

- інтенсивність колієутворення для гусеничного трактора в 1,1-1,3 рази більша, ніж для колісного під час прямолінійного руху, в 1,5-2 рази більша у русі в повороті і в 1,3-2 рази менша у разі використання настилу з гілок.

Мінімізації пошкоджень ґрунту на екологічно вразливій місцевості забезпечується:

- обмеженням кількості проїздів машини вздовж трельовального маршруту;
- зменшенням корисного навантаження;
- використанням альтернативних маршрутів з метою уникнення зволжених ділянок;
- використанням шин з великою контактною площею, бандажних візкових гусениць у колісних тракторах, гусеничних машин з низьким тиском на ґрунт;
- використанням настилу з гілок, дерев'яних щитів і матів з відпрацьованих шин.

Література

1. Библюк Н., Библюк М. Екологічні аспекти гірської лісозаготівлі// Праці НТШ. – 1998, т.2. – С. 586-600.
2. Библюк Н., Ковальчук І., Стиранівський О. Екологічні проблеми Гуцульських Карпат та шляхи їх вирішення// Історія Гуцульщини. – Львів: Логос. – 2001, т. 6. – С. 540-570.
3. Горшенін М.М., Пешко В.С. Ерозія гірських лісових ґрунтів та боротьба з нею. – Львів, 1972. – 148 с.
4. Котиков В.М. Воздействие лесозаготовительных машин на лесные грунты: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – М., 1995. – 37 с.
5. Поляков А.Ф. Влияние главных рубок на почвозащитные свойства буковых лесов. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 174 с.
6. Протас П.А. Снижение отрицательного воздействия лесозаготовительных машин на почвогрунты: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Минск, 2005. – 24 с.
7. Стойко С. Катастрофічні повені в Закарпатті та захисна роль гірських лісів// Освіта лісівнича. – Львів: УкрДЛТУ. – 2001. Квітень.
8. Hainimann H.R. Ground-based Harvesting Technologies for Steep Slopes. International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium, 28 March – 1 April 1998, Corvallis, OR. – 1998.
9. Koreň I. Povrchový odtok a vodná erózia porastovej pôdy porušenej približovaním dreva pomocou LKT, Acta facultatis forestalis, 1996. – P. 219-231.
10. Operations protocol for eco-efficient wood harvesting on sensitive sites/ Owende, P.M.O., Lyons, J. and S.M. Ward (Editors)/ December, 2002. – 74 p.

УДК 527.2

*Доц. В.П. Оліферчук, канд. біол. наук;
мол. наук. співроб. У.Р. Гурла; ст. наук. співроб. А.І. Сенюк;
інж.-еколог О.Р. Ходзінська – НЛТУ України, м. Львів*

ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОМІЦЕТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ЗА ДОПОМОГОЮ БІОКОНВЕЄРА

Проведено мікологічний та хімічний аналіз комунальних стоків очисних споруд міста Новояворівська. Виявлені мікроміцети найбільш активні в деструкції як органічної, так і іонної компоненти стічних вод. На основі лабораторних досліджень підібрані комплекси видів грибів – оліготрофів, які можна застосувати для очищення стоків за допомогою біоконвеєра.

Ключові слова: мікроміцети, деструктори, біоконвеєр, мікологічний аналіз.

*Assoc. prof. V.P. Oliferchuk; junior research worker Y.R. Hurla;
senior research officer A.I. Senyuk; engineer of ecology O.P. Hodzinska –
NUFWT of Ukraine, L'viv*

Using of micromycetes of purification of sewage water with the help of biological conveyer

Mycology and chemical analyses of sewage were made based on purification plant in Novoyavorivsk. The most active micromycetes were found out in destruction organic and ionic components of sewage. Based on laboratory researches species of micromycetes – oligotrofers were selected, which can be used in purifying of sewage based on the principle of bioconveyer.

Keywords: micromycetes, destruction, mycology analyses, bioconveyer.

Вступ

Україна має давню і добру практику у застосуванні біотехнологій промислового очищення стічних вод. В Україні вперше у межах Російської імперії ще у 1887 р. було введено в експлуатацію біологічні зрошувальні системи. Саме наші земляки започаткували використання спеціально селекціонованих мікроорганізмів – деструкторів органічних речовин, які забруднюють воду, у практиці очищення промислових стоків [6]. В останні десятиліття у нас багато зроблено для створення теорії та відпрацювання практики біологічного відновлення якості води, яка вже була використана у промисловості та побуті. Знайдено принципово нові підходи до розв'язання цих непростих і важливих екологічних проблем.

Основним традиційним методом біологічного очищення стічних вод є обробка їх активним мулом в аеротенках.

Біотехнологію очищення стічних вод активним мулом було запропоновано і реалізовано в Англії у 1914 р. і відтоді вона принципово не змінилася, чого аж ніяк не можна сказати про склад стічних вод – навіть побутових, міських. Хімізація народного господарства й побуту, повсюдне інтенсивне використання синтетичних поверхнево-активних речовин як миючих засобів, розвиток текстильної промисловості, фармацевтичних і гальванічних виробництв, тощо спричинили радикальне погіршення якості стічних вод. У них з'явилися стійкі до біорозкладу, невідомі біосфері ксенобіотики, іони важких металів, що згубно впливають на гідробіонти активного мулу, призводять до його "набрякання", вимивання із вторинних відстійників. Як наслідок – погана "робота" мулу або навіть цілковита його нездатність очищати деякі стічні води. Зворотний активний мул навіть теоретично не може відновити якість інтенсивно забрудненої води, бо немає і не може бути такого гідробіоценозу, який би однаково добре почувався у дуже чистій і у стічній, доволі брудній воді.

Постійне погіршення хімічного складу стоків і водночас закономірне підвищення вимог до якості очищеної води диктує необхідність створення нових методів біологічного оброблення води.

Методика

У роботі застосовано метод, який був розроблений в Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського завдяки принципово новому підходу до проблеми біологічного очищення води. Метод отримав назву "біоконвеєр". В його основі – задекларований "Закон погіршення довкілля" [2], а також постулати про просторову сукцесію мікроорганізмів (у процесі очищення води від розчинених органічних речовин) і про трофічний ланцюг гідробіонтів при її очищенні від завислих органічних речовин [3]. Вагомим обґрунтуванням знайдених підходів стали також теоретичні розробки академіка РАН Г.О. Заварзіна. Усе це дає змогу створити і реалізувати на практиці новітні біотехнології очищення промислових і побутових стічних вод, а також зливових і природних вод у біоконвеєрі.

На основі екологічного підходу підібрано види мікроміцетів, активних в деструкції іонної та органічної компоненти промстоків та застосували їх у очистці стоків м. Новояворівська.

Проби води відібрали у поверхневому шарі до 1 м, враховуючи те, що гриби – аеробні організми. Воду із очисних споруд висівали на відповідні середовища, розводячи в 3 рази. Посіяні у чашки Петрі ґрунтові суспензії та стічну воду заливали живильним середовищем і витримували у термостаті 20-30 діб при температурі 25-27 °С. Використовували підкислений сусло-агар та середовище Чапека (рН – 4,5-5,0) з антибіотиком. Протягом цього часу враховували колонії грибів, і виділяли їх у чисту культуру. Культури зберігали при температурі 4 °С. Отримані під час роботи активні в очистці види мікроміцети надалі зберігали на агаризованій стічній воді. Ідентифікацію проводили на стандартних живильних середовищах.

При відборі грибів, котрі активно очищають промислові стоки враховували літературні дані про їх токсичність, здатність викликати алергічні реакції, інтенсивність спороношення. Ідентифікацію ґрунтових мікроміцетів здійснювали на основі їх морфолого-фізіологічних особливостей, керуючись відомими вітчизняними та зарубіжними визначниками [4].

Для визначення деструктивних властивостей грибів використовували іммобілізацію їх на пористому носії. Здійснювали іммобілізацію шляхом одночасного внесення в середовище Чапека суспензії конідій (1×10^{-6} мг/мл) та крупнопористого носія, яким слугували смужки поролону $5-7 \times 3-4$ см. Вирощування грибів на носії здійснювали в колбах на качалках (160 об/хв.) протягом 5-7 діб. Суха біомаса становила 4-5 г/л.

Для визначення ступеня очищення стічної води окремими штаммами мікроміцетів смужки носія з грибами розміщували у хімічні стакани по 200 мл у кожному і витримували у стаціонарних умовах протягом 5-20 діб. Визначали БПК₅ і БПК₂₀. Досліди з поодинокими видами і з застосуванням грибних комплексів здійснювали на одній партії стічної води, БПК якої становило 126 мг О₂/л.

Активність відібраних видів грибів в адсорбції іонів важких металів визначали за схемою: кількість іонів важких металів у стічній воді, кількість

іонів важких металів після застосування іммобілізованої біомаси. У роботі використовували атомно-абсорбційний спектрометр С – 115 М.

Цінним показником ступеня забруднення води органічними речовинами та інтенсивності процесів самоочищення є біохімічна потреба кисню. БПК – це кількість кисню, потрібна для повного біохімічного окислення речовин, що містяться в 1 л води, за температури 20 С. Чим інтенсивніше забруднена вода, тим вища її БПК. Для природних вод БПК₅ становить приблизно 70 % повного БПК₂₀. У чистих водоймищах БПК₅ менша за 2 мг, а у відносно чистих вона становить 2-4 мг О₂/л (БПК₂₀ – 3-6 мг О₂/л)

БПК – це показник кількості (в мг), необхідної для окислення органічних речовин в 1 л колодязної води внаслідок аеробних біологічних процесів. Основою для визначення БПК був відомий метод Ю.Ю. Лурье. Максимальне значення БПК у вивченій воді становило 126 мг О₂/л.

Розрахунки здійснювали за такою формулою:

$$\text{БПК} = \frac{(a - b) \cdot n}{V} \cdot 100 \quad (1)$$

де: БПК – кількість кисню, мг/л, а – концентрація кисню в підготованій для визначення пробі з початку інкубації, мг/л; b – концентрація кисню у воді, якою розводять, мг/л; n – кількість повторень.

З ізолятів мікроміцетів, які вирощували на агаризованому середовищі (сусло-агар, 10-12 діб), готували конідиальні суспензії, густина яких становила (1·10⁻⁶ конідій/мл). У колби Ерленмейєра (500 мл) вносили 200 мл протирілізованої колодязної води без додавання до неї додаткового джерела вуглецю та мінеральних солей та 5 мл відповідної грибною суспензії. Досліди проводили протягом 20 діб. Умови культивування стаціонарні. Аналіз стічної води за значенням БПК проводили через 5 і 20 діб. З врахуванням накопичення біомаси грибів у заданому її об'ємі. Накопичення біомаси грибів визначали традиційним методом. Контролем було середовище Чапека, котре засівали такою ж кількістю конідиальної суспензії, як і в досліді. Повторність дослідів трикратна.

Об'єктами досліджень були природні ізоляти мікроміцетів, виділені зі стічної води міських очисних споруд м. Новояворівська. Грибна біомаса застосовувалася для очищення стічної води м. Новояворівська, з метою виявлення активності грибів у трансформації стоків. У лабораторії промислової токсикології при Медичному Університеті ім. Данила Галицького був проведений хімічний аналіз стічної води на вміст забруднювальних речовин після проходження основного етапу очищення.

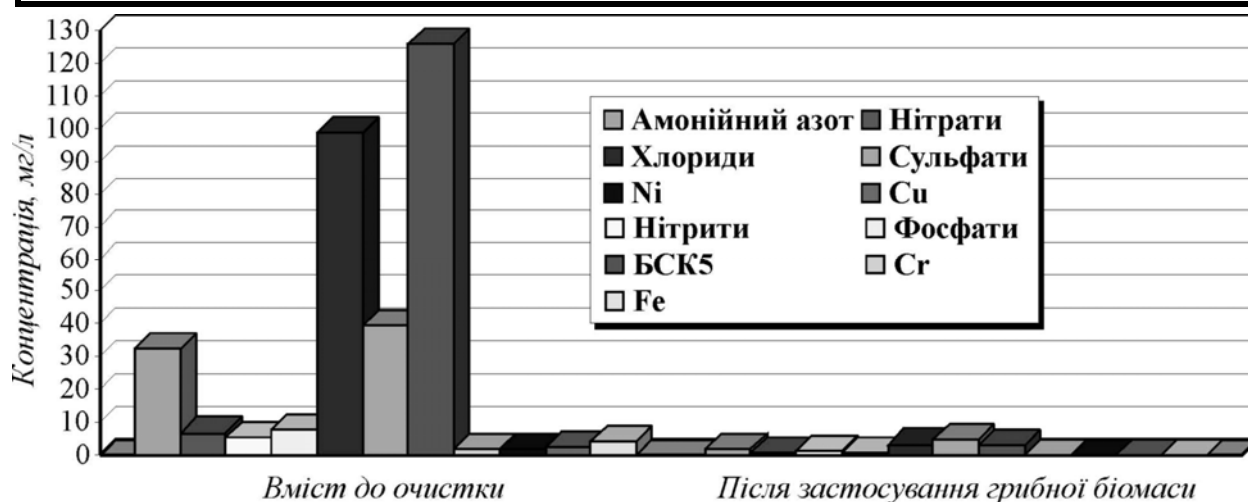
Результати досліджень

На підставі досліджень та хімічного аналізу було виявлено перевищення ГДК деяких речовин (табл. 1). До складу стічних вод входять органічні речовини та деякі метали. Для видалення металів та трансформації органічних речовин використовували найбільш активні види мікроміцетів.

Результати застосування грибною біомаси для очищення стічної води наведено у табл. 1 та рис. 1.

Табл. 1. Характеристика активності грибної біомаси в трансформації стоків

Хімічна речовина	Вміст до очищення	Вміст після очищення	Вміст після застосування грибної біомаси
Амонійний азот	32,3	17,2	1,7
Нітрати	6,72	4,15	0,51
Нітрити	5,34	3,87	1,2
Фосфати	7,53	4,27	0,54
Хлориди	98,7	48,4	3,2
Сульфати	39,5	15,4	4,7
БСК ₅	126	79	3
Fe	4,2	2,1	0
Cr	1,9	0,7	0
Ni	1,56	0,89	0
Cu	2,34	1,17	0

**Рис. 1. Результати очищення стічної води при застосуванні грибної біомаси**

Скринінг грибних культур проводили за здатністю їх до утилізації стоків заданого складу. Всі види, виділені із стічної води проявляли активність в трансформації стоків, але різною мірою. Тому для експерименту були вибрані три найбільш активні види *Ulocladium consortiale*, *Arthrotrus oligospora*, *Arthriniun phaeospermum* (табл. 2).

Табл. 2. Видовий склад мікроміцетів активних в деструкції органічної та іонної компоненти комунальних стоків

№ з/п	Видовий склад мікроміцетів очисних споруд	Активність видів у деструкції органіки	Активність в адсорбції металів
1	<i>Penicillium nigricans</i>	+	+
2	<i>Penicillium expansum</i>	+	+
3	<i>Penicillium vinaceum</i>	++	+
4	<i>Ulocladium consortiale</i>	+++	+++
5	<i>Arthrotrus oligospora</i>	+++	+++
6	<i>Arthriniun phaeospermum</i>	+++	++
7	<i>Mucor hiemalis</i>	++	+

Початковий вміст металів у стічній воді був таким: Fe – 4,20 мг/л; Ni – 1,56 мг/л; Cu – 2,34 мг/л. Після застосування грибної біомаси склад металів значно змінився (табл. 3).

Табл. 3. Активність мікроміцетів у сорбції металів

Види грибів	Вміст металів після застосування грибів		
	Fe	Ni	Cu
<i>P.nigricurs</i>	2,3	0,78	1,7
<i>P.expansum</i>	1,7	0,9	0,5
<i>P.vinaceum</i>	2,4	0,71	1,03
<i>Ulocladium</i>	Слідові кількості	-	-
<i>Aethrobotrus oligosp.</i>	-	-	-
<i>Aethrinium</i>	-	-	-
<i>Mucor hiemalis</i>	3,2	0,9	1,72

Досліджуванні гриби проявили високу активність в утилізації органічного забруднення (табл. 4).

Табл. 4. Активність мікроміцетів у трансформації органічної компоненти комунальних стоків

Види грибів	БПК ₅	БПК ₂₀
<i>P.nigricurs</i>	89	34
<i>P.expansum</i>	78	31
<i>P.vinaceum</i>	74	28
<i>Ulocladium</i>	52	3
<i>Aethrobotrus oligosp</i>	44	2
<i>Aethrinium</i>	37	2
<i>Mucor hiemalis</i>	97	35

Необхідно відзначити, що застосування мікроміцетів в очищенні стічної води забезпечує ефективну очистку від органічних речовин та іонів важких металів, власне і слугували ці види у біореакторі, а всі інші групи організмів підібрали на основі літературних даних.

Технологічна суть біоконвеєра полягає в тому, що на шляху води, яку потрібно очистити, розміщені гідробіонти – анаеробні бактерії, аеробні мікроорганізми (оліготрофи, найпростіші), фільтратори, хижаки.

Перебуваючи на своїх "робочих місцях", вони "виїдають" з води розчинені у ній органічні сполуки і біомасу організмів. У результаті отримуємо чисту воду і в сотні разів меншу надлишкову біомасу, утилізація якої, нагадаємо, у традиційному біологічному процесі очищення води становить дуже важку для розв'язання проблему (рис. 2).

Враховуючи недоліки при очистці господарсько-побутових стоків в м. Новояворівську рекомендуємо застосувати систему біоконвеєра, а крім цього також внести в анаеробний біореактор такі види бактерій:

- *Clostridium*, *Peptococcus anaerobis* (гідролітичні, ацетогенні бактерії);
- *Syntrophobacter* (воднепродукуючі бактерії);
- *Methanococcus mazei*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanothrix soehngenii* (метаноутворюючі бактерії).
- *Methanococcus mazei* – рухомі невеликі коки; в клітинній стінці містяться поліп ептидні субодиниці.
- *Methanosarcina barkeri* -коки, що групуються в пакети; в клітинній стінці містяться гетерополісахариди
- *Methanothrix soehngenii* – палички різної довжини; в клітинній стінці немає мурашиної кислоти.

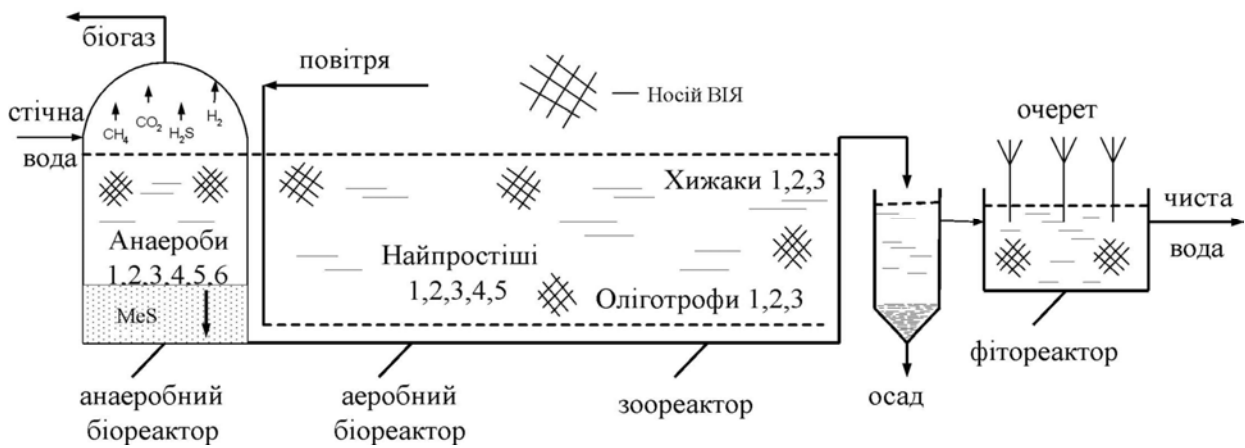


Рис. 2. Біоконвеєр: Анаероби 1, 2, 3, 4, 5, 6: *Clostridium*, *Peptococcus anaerobis*, *Syntrophobacter*, *Methanococcus mazei*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanotherix soehngenii*; Оліготрофи 1, 2, 3: *Ulocladium consortiale*, *Arthrobotrus oligospora*, *Arthriniun phaeospermum*; Найпростіші 1, 2, 3, 4, 5: *Arcella discoideas*, *Opercularia glomerata*, *Opercularia coarctat*, *Epistulis plicatilis*, *Euplotes charon*; Хижаки 1, 2, 3: *Cathypna luna*, *Aeolosoma*, *Nematodas*

Запропоновані бактерії, що беруть участь в анаеробному процесі утилізації забруднень, широко застосовують для очищення господарсько-побутових стоків [1].

Анаероби були підібрані на основі літературних даних. В анаеробному біореакторі для успішного проведення очищення води необхідно встановити носії "Віа". Для цього можна використати скляні спіралі, йорші, решітки з пластмас або дроту. В аеробному реакторі необхідно створити широке коло гідробіонтів, щоб створити певний біоценоз, забезпечити процес перетворення біомаси та енергії. Велика кількість гідробіонтів забезпечить усунення надлишкової біомаси. У біореактор пропонуємо внести такі групи мікроорганізмів: оліготрофи; найпростіші; хижаки різних трофічних рівнів.

Як оліготрофи рекомендуємо застосовувати досліджувані в даній роботі мікроміцети, а саме їх найактивніші види: *Ulocladium consortiale*; *Arthrobotrus oligospora*; *Arthriniun phaeospermum*.

Ulocladium consortiale, *Arthrobotrus oligospora*, *Arthriniun phaeospermum* отримано експериментальним шляхом. Ці види мікроміцетів виявили найбільшу активність у трансформації стоків, зокрема в утилізації органічного забруднення та виділені важких металів з стічної води.

Грибну біомасу необхідно іммобілізувати на пористий матеріал. Особливо перспективним для грибів є застосування крупнопористих носіїв: поролону, пінопласту. Іммобілізація забезпечить ефективну очистку, а також часткову ізоляцію грибів від хижаків, і сприятиме кращому нагромадженню грибної біомаси. У зоореактор (аеробний біореактор) рекомендуємо внести такі види найпростіших:

- *Arcella discoideas* (раковинні корененіжки, саркодові);
- *Opercularia glomerata*, *Opercularia coarctat*, *Epistulis plicatilis* (круговійчасті інфузорії);
- *Euplotes charon* (черевновійчасті інфузорії).

Це найактивніші види мікроорганізмів, що входять до складу активного мулу на очисних спорудах м. Новояворівська. Їх було виявлено при хорошій роботі очисних споруд. Наявність найпростіших в очисних системах забезпечить регулювання кількості бактерій та грибів. Найпростіші поїдаючи бактерії, гриби і завислі речовини, сприятимуть освітленню очищуваної води. Вони не тільки будуть регуляторами кількості грибів і бактерій, але й виконуватимуть роль індикаторів якості роботи біоконвеєра.

Щоб забезпечити більшу кількість трофічних рівнів, рекомендуємо внести в зоореактор мікроорганізми – хижакі:

- *Cathypna luna* (коловертки),
- *Aeolosoma* (малоцетинкові черви),
- *Nematodas* (круглі черви).

Ці мікроорганізми також є представниками активного мулу, що застосовується для очищення на очисних спорудах в м. Новояворівську. Їх виявлено при хорошій роботі очисних споруд.

У фітореакторі відбуваються процеси за принципом самоочищення водойми. В очистці стічної води бере участь вища водяна рослинність. У фітореакторі рекомендуємо застосовувати *Phragmites australis* – очерет звичайний. Він характеризується високою здатністю до акумуляції вуглекислого газу, біогенних елементів, зокрема фосфору і азоту [5]. Тому застосування *Phragmites australis* дасть змогу значною мірою знизити БПК.

Висновок

Екологічний принцип полягає в тому, що рекомендовані види мікроорганізмів є виділеними з активного мулу очисних споруд м. Новояворівська. Вони пристосовані до складу забруднень, які надходять з стічною водою. Саме ці види мікроорганізмів формують певний біоценоз, структуру якого можна певним чином відобразити в аеробному біореакторі.

Не виключено, що у процесі очищення в біореакторі потраплятимуть й інші мікроорганізми (бактерії, найпростіші, водорості та інші). Вони також можуть бути постійними жителями біоконвеєра, хоча можуть не брати активної участі у процесі очищення.

Таким чином, маємо арсенал мікроорганізмів, які рекомендуємо застосовувати в системі біоконвеєра.

Література

1. Бекер И.Е., Лиєпиньш Г.К. Биотехнология. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 334 с., ил.
2. Гвоздяк П.І. Актуальні питання біологічного очищення води. – К.: Ойкумена, 1992. – 70 с.
3. Гвоздяк П.І. 50 запитань і 49 відповідей з нової біотехнології очистки води. – К.: Знання, 1990. – 28 с.
4. Литвинов М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов. – Л.: Наука, 1967. – 303 с.
5. Монченко О.Е. Микробиология и гидробиология природных и сточных вод: Учеб. пос. – Новочеркасск: Ред.-изд. отдел, 1974. – 201 с.
6. Путилина Н.Т., Квитницкая Н.Н., Костовецкий Я.И. Микробный метод обесфеноливания сточных вод. – К.: Здоровья, 1969. – 144 с.