

ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 628.16

СУЧАСНІ БІОТЕХНОЛОГІЇ В ОЧИЩЕННІ ПРИРОДНИХ ВОД

Я. В. Трофимчук

студентка 3 курсу, група ВВ-31, навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Науковий керівник – д.т.н., доцент О. М. Квартенко

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

У статті висвітлена актуальність розвитку біотехнологій очищення природних та стічних вод в сучасному техногенному суспільстві. Проведено аналіз біотехнологій, розроблених як вітчизняними, так і зарубіжними вченими. Розглянуто перспективні напрямки подальших досліджень в цій області.

Ключові слова: біотехнологія, антропогенний, гідробіонти.

В статье подчеркнута актуальность развития биотехнологий очистки природных и сточных вод в современном техногенном обществе. Проведен анализ биотехнологий, разработанных как отечественными, так и зарубежными учеными. Рассмотрены перспективные направления дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: биотехнология, антропогенный, гидробионты.

The article emphasizes the relevance of the development of biotechnologies for the purification of natural and waste waters in a modern technogenic society. The analysis of biotechnologies developed by both domestic and foreign scientists is carried out. Perspective directions for further research in this area are considered.

Keywords: biotechnology, anthropogenic, hydrobionts.

Ще із середини ХХ століття, у зв'язку із зростаючим антропогенним навантаженням на навколишнє середовище, вирішення проблеми чистої питної води стало однією із найактуальніших проблем для людства. Мільйони років у природних умовах очищення води відбувалася в морях, річках та інших водоймах за рахунок природного процесу саморегуляції живих екосистем і самоочищення. Цей процес протікав повільно, але еволюція успішно з цим справлялася. Сьогодні природа вже не може проводити процеси самоочищення через щорічне збільшення кількості нових хімічних сполук (понад тисячі найменувань) [1; 2].

Як відомо, антропогенне забруднення водних екосистем є дуже небезпечним фактором, що суттєво впливає на природні процеси, які відбуваються у водному середовищі, екологічний стан навколишнього середовища та здоров'я людей. Основними джерелами забруднення природних вод є:

- дощовий стік, який характеризується значною кількістю полутантів (переважно промислового походження);
- міські стічні води, що включають переважно побутові стоки, які містять фекалії, детергенти, мікроорганізми, у тому числі патогенні;
- виробничі стічні води, що утворюються у різноманітних галузях виробництва [3].

Підвищене техногенне навантаження призводить до прогресуючого погіршення якості поверхневих та підземних вод за вмістом біогенних, органічних та синтетичних поверхнево-активних речовин, іонів важких металів в результаті скидання неочищених та недостатньо

очищених господарсько-побутових та виробничих стічних вод [4]. Сьогодні більшість міських споруд біологічного очищення стічних вод, які працюють за технологіями початку ХХ століття, функціонують вкрай неефективно, внаслідок чого спричиняють забруднення природних водойм, процеси цвітіння і заростання, пригніблення розвитку водних організмів [4; 11].

Як відмічає професор П. І. Гвоздяк, «без технологічного біологічного очищення лише побутових стічних вод усі поверхневі води планети були б настільки забруднені, що про безпечну питну воду не варто було б і мріяти» [1]. Тому дослідження та впровадження сучасних біотехнологій в галузі очищення природних та стічних вод є актуальним питанням в сучасних умовах.

Проведений огляд наукових джерел [5; 6] свідчить про те, що ведеться інтенсивний пошук найбільш економічних і високоефективних способів очищення природних та стічних вод. Характерною рисою сучасного напрямку є поєднання класичних методів очищення (механічний, фізико-хімічний, біологічний) з новими методами (зворотний осмос, ультразвук (УЗ), ультрафіолет (УФ), ультрафільтрація, електродіаліз тощо). Застосування того чи іншого методу або їх комбінації залежить від багатьох факторів: параметрів якості води, витрат та режиму експлуатації очисних споруд, фінансової складової. Найбільш перспективним є питання розвитку біотехнологій [1; 2; 6].

Складність розробок при вирішенні цього питання ґрунтується на відмінності біотехнологій очищення води від інших відомих біотехнологій. Насамперед – це багатокомпонентність природних та стічних вод, які підлягають очищенню за своїм фізико-хімічним складом, температурою, рН, окисно-відновним потенціалом, гідрокарбонатною лужністю, вмістом іонів важких металів, важкорозчинними органічними сполуками та їхніми комплексами, сполуками азоту, фосфору, ксенобіотиками, мікробіологічними показниками [1], а також їх здатністю до зміни свого якісного та кількісного складу як сезонно, так і по годинно.

Одним із перспективних напрямків є пошук засобів створення найбільш сприятливих умов для існування та функціонування співтовариств мікроорганізмів при очищенні підземних, а також співтовариств мікроорганізмів з гідробіонтами та простішими при очищенні поверхневих та стічних вод.

Тільки за останні 20–30 років для очищення стічних вод розроблено та широко впроваджено перспективні процеси з використанням анаеробного активного мулу, *anaerobes*-бактерій, технологія «біоконвеєра», що передбачає відновлення якості води при використанні широкого кола гідробіонтів [1; 2; 7].

Також слід відмітити технології-багатоступеневого анаеробно-аеробного очищення вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів [4; 10]. Основними перевагами таких технологій є підвищення ефективності очищення вод від високомолекулярних органічних і неорганічних речовин, зменшення витрат електроенергії на очищення, підвищення надійності роботи очисних споруд в умовах добових, сезонних змін витрат вод, надходжень токсичних речовин, зменшення об'ємів утворених осадів і витрат на їхнє зневоднення та утилізацію.

При очищенні підземних вод перспективним напрямком є використання біореакторів із закріпленими залізо- та манганоокиснюючими бактеріями [12]. Перші сучасні системи біологічного знезалізнання з використанням швидких піщаних фільтрів в Європі були розроблені та впроваджені у Франції у 80-х роках ХХ сторіччя [13]. Перша із таких станцій була побудована в Ельзасі, пізніше цей метод був упроваджений на очисних станціях більше ніж у 100 населених пунктах із продуктивністю від 20 до 2200 м³/год. Перші станції біологічного знезалізнання в Англії та США були змонтовані відповідно у 1987 та 1996 роках. Перші дослідження цього методу в Україні проводилися під керівництвом професора М. А. Сафонова [17; 18].

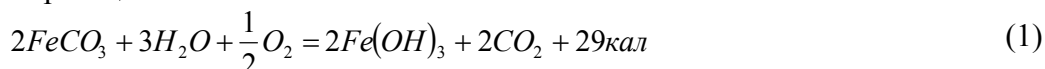
Застосування біохімічного методу окиснення стало можливим завдяки широкому розповсюдженню феробактерій у підземних водах у різних регіонах світу [13–16], а також їх великому значенню в природних процесах, дослідницькій та практичній діяльності людства. Однією з перших узагальнюючих робіт із їх вивчення була монографія Н. Г. Холодного (1922) «Залізобактерії».

Відповідно до області стійкості катіонів Fe^{2+} в системі координат рН – Eh залізобактерії поділяються на три великі групи:

- *ацидофільні хемолітотрофи*, які розвиваються при високих значеннях Eh, низьких величинах рН (рід *Thiobacillus*);
- *мікроаерофільні хемолітотрофи та органотрофи*, які розвиваються при помірних значеннях Eh та близьких до нейтральних величинах рН (*Gallionella*, *Leptothrix*, *Crenothrix*);
- *хемоорганотрофи*, які здатні до деструкції залізоорганічних комплексів та розвиваються при високих значеннях Eh, нейтральних величинах рН (*Arthrobacter*).

Найбільш вивченими із них є літотрофні ацидофільні та органогетеротрофні залізобактерії, широко поширені в прісних водоймах і осадах, збагачених органічною речовиною. На початку ХХ століття почалися дослідження практично невідомої групи нейтрофільних літотрофних залізобактерій. Першим її представником була описана ще в ХІХ столітті Еренбергом бактерія *Gallionella ferruginea* (Ehrenberg, 1836).

Відповідно до даних досліджень С. М. Виноградського та М. Г. Холодного, мікроорганізми роду *Gallionella* використовують енергію окиснення ферум (II) карбонатів для асиміляції карбон (IV) оксиду (CO_2), який виступає як джерело карбону, відповідно до наступного рівняння реакції:



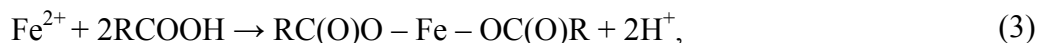
Вихід енергії у *Gallionella* настільки малий, що для синтезу 1 г її клітинної біомаси бактеріям необхідно окислити 273 г гідрокарбонату заліза в результаті чого утворюється 500 г його гідроксиду. Однак, переконливі докази хемолітоавтотрофного метаболізму для *G. ferruginea* були отримані лише в 1991 році (Halbeck & Pedersen, 1991).

В роботі [19] встановлено вплив додаткового джерела неорганічного карбону у вигляді Na_2CO_3 на процеси масообміну та швидкість біохімічного окиснення сполук заліза бактеріями *Gallionella spp.* Розроблений механізм асиміляції неорганічного карбону до відновленого пентозофосфатного циклу [19] свідчить про можливість підвищення його енергетичної потужності, прискорення циклів метаболізму та швидкості перекачування електронів через ферментативну систему клітини.

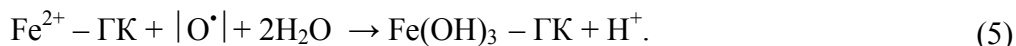
Встановлено [20], що гетеротрофні залізобактерії, які розповсюджені в ґрунтах або водоймах з нейтральною або слаболужною реакцією середовища (*Metallogenium*, *Leptothrix*, *Siderocapsa*), при окисленні органічної речовини виділяють в якості продуктів метаболізму пероксид водню, який може не тільки пригнічувати розвиток клітин, але й викликати їх повний лізис. Таким чином фізіологічна роль катіонів Fe^{2+} та Mn^{2+} полягає в усуненні інгібуючої дії H_2O_2 [20]. Механізм окиснення йонів Fe^{2+} бактеріями родів *Leptothrix*, *Crenothrix* розвивається за пероксидним шляхом, який протікає в капсулах та на поверхні клітинної стінки [20]:



Крім неорганічних сполук феруму, в підземних водах знаходяться залізо-гумінові комплекси, які утворюються в результаті інфільтрації в підземні водоносні горизонти поверхневого стоку від боліт та лісових озер:



Відкладення у матричних структурах мікроорганізмів феруму відбувається в результаті використання бактеріями комплексорганічних з'єднань для своєї життєдіяльності. В молекулярному вигляді окиснення залізо-гумінових комплексів продуктами життєдіяльності феробактерій родів *Lepthothrix*, *Crenothrix* можна показати наступним рівнянням хімічної реакції:



В нейтральних та білянейтральних підземних водах, в присутності хемолітоавтотрофних бактерій роду *Gallionella*, можливо розглядати процес сорбції йонів NH_4^+ на поверхні матричних структур біомінералів, а також на клітинах самих бактерій, завдяки присутності на їх поверхні функціональних груп: PO_4^{3-} , COO^- , OH^- .

Крім біореакторів, до складу технологічного обладнання входять аераційні пристрої, блок дозування розчину кальцинованої соди (при очищенні слабокислих підземних вод із низьким лужним резервом $< 2,0$ моль/дм³), освітлювальні фільтри із системою гідроавтоматичної промивки, блок знезараження [21].

Основними завданнями сучасної біотехнології очищення води є: створення таких умов для мікроорганізмів, які б дозволили проводити комплексне вилучення органічних сполук, важких металів, переважної частини сполук азоту та фосфору; дослідження здатності консорціумів мікроорганізмів до деструкції та мінералізації забруднень; створення нових конструкцій біореакторів.

Таким чином, на сучасному етапі біотехнологія є однією з найбільш привабливих сфер наукомісткої технології та пропонує величезні потенційні переваги. Розвинені країни та країни, що розвиваються, мають бути прямо зацікавлені у підтримці подальших досліджень, спрямованих на те, щоб біотехнологія могла повністю реалізувати свій потенціал.

1. Гвоздяк П. І. Біохімія води. Біотехнологія води : монографія. Київ : Видавничий центр «Київо-Могилянська академія», 2019. 228 с.
2. Гвоздяк П. І. Біологічне очищення води. *Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод*. 2000.
3. URL: <https://ru.osvita.ua/vnz/reports/ecology/21069/> (дата звернення: 15.10.2020).
4. URL: <https://kpi.ua/1131-3> (дата звернення: 15.10.2020).
5. Запольський А. К., Мішкова-Клименко Н. А., Астрелін І. М. *Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод*. К. : Лібра, 2000.
6. Ротмистров М. Н., Гвоздяк П. И., Ставская С. С. *Микробиологическая деструкция синтетических органических веществ*. Киев : Наукова думка, 1975.
7. Гвоздяк П. І. За принципом біоконвеєра (Біотехнологія охорони довкілля). *Вісник НАНУ*. Видавничий дім «Академперіодика» НАН України. 2003. № 3.
8. Журба М. Г., Вдовин Ю. И., Говорова Ж. М., Лушкин И. А. *Водозаборно-очистные сооружения и устройства* М. : ООО «Издательство Астрель», 2003. 569 с.
9. Очистка природной воды гидробионтами, закрепленными на волокнистых насадках / Л. И. Глоба, П. И. Гвоздяк, Н. Б. Загорная, Г. Н. Никовская. *Химия и технология воды*. 1992.
10. Саблій Л. А. *Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод* : монографія. Рівне : НУВГП, 2013. 290 с.
11. URL: https://nung.edu.ua/files/attachments/microsoft_word_dis.pdf (дата звернення: 15.10.2020).
12. Biochemical deironing and demanganation of underground water / M. G. Zhurba, Zh. M. Govorova, A. N. Kvartenko, O. B. Govorov. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2006. No. 9, part 2. P. 17–23.
13. Mouchet P. From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France. *Journal of the American Water Works Association*. 1992. Vol. 84, No 4. P. 158–167.
14. Tamura T., Tsunai T., Ishimaru Y., Nakata A. Iron and manganese removal by iron bacteria in groundwater. *Suido Kyokai Zasshi* (J. Japan Water Works Assoc). 1999. No. 68. P. 1–13.
15. Mouchet P. From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France. *Journal of the American Water Works Association*. 1992. Vol. 84, No 4. P. 158–167.
16. Sharma S. K., Petrusovski B., Schippers J. C. Biological iron removal from groundwater. *Water Supply*. 2005. No. 54(4). P. 239–247.
17. Сафонов Н. А., Русак Г. В. Самопромывающаяся установка для биологического обезжелезивания подземных вод. *Подготовка воды для хозяйственно-питьевых целей*. Ленинград, ЛИСИ. 1984. С. 162–167.
18. Квартенко А. Н. Использование закрепленной микрофлоры для очистки подземных вод с высокой концентрацией железа : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.04. Ровно, 1997. 180 с.
19. Kvartenko O., Gryuk I., Sabliy L. Model of biomineralization of ferrum compounds by *Gallionella* cells immobilized on contact loading of bioreactor. *Energy Engineering and Control Systems*. 2017. Vol. 3. No. 2. P. 51–56.
20. Дубинина Г. А. Биология железобактерий и их роль в образовании железо-марганцевых руд : автореф. ... д-ра биол. наук : спец. 03.02.03. Москва, 1977. 64 с.
21. О. Kvartenko, L. Sabliy, N. Kovalchuk, A. Lysytsya. The use of the biological method for treating iron containing underground waters. *Journal of Water and Land Development*. 2018. No. 39 (X–XII). P. 77–82.