маклеода, які відкрили молекулу ДНК (ген); дослідників із Кембриджа Ф. Крика та Дж. Уотсона (1953), що встановили її структуру. Англ. біохімік Ф. Сенгер (1953) виконав повний опис структури білка інсуліну; ним вперше в лабораторних умовах було синтезовано молекулу ДНК (1958).

Період 1960-1975 називають періодом керованого біосинтезу: розробка й запровадження аналітичних методів; набув поширення мікробний синтез речовин, промислове використання іммобілізованих ферментів і клітин, виробництво біогазу тощо.

Нпрешту період із 1975 р по сьогодні називають сучасним періодом розвитку біотехнології. Значні успіхи фундаментальних досліджень у галузі біохімії, біоорганічної хімії, молекулярної біології, мікробіології та генетики, які мали місце протягом другої половини ХХ ст., створили передумови для керування елементарними механізмами життєдіяльності клітини, що було потужним імпульсом для розвитку біотехнології. Саме генетична й клітинна інженерія визначили головні напрям сучасної біотехнології.

До основних здобутків останнього періоду можна віднести те, що протягом цього періоду розроблено експрес-метод хімічного аналізу ДНК, визначення послідовності в нуклеотидах азотистих основ (1976); уперше синтезовано ген (1977), сконструйовано перший синтезатор генів (1980); створені синтезатори нуклеотидів та комплекси мікроаналізаторів нуклеїнових кислот (генів) із програмним забезпеченням (1982); технологічні лінії автоматизованого синтезу поліпептидів; розроблено експериментальні методи ультрацентрифугування, електрофорезу, афінної хроматографії та ін.

Вагомий внесок у розвиток біотехнології зробили вітчизняні вчені. Дослідження мікробіолога Д.Й. Іванівського пов'язані з використанням бактеріальних фільтрів для відкриття вірусів; у працях засновника епідеміології Д.К. Заболотного розроблено теорії інфекційних захворювань та імунітету, вперше застосував хімічні вакцини; В.Л. Омелянський вивчив роль мікроорганізмів у кругообігу азоту в природі та в біодеградації гірських порід; мікробіолог С.М. Виноградський досліджував процеси хемосинтезу, пов'язані з типом живлення сірко-, нітрифікувальних і залізобактерій, що має велике значення в утриманні азоту, сірки в ґрунті, в очищенні стічних вод.

Питання для самоперевірки

1. Що являють собою передумови формування біотехнології як науки?
2. Охарактеризуйте предмет і об'єкти біотехнології.
3. Охарактеризуйте завдання біотехнологій в екології.
4. Кого серед учених-дослідників можемо вважати засновниками біотехнології?
5. Яким був науковий внесок Л. Пастера в розвиток біотехнології?
6. Які науки сформували теоретичне підґрунтя біотехнології?
7. Коли і ким уперше було синтезовано молекулу ДНК?
8. З іменами яких учених пов'язують відкриття антибіотиків?
9. На який період припадає виникнення сучасної біотехнології?
10. На яких науково-методичних засадах базується біотехнологія?
11. Який внесок зробили українські учені в розвиток біотехнології?
12. Які господарські проблеми можна вирішити за допомогою різних біотехнологій?
13. Які конкретні завдання ставляться перед екологічно спрямованими біотехнологіями?
14. Коли вперше створені синтезатори нуклеотидів та комплекси мікроаналізаторів нуклеїнових кислот (генів) із програмним забезпеченням?
15. Із яких основних елементів складається біотехнологічний процес?
16. Чому розвиток біотехнологій в Україні можна назвати перспективним?
17. Які стратегічні перспективи розвитку біотехнологій у світі?
18. На яких принципах базується реалізація біотехнологічних процесів?
19. Які види продукції можна виготовляти, застосовуючи біотехнології?
20. Чому використання біотехнологічних методів дає можливість комплексно вирішувати екологічні проблеми?

Тема 2. Біомоніторинг довкілля

На стан довкілля впливають численні антропогенні фактори (АФ). Важливим є відстежувати дію таких факторів. Таку дію можна виявляти безпосередньо (як от вирубка лісу), або опосередковано, як от пригнічення певних видів рослинності унаслідок забруднення довкілля. На будь-який вплив природних абіотичних і біотичних факторів у живих організмів вироблені у процесі еволюції певні пристосувальні (адаптивні) властивості, тоді як на більшість антропогенних факторів, які діють переважно раптово (непередбачуваний вплив), подібних пристосувань у живих організмів немає, проте їх реакцію можна відстежити.

Моніторинг довкілля – інформаційна система регламентованих періодичних безперервних, довгострокових спостережень, оцінки і прогнозу змін стану природного середовища. Біологічний моніторинг — це контроль стану довкілля за допомогою живих організмів.

Біомоніторинг передбачає використання організмів для оцінки забруднення навколишнього середовища, наприклад навколишнього повітря або води. Це можна зробити якісно, спостерігаючи та зазначаючи зміни в організмах, або кількісно вимірюючи накопичення хімічних речовин у тканинах організму. Спостерігаючи або вимірюючи вплив довкілля на організми, що мешкають в ньому, можна запідозрити або зробити висновок про забруднення.

Досягнення в галузі біохімії, ензимології та електроніки дали початок розвитку нового аналітичного напрямку – створення біотехнологічних сенсорних методів аналізу з використанням аналітичних приладів на основі біологічних матеріалів – біосенсорів. Екологічна біотехнологія широко залучає системи біосенсорів до індикації та кількісної реєстрації певних молекул різних речовин, у тому числі й токсичних (пестицидів, іонів важких металів та ін.).

Біосенсори – це пристрої-аналізатори, які складаються з двох основних взаємопов'язаних функціональних частин: біоселективна – детектор (датчик), що має біологічно активну структуру; перетворювальна фізико-хімічна система (трансдюсер).

У роботі датчиків використовують різні селективні біологічні елементи й матеріали (каталітичні – ферменти, мембрани, тканини,

клітини живих організмів; некаталітичні системи – антитіла, антигени, нуклеїнові кислоти тощо). Функції трансдьюсерів можуть виконувати електрохімічні перетворювачі (електроди); оптичні та ін. перетворювачі; колориметричні, резонансні системи. Базуючись на типі біотрансдьюсерів виокремлюють біосенсиори електрохімічні, оптичні, електронні, п'єзоелектричні, піроелектричні, гравіметричні

Біосенсорні аналізатори мають досить просту конструкцію, вони надійні в експлуатації, до того ж портативні. Порівняно з традиційними фізико-хімічними аналізаторами ці прилади більш чутливі (здатні визначити навіть дуже малі кількості реєстрованої речовини – менше 10^{-12} г), причому реалізують можливість аналізувати одночасно кілька параметрів або речовин (у тому числі й токсичних). Найбільш поширеними в практичних дослідженнях є ферментні й клітинні біосенсиори.

Біосенсиори на основі ферментів мають високу селективність, у них ефективно поєднуються ферментативно-каталітичні та електрохімічні реакції, що проходять на занурених у розчин електроліту електропровідних матеріалах – електродах. Такі пристрої широко використовуються в медицині для визначення вмісту в клітинах живих організмів глюкози, амінокислот, лактози, пірувату, ацетилхоліну, сечовини та інших метаболітів.

Використання для аналітичних потреб ферментів у складі біосенсорів характеризується тим, що тут можуть бути задіяні всі класи біокаталізаторів (оксидоредуктаза, трансфераза, гідролаза, ліаза, ізомераза, лігаза).

Біосенсиори на основі іммобілізованих ферментних систем набувають широкого практичного застосування в найрізноманітніших екологічних аспектах, а саме: для визначення вмісту різних органічних та неорганічних речовин у біологічних середовищах; для індикації ступеня забрудненості об'єктів довкілля різними типами шкідливих речовин, наприклад пестицидами, ціанідами, іонами важких металів; у медичній діагностиці; з метою контролю ефективності біотехнологічних процесів у різних галузях людської діяльності.

Клітинні біосенсиори, конструкція яких передбачає іммобілізацію живих клітин у полімери або тверді носії різної природи, вико-

ристовуються для оцінювання стану довкілля (виявлення токсичних речовин в об'єктах середовища, діагностування наявності токсикантів в організмі людини, у продуктах харчування, у повітрі тощо). Це досить чутливі прилади, ефективність яких забезпечує швидкість отримання результатів (за декілька хвилин), що мають унікальну специфічність.

Серед найбільш поширених біосенсорів клітинного типу можна назвати аналізатор для селективного визначення вмісту фенолів, проліну, глутаміну, тирозину, молочної та аскорбінової кислоти, а також для експрес-аналізу якості питної води й стану стічних вод, у тому числі й шахтних. Зауважимо, що саме у шахтах використовували історично один із перших біоіндикаторів стану повітря – канарку у клітці як індикатор вмісту монооксиду вуглецю.

В Інституті молекулярної біології та генетики НАН України створено близько двадцяти лабораторних макетів потенціометричних і кондуктометричних біосенсорів з використанням світлого ефекту люцеферази. Також у співавторстві із спеціалістами Львівського відділення регуляторних клітинних систем Інституту біохімії НАН України на основі генетично модифікованих клітин було виділено культуру метилотрофних дріжджів, що мають високу селективність. Використання отриманих дріжджових клітин у біосенсорній практиці дозволяє визначати малі концентрації високотоксичних речовин (метанолу, етанолу й формальдегіду) в різних середовищах.

Останнім часом спостерігається тенденція поширення біосенсорної технології на світовому ринку. Так, за статистичними даними економічного аналізу у світі на потреби біосенсорики в 1997 було витрачено 10 млн дол., а вже в 2005-му цей ринок оцінювався в 150 млн дол. Отже, виробництво вітчизняних біосенсорів має добрі перспективи використання на внутрішньому ринку й отримання прибутку від їх експорту.

Медичні застосування біосенсорів зазвичай розділяють на методи, які використовують *in vitro* та *in vivo*. Прикладом біосенсора *in vitro* є фермент-кондуктометричний біосенсор для моніторингу глюкози в крові. Біосенсор *in vivo* – це імплантований пристрій, який працює всередині тіла пацієнта. Звичайно, біосенсорні імпланти

повинні виконувати суворі правила щодо стерилізації, щоб уникнути початкової запальної реакції після імплантації. Прикладом застосування біосенсора *in vivo* може бути моніторинг інсуліну в організмі, який поки що недоступний. Для безперервного контролю рівня глюкози розроблені найсучасніші біосенсорні імпланти, які інтегрують із мобільними пристроями та бездротовими системами.

Існують приклади застосувань біосенсорів в аналізі харчових продуктів. У харчовій промисловості їх використовують для виявлення патогенних мікроорганізмів та харчових токсинів. Зазвичай сигнальною системою в цих біосенсорах є флуоресценція, оскільки цей тип оптичного вимірювання може значно посилити сигнал.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення біомоніторингу.
2. У чому відмінність між якісним та кількісним біомоніторингом?
3. Дайте визначення біосенсорів та обґрунтуйте переваги їх застосування у різних сферах людської діяльності.
4. На яких теоретичних засадах базується біосенсорика?
5. Які принципи і яку схему функціонування покладено в основу дії біосенсорів?
6. Які галузі національної економіки використовують біосенсори?
7. Що являє собою біоселективний елемент?
8. Яким чином реалізується біотехнологічний процес у конструктивній схемі біосенсорів?
9. Які типи трансдьюсерів застосовуються в біосенсорах?
10. У чому полягає екологічність використання біосенсорів?
11. Які екологічні переваги мають ферментні біосенсори?
12. Як працюють клітинні біосенсори та які їх екологічні переваги?
13. З якою метою використовують біосенсори в гірничій промисловості?
14. Які групи хімічних речовин дозволяють аналізувати біосенсори?
15. Які здобутки й перспективи розвитку біосенсорики в Україні?
16. У чому полягає комерціалізація виробництва біосенсорів?
17. Для аналізу яких речовин доцільно використовувати біосенсори?
18. Перспективи використання біосенсорів у агропромисловому комплексі?
19. Які екологічні переваги застосування біосенсорів на основі іммобілізованих ферментних систем?
20. З якою метою застосовують ферментні біосенсори в медицині?

Тема 3. Альтернативні продукти екобіотехнології

Необхідність запровадження в біотехнологічну практику альтернативних (від лат. *alter* – інший) відновлюваних джерел енергії пояснюється вичерпністю традиційних енергетичних ресурсів, а також це пов'язує із великою кількістю екологічних проблем, що виникають у процесі використання традиційних енергетичних природних джерел. Ученими підраховано, що при збереженні сучасних темпів видобутку й використання корисних копалин їх вистачить на 30–40 років. Інтенсивний видобуток і застосування корисних копалин (вугілля, нафти, сланцевого газу, торфу тощо) призводить до того, що в навколишньому середовищі підвищується рівень концентрації токсичних елементів.

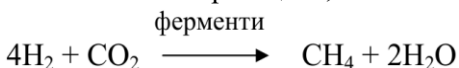
Серед основних видів біопалива виокремлюють: біогаз (виготовлений на базі відходів рослинництва й тваринництва), біоетанол (вироблений на основі цукроносних і крохмалевмісних культур), біодизель (метилові й етилові ефіри рослинних олій) та тверде паливо (побічна продукція рослинництва й лісового господарства – традиційні дрова, палети, тощо).

Біотехнологічний процес утворення біогазу являє собою розкладання органічної маси різними групами бактерій, у тому числі й метановими. Україна має багату сировинну базу (відновні ресурси) для цього виробництва (відходи рослинництва, тваринництва й птахівництва), що дозволяє щорічно отримувати 20–50 млн т умовного палива. Метанові бактерії, або метаногени, адаптовані до існування в різних живильних середовищах, за морфологічною будовою поділяються таким чином: паличкоподібні (*Methanobacterium*), кокоподібні (*Methanococcus*); сарциноподібні (*Methanosarcina*); спірілоподібні (*Methanospirillum*). У природних екосистемах метаногенами є представники останньої ланки трофічного ланцюга. Так, на болотах, в озерах тощо за участю активних ферментних систем метанових бактерій спостерігається деградація залишкової органічної маси (гниття). Звільнена в цьому анаеробному процесі енергія речовин перетворюється на молекули метану. Існує можливість добувати біогаз і в аеробних умовах з будь-якого органічного субстрату.

Анаеробний процес утворення метану називають *метаногенезом*. Унаслідок метаногенезу утворюється газова суміш, яку називають біогазом. Останній складається з таких компонентів: метан (CH₄) – 50–75 %, вуглекислий газ (CO₂) – до 25–30 %, сірководень (H₂S) – 1 %, а також із незначної кількості азоту (N₂), аміаку (NH₃), кисню (O₂), водню (H₂) та закису вуглецю (CO).

Ланцюговий механізм анаеробного процесу метаногенезу з використанням органічної сировини полягає в: 1) перетворенні органічних речовин субстрату (полісахариди, білки, жири) на суміш моносахаридів, амінокислот, жирів; 2) на їх основі: утворення ацетату, вуглекислого газу й водню безпосередньо або із залученням ацетогенних бактерій із органічних кислот із подальшою 3) переробкою метановими бактеріями на суміш метану й вуглекислого газу.

Умовно виділяють чотири стадії бактеріального метаболічного руйнування органічних субстратів з отриманням біогазу. I стадія – бактерії-аероби ферментативно перебудовують високомолекулярні сполуки, що містяться в біомасі відходів (білки, полісахариди, в основному целюлозу й ліпіди) у низькомолекулярні водорозчинні зброджувані метаболіти: цукри, амінокислоти, жирні кислоти. II стадія – до розщеплення залучаються кислотоутворювальні бактерії, в середину клітин яких проникають окремі молекули, де вони продовжують ферментативно змінюватись. При цьому формуються необхідні умови для активації метанових бактерій (рівень pH знижується). Цей етап називають фазою біологічного окиснення. III стадія – проходить перетворення органічних кислот (бурштинової, мурашиної, масляної, молочної, пропіонової) на продукти, що є попередниками метану, а саме: оцтову кислоту, діоксид вуглецю й водень. IV стадія – продукти життєдіяльності метанових бактерій (*Methanobacterium formicicum*, *Methanospirillum hungati*) ацетат, діоксид вуглецю й водень переважно перетворюються в метан. Основним джерелом енергії для метанових бактерій є саме молекула H₂ (донор водню) й діоксид вуглецю. Утворення метану відбувається за спрощеною відновною біокаталітичною реакцією, а саме:



Чим складніша структура компонентів субстрату, тим більш тривалим буде їх біохімічне розщеплення. Низькомолекулярні вуглеводи й амілоза крохмалю ферментативно руйнуються дуже швидко, повільно бактерії розкладають лігнін. Якість біогазу залежить від вмісту в ньому метану або від співвідношення між першим (CH_4) і діоксидом вуглецю (CO_2), який розчиняє біогаз і спричиняє його втрати під час зберігання. Чинники якості: технологічна схема, склад субстрату, температурний режим, обмеження сірководню у системі та водяної пари у кінцевому продукті.

Конструктивно-технологічні параметри й технологічні схеми біогазових установок підбирають з огляду на об'єми переробки та властивості зброджуваного матеріалу, враховуючи тепловий режим, способи завантаження субстрату, інокуляту й ряд інших факторів. Конструкція такої установки загалом залежить від місцевих умов, наявності доступних і недорогих матеріалів.

Для переробки органічних відходів, що утворюються в агроценозах України, доцільно використовувати біогазову установку ЕКОГАЗ [1]. З огляду на безсумнівні переваги біогазових установок, вони можуть бути незамінними: на сільськогосподарських підприємствах (свинофермах; фермах ВРХ; птахофабриках; у господарствах, де виробляють рослинну продукцію та змішаного типу); на переробних підприємствах (спиртові й біоетанольні; пивоварні, цукрові заводи; м'ясокомбінати тощо); у тепличних господарствах; на сміттєпереробних підприємствах, на комунальних підприємствах та на міських очисних спорудах.

У країнах Європи широкого застосування набули два види біопалива: біоетанол (для бензинових двигунів) і біодизельне паливо (для дизельних двигунів). Біоетанол і біобутанол можна виробляти як з рослинної сировини (кукурудзи, пшениці, цукрових буряків, цукрової тростини, сорго та ячменю), так і з вуглеводних відходів с/г культур (сухі стебла соняшнику, качани кукурудзи або різні види соломи). Для виготовлення біодизельного палива деякі виробники застосовують соняшникову (Іспанія, Італія, Греція) та рапсову (решта європейських країн) олію. Лідером використання цього продукту є Німеччина, там щорічно виготовляють і реалізують понад 2 млн

тонн біопалива, а більше тисячі АЗС ним торгують (див.також табл. 1). Взагалі, у світі відомо понад 150 культур, здатних продукувати олію. Перш за все до них відносять рапс, соняшник, гірчицю та ін.

Щорічна потреба України в нафтопродуктах становить 24–28 млн тонн, а природного газу необхідно 85 млрд м³. Свої потреби в нафтопродуктах Україна на 80–90 % забезпечує за рахунок імпорту, у газі – більш ніж на 50 %. У той час, як з тонни рапсу можна отримати близько 270 л біодизельного палива. Актуальність розвитку альтернативних джерел палива в Україні було визнано на державному рівні. У країнах ЄС біопаливо не обкладається екологічним податком і коштує на 40 % дешевше звичайного дизельного. Європейські компанії активно розширюють виробництво біопалива. Використання модифікованих штамів мікроорганізмів, активних при температурі 65–75 °С, дозволяє виготовляти етиловий спирт та інші продукти практично з усіх видів органічних відходів сільського господарства, лісової промисловості й цукрових заводів.

Табл.1. Споживання біодизелю у країнах ЄС, ГВат*год

| № | Країна | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2010 |
|----|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | Німеччина | 18 003 | 29 447 | 33 800 | 28 819 | 25 993 |
| 2 | Франція | 4 003 | 6 855 | 14 121 | 23 501 | 23 532 |
| 3 | Італія | 2 000 | 1 732 | 1 580 | 6 481 | 15 088 |
| 4 | Іспанія | 270 | 629 | 3 012 | 6 036 | 13 803 |
| 5 | Великобританія | 292 | 1 533 | 3 147 | 8 040 | 9 616 |
| 6 | Польща | 152 | 491 | 291 | 3 961 | 9 179 |
| 7 | Австрія | 920 | 3 878 | 2 206 | 2 171 | 4 749 |
| 8 | Португалія | 2 | 818 | 1 570 | 1 545 | 3 783 |
| 9 | Бельгія | 0 | 10 | 1 061 | 1 002 | 3 223 |
| 10 | Швеція | 97 | 523 | 1 195 | 1 511 | 2 035 |

Нині в усьому світі велику увагу приділяють застосуванню енергії, накопиченої рослинами за рахунок фотосинтезу, для технічних потреб, зокрема на автотранспорті. Лідером у вирішенні цієї проблеми є Бразилія, де річне виробництво біоетанолу з цукрової тростини перевищило 150 млн Гкал. Таку саму кількість

біоетанолу планують виробляти в США з кукурудзи, а в 2012 році підняти планку до 284 млн Гкал, одночасно розвиваючи виробництво біодизельного палива з рапсу та сої.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте альтернативні види енергетичних джерел біологічного походження.
2. Використання яких видів сировини має еколого-економічні переваги при виготовленні біогазу?
3. Які властивості метаногенних бактерій зумовлюють їхню можливість утворювати біогаз?
4. З якою метою в біотехнології використовують процес метанового бродиння?
5. Яку екологічну роль відіграють мікроорганізми в природних процесах утворення біогазу?
6. Охарактеризуйте компонентний склад біогазу?
7. У чому полягає хімічний принцип метаногенезу?
8. Назвіть основні технологічні фактори і стадії метаногенезу.
9. Які групи бактерій і за якою схемою беруть участь у процесі утворення біогазу з органічної сировини?
10. Які технологічні параметри впливають на якість біогазу?
11. У чому виявляються конструкційні особливості біогазових установок?
12. У яких галузях національної економіки доцільно використовувати біогазові реактори?
13. Назвіть екологічні переваги виробництва й використання біогазу.
14. Які перспективи використання біогазових установок в Україні?
15. Охарактеризуйте хімічні особливості біоетанолу і біодизельного палива?
16. Розкрийте еколого-економічні принципи використання біоетанолу й біодизельного палива.
17. Які існують екологічні переваги виробництва рідкого біопалива в Україні?
18. Назвіть види сировини, які доцільно використовувати для виготовлення біоетанолу й біодизельного палива.
19. Зробіть порівняльний аналіз перспектив застосування біопалива в країнах ЄС.
20. Охарактеризуйте перспективи біопаливних ресурсів України.
21. Визначте екологічні аспекти виробництва біоетанолу, біодизельного палива та біогазу в Україні.

Тема 4. Системи очищення стічних вод

Промислові й побутові стоки, що потрапляють у природні об'єкти, характеризуються високим рівнем вмісту забруднювальних речовин, значною кількістю токсикантів. За таких обставин самостійне відновлення водних джерел стає неможливим. Очищення стічних вод – це багатоступеневий складний процес, спрямований на відтворення якісної характеристики забрудненої води для можливості її подальшого господарського використання. Очищення води, перш за все, передбачає зменшення вмісту або видалення з неї забруднювальних компонентів: органічних речовин, колоїдних чи завислих твердих частинок, а також знищення хвороботвірних бактерій та ін.

До ефективних біологічних методів відноситься фільтрація стічних вод через біоінженерні очисні споруди (БІС) – біоплато або біоставки. Такі споруди заселяють різними групами вищих водних рослин (ВВР), які, споживаючи розчинні у воді забруднювачі (сульфати, нітрати, нафтопродукти та ін.), здатні використовувати їх у процесі життєдіяльності. При цьому в даних гідроспорудах формується активний штучний біогеоценоз, продуктивність якого залежить від особливостей морфологічної структури представників водних рослин (висока розгалуженість кореневої системи, значна кількість вегетативної маси тощо), а також їх толерантності до різного роду ксенобіотиків. До переваг таких методів очистки відносять відносну універсальність (здатність видаляти шитрокий спектр забруднюючих речовин), якість (після кількох ступеневої очистки вода відповідає нормативам), доспутність та екологічність (процеси очищення не утворюють нових небезпечних речовин).

Основою процесів біохімічного розщеплення речовин у стічних водах є ферментативні гідролітичні та окисно-відновні реакції. Біологічний метод очищення дозволяє, використовуючи активність ферментних систем живих організмів, руйнувати різні органічні сполуки, до складу яких входять вуглець, водень, кисень, азот, сульфур, фосфор. Деструкція складних органічних молекул супроводжується спрощенням їх структури шляхом відщеплення окремих фрагментів.

Багато домішок, що наявні в побутових і промислових стічних водах, під час біохімічних перетворень розкладаються повністю.

Біоценоз, що формується в спорудах біологічного очищення стічних вод, включає сукупність мікроорганізмів, нижчих рослин і тварин, які поєднані між собою умовами сумісної життєдіяльності. До системи біоценозу входять одноклітинні бактерії, актиноміцети (променисті грибки), водорості, дріжджі (водні грибки), які формують перший трофічний рівень. Вони відзначаються ферментативною активністю до будь-якого виду забруднень, що наявні в стоках. Джерелом живлення для мікроорганізмів першого рівня є субстратні сполуки (забруднення), що розкладаються ними до простих речовин. Другим трофічним рівнем є одноклітинні тваринні організми – найпростіші, які споживають біомасу першого трофічного рівня. У свою чергу, найпростіші – представники третього трофічного рівня є поживними елементами для черв'яків (коловерток, нематод) і личинок комах.

Фізіологічні особливості різних видів живих організмів біоценозу проявляються у необхідності кожної групи бути ланцюгом трофічної ланки загального процесу біохімічного перетворення забруднювачів. Підтримка певного співвідношення біомаси трофічних рівнів піраміди в системі очисних споруд дозволяє забезпечувати стабільність освітлення стічної води й знешкодження наявної в ній патогенної мікрофлори.

Залежно від того, які речовини виступають у ролі акцептора водню, процеси біохімічного окиснення субстрату мікробними клітинами поділяють на три основні групи, а саме: клітинне дихання, якщо акцептором водню є кисень (аеробні умови); біохімічне окиснення – процес розщеплення органічних сполук; бродіння (анаеробні умови), коли акцептором водню виступає органічна речовина або анаеробне дихання, якщо акцептор водню – неорганічний агент типу сульфатів, нітратів тощо. Процес аеробного окиснення виявився найбільш ефективним. Він дозволяє мікроорганізмам отримати більшу кількість енергії та виділити у водне середовище екологічно безпечні низькомолекулярні речовини (діоксид вуглецю й воду).

В основі аеробних методів – використання груп мікроорганізмів, для життєдіяльності яких обов'язкове постійне надходження кисню й підтримання температури середовища на рівні 20–40°C. Порушення кисневого й температурного режимів призводить до змін складу та чисельності мікроорганізмів. Мікроорганізми, які окиснюють вуглець, живуть у верхній частині очисного реактора, а бактерії-нітрифікатори перебувають у нижній його частині, де більша конкуренція за кисень та поживні речовини. Аеробні методи прийнято також розподіляти типом резервуара, у якому проходить окиснення речовин-забруднювачів. Резервуарами можуть бути біоінженерні споруди у вигляді біологічних ставків, а також використовують спеціальні апарати – біофільтри й аеротенки. Унаслідок внутрішньоклітинних процесів амінокислоти за участю ендферментів далі руйнуються з виділенням вільного аміаку (процес амоніфікації) та споживанням кисню.

У біологічних ставках (біоплато) аеробне окиснення (процес мінералізації) органічних сполук відбувається за участю мікроорганізмів, водоростей і вищих водних рослин. Поля фільтрації являють собою спеціалізовані земельні ділянки, виділені для скидів забруднених стічних вод і заселені ґрунтовими аеробними мікроорганізмами, які біохімічно перетворюють шкідливі органічні речовини на воду й вуглекислий газ. Біологічні фільтри (біофільтри) – спеціальні типи біореакторів з об'ємним завантаженням фільтрувального елемента, на якому іммобілізована (зафіксована на нерухомому носії) біомаса має вигляд плівки. За конструкцією біофільтри являють собою прямокутні або круглі споруди із подвійним днищем: нижнім – цілісним і верхнім перфорованим (дренажним). Аеротенки відносяться до гомогенних біореакторів. Їх типова конструкція – це глибокий залізобетонний герметичний прямокутний резервуар висотою 3-6 м, обладнаний пристроями для аерації і з'єднаний з відстійником. Аеротенк розділено перегородками на 3–4 коридори. Типи аеротенків визначаються в основному способом надходження кисню, конструкцією реактора та об'ємом завантаженого матеріалу. Біохімічні процеси в аеротенку відбуваються в два етапи, а саме: 1) адсорбція поверхнею активного мулу органічних речовин, що легко окиснюються при

активній участі кисню, та їх мінералізація; 2) доокиснення органічних речовин з регенерацією активного мулу (кисень витрачається біомасою мулу повільніше).

В анаеробних методах передбачено, що очищення стічних вод відбувається без доступу кисню. З цією метою використовують метанове бродіння. Перевага такого методу – високий рівень перетворення речовин-забруднюючих з утворенням додаткового продукту – біогазу. Азотовмісні сполуки стічних вод в анаеробних умовах перетворюються шляхом *денітрифікації* за участю денітрифікувальних бактерій з утворенням газоподібного закису азоту (N_2O) та молекулярного нітрогену (N_2) або аміаку (NH_3). Процес бродіння проводять в закритих резервуарах – метантенках. Метантенки – це герметичні реактори-змішувачі, заповнені іммобілізованим активним мулом, мулові ставки або інші споруди. Продукти деструкції органічних речовин, які утворюються на першому трофічному рівні, виконують функцію субстрату для мікроорганізмів другого рівня. Анаеробне окиснення, як правило, ефективне при очищенні високонасичених органічними речовинами стічних вод.

Методи фільтрації з використанням іммобілізованих систем використовують біотенки, де порівняно з аеротенками забезпечується краще використання O_2 , а окиснювальна здатність на 30% вища.

Ефективність роботи очисних споруд суттєво залежить від оптимального поєднання способу очищення та виду й концентрації забруднюючої речовини (чи їх суміші). Рівень забруднення стічних вод різними речовинами (у розчинній формі чи у вигляді колоїдних або завислих частинок) може бути визначений за кількістю кисню, що витрачається на окиснення цих речовин. Спектр забруднювачів води органічного й неорганічного походження, як правило, дуже широкий і його прийнято характеризувати такими кількісними показниками біоценозу очисних споруд: БСК (біохімічне споживання кисню), ХСК (хімічне споживання кисню), параметром біохімічної активності мікроорганізмів.

Показник БСК характеризує кількість кисню, що потрібна мікроорганізмам для біохімічного окиснення органічних речовин-забруднювачів стічних вод з утворенням CO_2 і H_2O протягом певного часу

(наприклад, за 2, 5, 20 діб – БСК₂, БСК₅, БСК₂₀). Хімічне споживання кисню являє собою один з основних інтегральних показників антропогенного забруднення, що використовується для контролю якості питних, природних стічних вод різного характеру. Біохімічна активність мікроорганізмів у біоценозі очисних споруд пов'язана з їх біохімічною діяльністю, тобто швидкістю біорозкладання органічних забруднень у стічних водах.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть екологічні переваги методів біоочищення стічних вод
2. Охарактеризуйте принципи біологічного очищення промислових та побутових стічних вод?
3. На яких біотехнологічних процесах базується біоочищення стічних вод?
4. Які речовини-забруднювачі можуть міститись у промислових і побутових стічних водах?
5. Які біохімічні процеси лежать в основі біоочищення стічних вод?
6. Які групи мікроорганізмів зазвичай заселяють біоценози очисних споруд?
7. Які фізіологічні особливості представників біоценозу використовують у системі біоочищення стічних вод?
8. Від яких факторів залежить ефективність аеробних методів очищення стічних вод?
9. Який принцип та яка ефективність анаеробних методів очищення стічних вод?
10. Чим відрізняється процес амоніфікації стічних вод від їхньої денітрифікації?
11. Які основні показники біохімічного очищення стічних вод?
12. Що являють собою біофільтри в очисних спорудах, яка їх принципова схема та практичне використання?
13. Коли для очищення стоків використовують метантенки?
14. Від яких параметрів залежить ефективність роботи метантенків?
15. Яка принципова різниця між метантенками й аеротенками?
16. Які споруди для біоочищення стічних вод найбільш ефективні?
17. За яким принципом формується біоценоз у біофільтрах очисних споруд?
18. На яких промислових виробництвах доцільно використовувати біофільтри?
19. Охарактеризуйте схему біоочищення побутових стічних вод.
20. Назвіть переваги використання іммобілізованих біофільтрів.

Тема 5. Специфіка біоочисних комплексів виробництв

Останні десятиліття характеризуються надходженням у довкілля величезної кількості різних за будовою синтетичних органічних сполук, часто токсичних для живих організмів. Утворюються такі речовини у виробництвах різного роду, а для їх розкладу (деградації) використовують, серед іншого, мікроорганізми їх здатністю до катаболізму сполук певного виду. Особливо важливими є дослідження методів біорозкладу типових забруднень та відходів, як от нафтопродуктів, відходів поширених видів виробництв (підприємств харчової та переробної промисловості), агросектору. Розглянемо деякі із них більш детально.

При аварійних розливах нафти (на суші та воді) забруднені території обробляють спеціально вирощеною асоціацією нафтоокиснювальних мікроорганізмів, вносячи різні добавки для їх азотистого і фосфорного живлення. Це дозволяє утилізувати вуглеводи нафти, перетворюючи їх на біомасу мікроорганізмів і діоксид вуглецю. За наявним порівняльним оцінюванням біоокиснення є найбільш дешевим, екологічно безпечним і перспективним методом. У літературі для позначення цього процесу використовують терміни «біодеградація», «біовідновлення», «біорекультивація» і «біоремедіація».

Біологічне очищення стоків сьогодні є необхідним елементом більшості виробництв, що їх генерують. Специфіка їх очищення зазвичай мало відрізняється від розглянутих у попередній темі систем. Звичайне очищення видаляє в основному органічні забруднення. Якщо ж у стоках містяться важкі метали (мідь, нікель, кадмій, хром, свинець та ін.), то потрібні додаткові заходи очищення. Є певні види мікроорганізмів, на яких здатні осідати (сорбувати) метали, розчинені в рідині. Концентрація металів при цьому зростає настільки, що після теплового оброблення біосорбент можна розглядати як сировину для одержання кольорових металів.

Наявність азоту у виробничих стічних водах стимулює метаболічну активність нітрифікувальних бактерій активного мулу, які в аеробних умовах окиснюють амонійний азот до нітратів. У середовищі з високою концентрацією аміаку мікроорганізми споживають його в результаті відновного амінування проміжного продукту

циклу трикарбонових кислот аоксоглутарату. У виробничих і господарсько-побутових стічних водах азот трапляється у вигляді аміаку, нітриту, нітратів, карбаміду, а також у ряді органічних азотомісних сполук природного і неприродного походження. Переважним джерелом азоту для гетеротрофного населення активного мулу є аміак; окиснені форми азоту спочатку підлягають процесам відновлення до аміаку, а потім залучаються до процесів біосинтезу. Органічні сполуки попередньо розщеплюються з вивільненням аміаку, що в подальшому використовується в процесі споживання.

У аграрному виробництві накопичуються великі обсяги твердих органічних відходів. Для їх переробки використовують біокомпостування, що є аналогом аеробного очищення стоків. У тверді відходи можуть вносити інокулянт із суміші угруповань різних видів мікроорганізмів-деструкторів політантів різної природи, а також вносять баластний матеріал типу торфу. Це дозволяє перетворити відходи на добриво або просто використовувати їх для підсіпання доріг, на будівництві та в інших випадках.

Великомасштабне м'ясо-молочне тваринництво й промислове птахівництво створили проблему скупчення на прилеглих до господарств територіях значної кількості рідких фракцій високотоксичного гною та посліду. Ці відходи без належних змін не можуть бути використані в сільському господарстві. Один із способів утримання худоби й птахів – «підстилковий», що припускає накопичення органічних відходів разом з підстилкою та залишками корму. Другий спосіб утримання тварин передбачає видалення відходів шляхом гідрозмиву. При цьому вологість відхідного матеріалу підвищується до 98 %, а утворена високотоксична рідина накопичується в ставках-відстійниках.

Акумуляовані за багато років маси гною поблизу ферм, де утримується велика рогата худоба, свиноферм, а також біля птахофабрик, непридатні для безпосереднього внесення в ґрунт. Ці речовини довгий час зберігають високу токсичність, а тому є постійним джерелом забруднення навколишнього середовища. Для утилізації цих небезпечних рідких відходів тваринництва й птахівництва доцільно застосовувати такі ефективні біотехнологічні

методи: метанове бродіння в біогазових установках; компостування в спеціалізованих господарствах.

Природне компостування відходів (грунтове перетворення свіжого гною ВРХ або курячого посліду на органічне добриво) за участю багатьох видів і форм ґрунтових мікроорганізмів: бактерій, актиноміцетів, мікрофлори, грибів, дощових черв'яків – це дуже тривалий процес, який не дає необхідних результатів. Встановлено, що навіть через три роки в біоконвертованому гної ще міститься велика кількість високомолекулярних органічних сполук, недоступних для засвоєння кореневою системою рослин. У такому гної майже повністю зберігає життєздатність і схожість насіння бур'янів, залишаються незруйнованими гнізда деяких шкідників (наприклад, капустянки). При розкиданні цієї компостованої маси відбувається вторинне засмічення посівів бур'янами й шкідливими фітофагами. Зрозуміло також, що процес традиційного компостування непридатний для утилізації рідких відходів птахівництва через їх високу вологість (близько 98 %).

Для поліпшення якості компосту, скорочення терміну переробки органічних відходів доцільно застосовувати сучасні інтенсивні біотехнології вермикомпостування. Маточна вермикультура (*Esenia foetida*) вноситься у базовий субстрат (типовий склад: гній ВРХ, пташиний послід; с/г та рослинні відходи, торф тощо), відбувається вермикомпостування (прискорена ферментація; гуміфікація; мінералізація), отримуємо продукцію (біогумус, білкова біомаса, препарати біологічно активних речовин, біологічно активні металокомплексні сполуки; фітогормони, амінокислотний комплекс, біогаз, мінеральний комплекс). Методом вермикомпостування можна переробляти практично всі види органічних відходів.

Для проведення основного процесу вермикультивування на поверхню базового субстрату в стартовому бурті рівномірно розподіляють компост, що містить черв'яків із маточника, оптимальна щільність яких має становити приблизно 50000 особин на 1 м². Далі треба постійно контролювати й підтримувати вологість субстрату на рівні 70–80 %. Оптимальна температура субстрату в стартовому бурті має становити 19–20 °С. Від пересихання бурти слід вкривати

пухким шаром соломи. Якщо вологість у бурті стане нижчою 70 %, то їх потрібно поливати дехлорованою (відстояною) водою. Однією з основних умов нормальної життєдіяльності черв'яків є постійна аерація субстрату, для чого його періодично спушують вилами з тупими кінцями. На проміжній стадії вермикультивування через 20–25 днів у бурти необхідно внести свіжий субстрат (рівномірний шар 5–7 см на всій поверхні). Подальше додавання поживних речовин належить повторювати один раз на 7–10 днів.

Питання для самоперевірки

1. Що таке біореMediaція?
2. Чи можна біотехнологічними методами очистити стоки із вмістом важких металів?
3. Які два способи утримання худоби та птахів із погляду видалення відходів розрізняють?
4. Чому до відходів сучасних підприємств із вирощування худоби та птахів мало застосовне природне компостування?
5. Які групи живих організмів беруть участь у процесі компостування?
6. Які компоненти входять до складу компосту, утвореного з органічних відходів?
7. Які біохімічні перетворення відбуваються в органічних відходах під час компостування та яка динаміка цього процесу?
8. За яких умов відбувається процес компостування органічних відходів?
9. У чому полягає природоохоронний ефект компостування органічних відходів?
10. Який процес називають вермикультивування?
11. Які біооб'єкти беруть участь у процесі вермикультивування?
12. Як називається біотехнологічний продукт вермикультивування?
13. Яке значення має вермикультивування для сільського господарства?
14. Які умови потрібні для вермикультивування?
15. За якою схемою відбувається процес вермикультивування?
16. У яких галузях, крім АПК, застосовують вермикультивування?
17. Які екологічні переваги процесу вермикультивування?
18. Які біологічно активні речовини вміщує вермикомпост?
19. Яку роль відіграють вермикомпости в підвищенні родючості ґрунтів?
20. Яка екологічна роль гумінових кислот у забезпеченні родючості ґрунтів?

Тема 6. Біодобрива – екобіотехнологічна альтернатива збагачення ґрунтів

Для збагачення ґрунту зв'язаним азотом у сільському господарстві та й взагалі в рослинництві використовують бактеріальні, або біодобрива, виготовлені в штучних умовах. Зокрема, останнім часом набули поширення біопрепарати нітрагін та азотобактерин, вироблені на основі бульбочкових (Rh-бактерій) та бактерій роду *Azotobacter* з додаванням до них стабілізаторів (тіосечовини, меляси) й наповнювачів (бентоніту, ґрунту). Ці препаративні форми здатні збагачувати ґрунти не тільки азотом, але й вітамінами, фітогормонами (гіберилінами, гетероауксинами).

Крім того, в агроценозах використовують препарат фосфобактерин, який включає клітини бактерій *Bacillus megaterium*, що перетворюють складні фосфорні сполуки в прості, легко засвоювані рослинами форми. Фосфобактерин сприяє збагаченню ґрунтів фосфатами й вітамінами та покращує азотне живлення.

Досить перспективним у виробництві біопрепаратів є виведення нових видів симбіотичних асоціацій рослин із азотфіксувальними бактеріями за допомогою методів генетичної та клітинної інженерії. Наприклад, триває пошук модифікованого генома бактерій *Azotobacter*, здатних вступати в симбіоз із злаковими культурами та передавати їм генетичну інформацію. У процесі пошуку виникають труднощі, пов'язані з підбором відповідного вектора (транспортного засобу). І тут вирішальну роль відіграє розробка способів переносу генів, які відповідають за стійкість рослин до спеки, низької вологості, холоду, засолення ґрунтів, за перебіг світлової й темної стадій біоконверсії енергії світла, за регулювання процесу фіксації вуглекислого газу рослинами, за стійкість до гербіцидів, тощо. Важливе місце у виведенні нових сортів рослин належить методу культивування рослинних клітин *in vitro*. Так, в Австралії із клітинних клонів *in vitro* вирощуються камедні дерева – австралійські евкаліпти, які можуть існувати на засолених ґрунтах, а в Малайзії із клітинного клона було виведено пальму, у якої на 20–30 % підсилено здатність до утворення олії та підвищена стійкість до фітопатогенів.

Із тканин верхівкових бруньок модифікованих рослинних організмів отримують високопродуктивні стійкі до вірусів рослини-регенеранти. Комерційно вигідним визнано промислове виробництво біотехнологічними методами червоного пігменту шиконіну та його похідних, що використовуються для виготовлення косметичних засобів і лікувальних препаратів.

Інтенсифікація сільського господарства (передбачає застосування підвищених норм витрати пестицидних препаратів) викликала значні екологічні порушення – накопичення токсичних речовин в об'єктах навколишнього середовища, забруднення природних екосистем. Наслідками хімізації сільського господарства, так популярної у XX ст. стали забруднення довкілля двома класами речовин – засобів захисту рослин (згадані вище пестициди, гербіциди тощо), а також необґрунтованого застосування мінеральних добрив. Разом із тим сучасне аграрне виробництво достатньо інтенсивне, щоб без компенсації внесених поживних речовин можна було зберегти сталий родючий стан ґрунту. Тому альтернативою мінеральним добривам стають традиційні органічні, внесені відповідно до вимог сьогодення, альтернативою традиційним методикам підвищення родючості ґрунту – біотехнологічні методи його збагачення, зокрема згадані вище бактеріальні комплекси та вермікультура, альтернативою (поки що не достатньо досконалою) пестицидам – альтернативні захисні методи, серед них – використання біологічних препаратів, в основі дії яких лежить принцип антагонізму між різними видами мікроорганізмів або прояви їхньої антибіотичної активності, зокрема виділення в зовнішнє середовище токсичних для конкурентних організмів речовин.

До групи антагоністичних відносяться препарати, синтезовані на основі гормонів комах, феромонів (біологічно активних речовин, які виявляють внутрішньовидову популяційну дію) або виготовлені на зразок природних компонентів. До іншої групи належать біопрепарати, діючим агентом у яких виступають мікроорганізми (бактерії, гриби, віруси) та продукти їх життєдіяльності. Ці речовини синтезують біотехнологічними методами, вони мають інсектицидний, фунгіцидний або родентицидний ефект.

Хоча формально біозасоби захисту рослин не збагачують ґрунт, проте їх застосування має аналогічний ефект підвищення врожайності та продуктивності агроценозів. Альтернатива ж збагачення ґрунтів передбачає глибоке розуміння процесів у природному ґрунтовому середовищі, зокрема протікання реакцій розкладу різних класів речовин, фіксації азоту, фосфору й інших макроелементів, ролі мікроелементів тощо. Утворення та нарощування біомаси рослин на суші та у воді зумовлене засвоєнням ними з біосфери елементів азоту й фосфору, що наявні там як у вільній формі (молекулярний азот), так і в зв'язаному стані (нітрати, фосфати).

Відомо, що тільки мікроорганізми здатні зв'язувати атмосферний молекулярний азот. Фіксація молекулярного азоту (N_2) являє собою відновлювальну реакцію, унаслідок якої утворюється аміак. Каталізується цей процес за допомогою мультиферментного комплексу (нітрогенази), що включає незв'язані з гемом іони заліза, молібдену та SH-групи. Утворення кінцевого продукту – аміаку ініціюється переносом протонів та електронів за такою схемою: за дії нітрогенази та АТФ до молекули азоту із потрібним зв'язком приєднується водень, перетворюючи зв'язок спершу на апогдвійний, згодом на одинарний і на цій основі утворюється два атоми аміаку.

Надалі частина N_2 утилізується мікроорганізмами самостійно, а його решта (інертний N_2) перетворюється на органічні сполуки (є включеннями до білка) в симбіозі з вищими рослинами. При цьому азот знову повертається в ґрунт (протягом року азотфіксуювальні бактерії додають у ґрунт до 5 кг N_2 /га).

Наприклад, симбіотичним партнером рослин, які належать до родини бобових, виступають Rh-бактерії – бульбочкові роду *Rhizobium* (Rh. leguminosarum, Rh. meliloti та ін.). Це анаеробні, сапрофітні грамнегативні палички. Вони поширені в ґрунті, а в процесі життєдіяльності утилізують органічні сполуки у симбіозі з вищими рослинами. Бобові не можуть рости без зв'язаного азоту, тому їх корені засіяні бульбочками, які утворюються внаслідок заселення придаткових кореневих волосків рослини вищеназваними видами ґрунтових бактерій. Бактерії скупчуються й ростуть, набуваючи

вигляду інфекційної нитки, що має жорстку целюлозну оболонку, на самому кінці волоска.

Ні рослина, ні бактерії не здатні самостійно зв'язувати азот. Рослина забезпечує бактеріальні клітини поживними речовинами та створює оптимальні умови для їх існування. У результаті такого процесу симбіотичного зв'язування азоту ґрунти щорічно збагачуються цим елементом. Цілий ряд вищих рослин (вільха, обліпиха, лох сріблястий та ін.) як симбіонти мають на коренях бульбочки, заселені мікроорганізмами актиноміцетної групи *Streptomyces*. Такі рослини першими з'являються на місцях, де ґрунти бідні на азот. Вони спроможні протягом року утворити 150–180 кг N_2 /га. Здатність фіксувати азот властива також рослинам відділу голонасінних у симбіотичному партнерстві з мікроорганізмами роду *Rhizomyces*. Для зв'язування N_2 у симбіоз із рослинними організмами вступають також фототрофні бактерії (деякі ціанобактерії), метанотвірні, десульфівні бактерії та групи бактерій *Aerobacter* та *Achromobacter*.

Природна родючість ґрунтів визначається, насамперед, характером та особливостями їх формування. Ціла низка комплексних факторів: кліматичних, гідрогеологічних, антропогенних; а також інтенсивність надходження на ґрунтову поверхню сонячної енергії, біологічні цикли розвитку рослин та ін. зумовлюють тривалість перебігу складного гетерогенного ґрунтоутворювального процесу.

Перетворення органічних речовин на гумус у ґрунті відбувається переважно за участю мікроорганізмів, тварин, кисню повітря й води. У процесі гідролітичного руйнування органічні залишки втрачають анатомічну структуру, трансформуючись у більш рухомі прості сполуки. Частина утворених низькомолекулярних речовин повністю мінералізується мікробними клітинами, і продукти їх метаболізму споживаються зеленими рослинами, інша частина використовується для синтезу нових генерацій мікроорганізмів з подальшим розпадом. Крім того, деяка кількість проміжних продуктів перетворюється на специфічні складні високомолекулярні речовини – гумусові кислоти. Даний процес ініціюється наявністю в середовищі кисню, води й ферментного комплексу живих організмів, його прийнято називати гуміфікацією. Отже, гумусоутворення являє

собою сукупність біофізико-хімічних процесів руйнування первинних органічних залишків, синтезу вторинних форм мікробної маси та їх гуміфікації з утворенням органо-мінеральних похідних гумусових кислот. Особливе значення в природному гумусоутворенні мають реакції повільного біохімічного окиснення, у результаті яких утворюється система високомолекулярних органічних кислот.

Таким чином, природна гуміфікація – це тривалий процес, унаслідок якого відбувається поступовий синтез ароматичних циклів молекул гумінових кислот у чорноземах не за рахунок конденсації, а шляхом часткового отщеплення найменш стійкої частини макромолекули новоутворених гумінових кислот. Сформована система гумусових кислот ґрунту взаємодіє з його мінеральною частиною (зольними елементами рослинних залишків), що приводить до виникнення в ньому органо-мінерального комплексу, який зумовлює поживну цінність ґрунтів в агроценозі.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає екологічна безпечність біопрепаратів та біодобрих?
2. Назвіть принципи застосування біопрепаратів в агропромисловій галузі.
3. На основі яких популяцій мікроорганізмів виготовляються біопрепарати?
4. Які існують екологічні переваги застосування біопрепаратів та біодобрих, на відміну від пестицидів?
5. Які групи препаратів можуть замінити пестициди?
6. Що таке антагоністичні препарати?
7. Коротко опишіть біопрепарати, діючим агентом у яких є мікроорганізми та продукти їх життєдіяльності.
8. Які біологічні способи збагачення ґрунту азотом використовуються в сільському господарстві?
9. Охарактеризуйте принцип фіксування азоту ґрунтовими мікроорганізмами?
10. Які вищі рослини сприяють фіксації атмосферного азоту в ґрунті і яким чином?
11. Як вищі рослини покращують якість ґрунту поза сприянню роботі азотофіксуючих бактерій?

Тема 7. Біоочищення ґрунтів

Перетворюючи органічні і мінеральні сполуки, які надходять у ґрунт, мікрофлора забезпечує собі відносну постійність умов існування (гомеостаз). Антропогенні фактори, змінюючи екологічний стан, можуть стимулювати або пригнічувати життєдіяльність організмів у ґрунті.

Після внесення певних енергетичних речовин при окультуренні в ґрунті починають розмножуватись види, які їх використовують. Несприятливі антропогенні фактори, наприклад, іони важких металів, зменшують видову різноманітність мікрофлори і її біохімічну активність.

Для спостереження за природними угрупованнями мікробів в ґрунті запропоновано кілька екологічних методів. Одним з найпростіших є якісний метод контактних скелець або скелець обростання. При проведенні досліджень скельця закопують в природні ґрунти, де знаходяться важкі метали в малих кількостях. Так, в дерново-підзолистому ґрунті містяться (мг/100 г ґрунту): Zn-0.4; Ni-0.1; в сірому лісовому Zn-1.2; Ni 1.1.

При цьому важливо не лише виявляти присутність, але й вміти видаляти із ґрунту небажані речовини, адже останні десятиліття характеризуються надходженням у довкілля величезної кількості різних за будовою синтетичних органічних сполук (ксенобіотиків), часто токсичних для живих організмів. Нині стоїть завдання максимального використання потенціалу мікроорганізмів, які мають величезну різноманітність ферментів, що здійснюють реакції деструкції різних ксенобіотиків. Використання цього потенціалу і є «біоремедіація».

Якщо в ґрунті або воді, забрудненій ксенобіотиками, відсутні мікроорганізми, здатні до ефективної деградації цих сполук, доцільна інтродукція туди мікроорганізмів-біодеструкторів. Задіяні з цією метою мікроорганізми можуть бути:

- природними, що повертаються в довкілля;
- селектованими;
- сконструйованими з використанням природних способів горизонтального перенесення генетичної інформації (кон'югація,

трансформація, трансдукція);

- отриманими методом так званого молекулярного бридингу;
- сконструйованими методами генної інженерії;
- отриманими з використанням методу білкової інженерії;
- отриманими комбінацією зазначених підходів і методів.

Мікроорганізми та продукти на їх основі ефективно використовують у наступних випадках задля захисту ґрунтів:

- Біодеградація нафтових забруднень на ґрунті
- Біологічне очищення стоків, що можуть потрапляти на ґрунт
- Біокомпостування твердих органічних відходів
- Біогеотехнологія вилугування металів тощо

Поряд із бактеріями, мікроорганізмами, ферментами тощо широко використовують вищі рослини для захисту та відновлення ґрунтів. Фіторе mediaція – це технологія відновлення забрудненого середовища з використанням різних видів рослин. Фіторе mediaційну технологію застосовують безпосередньо в районі забруднення, вона сприяє зниженню витрат і зменшенню контакту забрудненого ксенобіотика з людьми і довкіллям. Найголовніше те, що після фіторе mediaції ґрунт не втрачає своєї родючості. Отже, ця технологія є екологічно безпечною та економічно вигідною.

Рослина впливає на довкілля різними способами, серед яких є:

- ризофільтрація – корені всмоктують воду та хімічні елементи, необхідні для життєдіяльності рослин;
- фітоекстракція – накопичення в організмі рослини небезпечних забруднень (наприклад, важких металів);
- фітоволатилізація – випаровування води і летких хімічних елементів (As, Se) листям рослин;
- фітотрансформація;
- фітостабілізація – переведення хімічних сполук у менш рухому та активну форми (знижує ризик поширення забруднень);
- біодеградація – деградація рослинами і симбіотичними мікроорганізмами органічної частини забруднень;
- біостимуляція – стимуляція розвитку симбіотичних мікроорганізмів, що беруть участь у процесі очищення.

Один із ключових моментів фітореMediaції – оптимальний склад толерантних видів рослин, здатних не лише вижити в умовах забруднень, а й трансформувати і знешкодити їх. Вибір рослин для цієї технології визначається їх здатністю виносити на поверхню ґрунтові води за рахунок евапотранспірації розщеплювати забруднювальні сполуки за допомогою своїх ферментів і накопичувати ці сполуки в біомасі.

Ефективність фітореMediaції ґрунтів залежить від продуктивності рослин. Із більшою біомасою з ґрунту видаляється більша кількість поллютантів, що надійшли до рослини. Біомаса рослин гірчиці сарептської збільшувалася зі зростанням концентрації доданих $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ та $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Але, як показали результати дослідів, уже при вмісті кобальту і нікелю 10 ГДК у ґрунті у рослин гірчиці сарептської (*Brassica juncea* L.) помітніше спостерігається уповільнення зростання, на великих концентраціях (15 ГДК) рослини пригнічені і не досягають необхідної біомаси.

Зміна маси коренів за варіантами при забрудненні кобальтом відбувалася також по-різному, залежно від дози забрудника. У рослин гірчиці сарептської подібно до маси надземної частини спостерігали достовірне збільшення (на 16 % порівняно з контролем) маси коренів при середньому рівні забруднення, при підвищенні рівня забруднення відбувалося її зниження, особливо цей негативний ефект (на 88 % порівняно з контролем) був виражений при внесенні кобальту в ґрунт дозами 10 і 15 ГДК. Подібні результати спостерігалися й під час забруднення ґрунту нікелем.

Найважливішими компонентами технології відновлення забрудненого хлорорганічними пестицидами ґрунту за допомогою рослин є фітоекстракція і фітостабілізація. Фітоекстракційний потенціал рослинного організму залежить від гідрофобності забрудника. Ступінь гідрофобності багато в чому зумовлює ефективність поглинання і пересування забрудника в рослинах. До токсикантів відносять стійкі органічні пестициди, такі як трихлорметили (п-хлорфеніл), метан (ДДТ) і гексахлорциклогексан (ГХЦГ). У ґрунті вони зв'язуються з органічними або неорганічними сполуками (хелатують), стають ізольованими в межах природних твердих частинок ґрунту,

що знижує біодоступність флори. Для підвищення ефективності фіторементації пропонується застосовувати речовини, що стимулюють ріст рослин, підвищують рухливість гідрофобних забрудників і збільшують швидкість їх потрапляння в рослини. У зв'язку з цим були синтезовані гетероциклічні сполуки оксанового ряду, що потенційно мають біологічну активність. До найбільш відомих рослин, що очищають воду в природних умовах у водних об'єктах (болотах, ставках і озерах), відносять: ряску, водяний шпинат, вольфію, багатокорінник.

Відомий спосіб фіторе mediaції для видалення металів із ґрунтів за рахунок акумуляції металів рослинами, який є альтернативою існуючим методам відновлення ґрунтів (екскавація, промивання), зокрема внаслідок малих витрат. Особливо це важливо для збіднених на рослинність гірських районів, оскільки при цьому покращується ландшафт. Різні види вищої водної рослинності збагачують воду киснем, одержаним у результаті біосинтезу, а токсичні домішки розщеплюють на складові хімічні елементи. Таким чином, відбувається детоксикація стічних вод. .

Питання для самоперевірки

1. Яким чином несприятливі антропогенні фактори впливають на гомеостаз у ґрунтах?
2. Як проводять виявлення антропогенні чинників у ґрунтах перед застосуванням біоре mediaційних методів?
3. Що таке ксенобіотики?
4. Охарактеризуйте типи мікроорганізмів-біоде структорів.
5. Від чого залежить безпека застосування різних типів біоде структорів?
6. Перелічіть основні напрямки застосування біометодів захисту та відновлення ґрунтів.
7. Які особливості фіторе mediaції? Які додаткові господарські завдання вона може вирішувати?
8. Охарактеризуйте основні типи впливу рослини на довкілля, що пов'язані із біоочищенням ґрунтів.
9. Які фактори впливають на ефективність фіторе mediaції ґрунтів?
10. Охарактеризуйте найважливіші компоненти технології відновлення забрудненого хлорорганічними пестицидами ґрунту.

Тема 8. Біоочищення повітря

Біологічні методи очищення повітря ґрунтуються на здатності мікроорганізмів руйнувати в аеробних умовах широкий спектр речовин і сполук до кінцевих продуктів – CO_2 і H_2O . Широко відома здатність мікроорганізмів метаболізувати аліфатичні, ароматичні, гетероциклічні, ациклічні та різні C_1 -сполуки. Мікроорганізми утилізують аміак, окиснюють сірчистий газ, сірководень і диметилсульфоксид. Утворювані сульфати утилізувалися іншими мікробними видами. Є дані про ефективне окиснення аеробними карбоксидобактеріями моноокислу вуглецю, що є одним із найбільш небезпечних повітряних забрудників. Представники роду *Nocardia* ефективно руйнують стерини і ксилол; *Hyphomicrobium* – дихлоретан; *Xanthobacterium* – етан і дихлоретан; *Mycobacterium* – вінілхлорид. Для біологічного очищення повітря застосовують три типи установок: біофільтри, біоскрубери і біореактори з омиваним шаром (табл. 2).

Таблиця 2 – Класифікація установок біологічного очищення повітря

| Тип установки | Робоче тіло | Водний режим | Основні стадії видалення домішок із повітря | Джерело мінеральних солей |
|-----------------------------|--|------------------------------------|--|--------------------------------|
| Біофільтр | Фільтрувальний шар – іммобілізовані на природних або синтетичних носіях мікробні клітини | Циркуляція води не спостерігається | 1. Десорбція матеріалом фільтрувального шару 2. Деструкція мікробними клітинами | Матеріал фільтрувального шару |
| Біоскрubber | Вода, активний мул | Циркуляція води | 1. Абсорбція в абсорбері водою 2. Деструкція в аеротенку з активним мулом | Мінеральні солі вносять у воду |
| Біореактор з омиваним шаром | Іммобілізовані на штучних носіях мікробні клітини | Циркуляція води | 1. Дифузія через водну плівку до мікроорганізмів. 2. Деструкція в біологічному шарі | Мінеральні солі вносять у воду |

Оптимальна для очищення повітря вологість фільтрувального шару становить 40–60 т ваги матеріалу носія. За недостатньої вологості матеріалу фільтрувального шару в ньому утворюються тріщини, матеріал пересихає.

Ефективність роботи біофільтра визначається газодинамічними параметрами фільтрувального шару, спектром і концентрацією наявних у повітрі речовин та ферментативною активністю мікроорганізмів-деструкторів. При цьому швидкість видалення шкідливих домішок із повітря в процесі біоочищення може лімітуватися як дифузією речовин із газової фази в біокаталітичний шар, так і швидкістю проходження біохімічних реакцій у мікробних клітинах.

Біоскрубери порівняно з біофільтрами займають меншу площу, оскільки є баштами заввишки декілька метрів. Експлуатаційні витрати під час використання біоскруберів вищі, оскільки процес біоочищення води вимагає істотних витрат. Застосування біоскруберів ефективне за наявності в повітрі добре розчинних токсичних речовин.

Біологічні методи очищення газоповітряних викидів почали застосовувати порівняно недавно і поки що в обмежених масштабах, але перспектива їх використання очевидна. В даний час біофільтри використовують для очищення газів, що відходять, від аміаку, фенолу, крезолу, формальдегіду, органічних розчинників фарбувальних і сушильних ліній, сірководню, метилмеркаптану й інших сіркоорганічних сполук.

До недоліків біохімічних методів слід віднести: низьку швидкість біохімічних реакцій, що збільшує габарити устаткування; специфічність (високу вибірковість) штамів мікроорганізмів, що ускладнює переробку багатокомпонентних сумішей; трудомісткість переробки сумішей змінного складу. Гази з неприємним запахом можуть видалятися біотехнологічно в «сухих» або «мокрих» біореакторах.

«Сухий» біореактор завантажується насадкою з біоактивного сорбуючого матеріалу (компост, торф), через який продуваються забруднені газы. Сорбовані з'єднання активно окислюються мікробними спільнотами, що розвиваються на поверхні насадки, одночасно регенеруючи її. За такою біотехнологією, наприклад, проводиться

очищення повітря в свинарниках. Перспективним напрямом біотехнології очищення газів є створення біологічно активних сорбентів та оптимізації мікробного співтовариства (включаючи генетичні методи), що окислюють широкий спектр субстратів.

Перелічимо деякі із поширених методів очистки. Зазначимо, що для очищення повітря використовують також ультрафіолетове випромінювання та озонні методи.

Абсорбційний метод використовує процес розчинення газоподібного компонента в рідкому розчиннику (воді чи іншій рідині). Рідину використовують для абсорбції тільки один раз або ж проводять її регенерацію, виділяючи забруднювач в чистому вигляді. Найбільшого поширення набули насадкові (поверхневі) і барботажні тарілчасті абсорбери. Для ефективного застосування водних абсорбційних середовищ виділений компонент повинен добре розчинятися в абсорбційному середовищі і часто хімічно взаємодіяти з водою, як наприклад, при очищенні газів від HCl , HF , NH_3 , NO_2 . Для абсорбції газів з меншою розчинністю (SO_2 , Cl_2 , H_2S) використовують лужні розчини на основі NaOH або Ca(OH)_2 .

Адсорбційний метод полягає у розкладанні газоподібної суміші на складові частини поглинанням одного або декількох газових компонентів цієї суміші рідким поглиначем з утворенням розчину.

Питання для самоперевірки

1. Які види небезпечних сполук здатні руйнувати мікроорганізми задля очищення повітря?
2. Перелічіть та коротко охарактеризуйте основні типи установок для очищення повітря.
3. Чим визначається ефективність роботи біофільтра?
4. Описати основні стадії очищення повітря у біоскруберах.
5. Описати основні стадії очищення повітря у біореакторах.
6. Проведіть порівняльний аналіз біоскруберів та біофільтрів.
7. Які види речовин, що забруднюють повітря, сьогодні вилучають за допомогою біофільтрів?
8. Опишіть недоліки біохімічних методів очистки повітря.
9. Які гази видаляють із повітря абсорбцією водним середовищем?
10. Яке середовище використовують для абсорбції таких газів як SO_2 і H_2S ?

Термінологічний словник

Аеротанк – споруда для штучного біологічного очищення стічних вод за допомогою активного мулу (бактерії-мінералізатори та нижчі організми) і продування повітрям (аерації).

Антибіотики – речовини природного або напівсинтетичного походження, що пригнічують ріст живих клітин

Біобензин – різновид біопалива: суміш бензину з етиловим або бутиловим спиртом.

Біобутанол – різновид біопалива; бутиловий спирт, одержуваний біотехнологічним способом з цукрової тростини, буряка, кукурудзи, пшениці, маніюки, целюлози тощо.

Біоводень – водень, отриманий з біомаси.

Біовилуговування – відновлення металів з руди шляхом використання мікроорганізмів.

Біогаз – газ, одержаний метановим бродінням біомаси (суміш CH_4 і CO_2).

Біодеградація – процес, за якого органічні речовини руйнуються ферментами, що виробляються живими організмами.

Біодизель – біопаливо на основі рослинних або тваринних жирів (масел), а також продуктів їх естерифікації.

Біоіндикація – оцінка якості середовища існування або її окремих характеристик за станом біоти у природних умовах.

Біоінженерія – спрямована модифікація властивостей живих організмів, здійснювана на генетичному та / або епігенетичному рівні. Застосовується до мікроорганізмів, рослинам і тваринам.

Біологічно активні речовини – загальна назва речовин, що мають виражену фізіологічну активність.

Біопестициди – з'єднання, яке вбиває організми в результаті специфічного біологічної дії, а не як хімічні отрути.

Біопрепарат – будь-який медичний препарат, що походить з живих організмів або їх продуктів.

Біопродукти – матеріали, хімікати і енергія, одержувані з поновлюваних біологічних джерел.

- Біореактор – пристрій, що здійснює перемішування культурального середовища в процесі мікробіологічного синтезу.
- Біоремедіація – комплекс методів очищення вод, ґрунтів і атмосфери з використанням метаболічного потенціалу живих організмів (рослин, грибів, комах, бактерій та ін.) або їх ферментів.
- Біосенсор (син. – "Біодатчик") – пристрій, в якому чутливий шар, що містить біологічний матеріал, безпосередньо реагує на присутність певного компонента і генерує відповідний сигнал.
- Біопаливо – паливо з біологічної сировини, одержуване, як правило, шляхом переробки стебел цукрового очерету або насіння ріпаку, кукурудзи, сої та ін. Розрізняють рідке біопаливо (для двигунів внутрішнього згоряння – етанол, біодизель), тверде (дрова, солома) і газоподібне (біогаз, водень).
- Біодобрива – екологічно чисті добрива, одержувані з біогумусу і натуральних органічних речовин.
- Вермикюльтура – це промислове розведення черв'яків для поліпшення ґрунту та підвищення врожайності.
- Генно-модифікований організм – організм або кілька організмів, будь неклітинні, одноклітинне або багатоклітинне утворення, здатне до відтворення або передачі спадкового генетичного матеріалу, відмінні від природних організмів, отримані із застосуванням методів генної інженерії та містять генно-інженерний матеріал, у тому числі гени, їх фрагменти або комбінації генів.
- Метатенк – штучний резервуар великої ємності для біологічної переробки (т. зв. метанового зброджування) органічного осаду стічних вод без доступу повітря.
- Поля фільтрації (поля аерації) — ділянка землі, на поверхні якої розподіляють каналізаційні та інші стічні води з метою їх очищення; різновид водоочисної споруди.
- Септик – це елемент локальної очисної споруди, застосовується на стадії проектування та будівництва комплексних систем локальної очистки побутових і господарських стічних вод.
- Фіторемедіація – комплекс методів очищення стічних вод, ґрунтів та атмосферного повітря з використанням зелених рослин.

Приклади типових тестових запитань

1. Сучасний період розвитку біотехнології розпочався
 - 1) у 1930-х;
 - 2) у 1960;
 - 3) у 1975;
 - 4) у 1992;
 - 5) у 2005.
2. Об'єктами біотехнологічних досліджень є:
 - 1) компоненти природних екосистем;
 - 2) компоненти штучних екосистем;
 - 3) регуляція та життєздатність екосистем;
 - 4) перспектива зменшення техногенного навантаження на довкілля;
 - 5) усе, перелічене вище.
3. Для підвищення репродуктивності біоб'єкта використовують
 - 1) Методи підбору системи біореактора;
 - 2) Методи вивчення обміну речовин біоб'єкта;
 - 3) Методи селекції, клітинної та генетичної інженерії;
 - 4) Методи підготовки субстрату;
 - 5) Методи біосинтезу.
4. Серед українських вчених у галузі біотехнології можна назвати таких:
 - 1) М. Маккарті, К. Маклеод, Ф. Крик, Дж. Уотсон;
 - 2) Д. Заболотний, В. Омелянський, М. Гамалія, Л. Тарасович;
 - 3) О. Богатський, М. Ганущак, А.Пилипенко;
 - 4) А. Загородній, Б.Патон, О.Палладін;
 - 5) Е. Завадський, А. Йоффе, І.Вакарчук.
5. Трансдьюсер – це
 - 1) Елемент системи шумоізоляції;
 - 2) Перетворювальна фізико-хімічна система у біосенсорі;
 - 3) Пристрій для перетворення параметрів напруг і струмів;
 - 4) Генетично модифікований організм;
 - 5) Прояв парейдолії.
6. Перспективні напрями застосування біосенсорів
 - 1) Контролю рівню інсуліну та глюкози;
 - 2) Аналіз вмісту важких металів;
 - 3) Реєстрація вмісту пестицидів у продукті;
 - 4) Все, перелічене вище;
 - 5) Нічого із переліченого вище

7. Біогаз сьогодні виготовляють на базі
 - 1) відходів рослинництва й тваринництва;
 - 2) відходів роботи вугільних шахт;
 - 3) метилових й етилових ефірів рослинних олій;
 - 4) цукроносних і крохмалевмісних культур;
 - 5) продуктів вирощування технічних культур.
8. У Європі найбільше біодизелю споживає
 - 1) Великобританія;
 - 2) Естонія;
 - 3) Іспанія;
 - 4) Німеччина;
 - 5) Польща.
9. Системи біологічного очищення стічних вод поділяють на
 - 1) Поля фільтрації, аерації та зрошення;
 - 2) Біофільтри, біоскрубери та біореактори;
 - 3) Системи, що реалізують аеробні та анаеробні методи;
 - 4) Решітки, фільтри та відстійники;
 - 5) Відстоювання, флотація та коагуляція.
10. Методом вермикомпостування можна переробляти
 - 1) практично всі види органічних відходів;
 - 2) відходи птахофабрик;
 - 3) відходи ферм великої рогатої худоби;
 - 4) рослинні решітки та відходи рослинництва;
 - 5) відходи деревообробних підприємств.
11. Клітини бактерій *Bacillus megaterium*
 - 1) здійснюють біодеградацію нафтопродуктів;
 - 2) перетворюють складні фосфорні сполуки в прості, легко засвоювані рослинами форми;
 - 3) проводять фіксацію азоту у ґрунті;
 - 4) сприяють молочнокислому бродінню;
 - 5) вилуговують важкі метали.
12. Для очищення повітря використовують
 - 1) Поля фільтрації, аерації та зрошення;
 - 2) Біофільтри, біоскрубери та біореактори;
 - 3) Системи, що реалізують аеробні та анаеробні методи;
 - 4) Решітки, фільтри та відстійники;
 - 5) Відстоювання, флотація та коагуляція.

Список рекомендованої літератури

Основна

1. А.І. Горова, С.М. Лисицька, А.В. Павличенко, Т.В. Скворцова. Біотехнології в екології : навч. посібник. Дніпро: Національний гірничий університет, 2012. 184 с.
2. Кляченко О.Л., Мельничук М.Д., Іванова Т.В. Екологічні біотехнології: теорія і практика : навчальний посібник. Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 254 с.
3. Пляцук Л.Д., Черниш Є. Ю., Пляцук Л.Д. Екологічна біотехнологія: принципи створення біотехнологічних виробництв : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2018. 293 с.

Додаткова

4. Білявський Г.О., Бутченко Л.І. Основи екології: теорія та практикум: навч. посібник. Київ.: Лібра, 2006. 368 с.
5. Герасименко В.Г., Герасименко М.О., Цвіліховський М.І. та ін. Біотехнологія: підручник. Київ: «ІНКОС», 2006. 647 с.
6. Горова А.І., Лисицька С.М., Павличенко А.В., Скворцова Т.В. Біотехнології в екології: навчальний посібник. Дніпро: Національний гірничий університет, 2012. 184 с.
7. Іванова Т. В. Екобіотехнологія [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів зі спеціальності 6.051401 «Екобіотехнологія». Київ: НУБіП, 2014. 86с.
8. Левандовський Л.В., Бублієнко Н.О., Семенова О.І. Природоохоронні технології та обладнання: підручн. Київ.: НУХТ, 2013. 243с.
9. Трохимчук І.М., Плюта Н.В., Логвиненко І.П., Сачук Р.М. Біотехнологія з основами екології: навчальний посібник. Київ: Кондор, 2019. 304 с.
10. Ястремска Л. С. Біотехнологічні аспекти трансформації сільськогосподарських відходів в енергоносії. Вісник ПДАА, 2011. №4. с. 44-46.