

# ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ЗАВОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВОДНИХ РОСЛИН

Кіка Л.С., Саблій Л.А.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського", kika.lyuba@gmail.com

**Вступ.** Стічні води, що утворюються на фармацевтичних заводах, є потужним джерелом різноманітних забруднень. Одними з найбільш небезпечних є антибіотики. Такі лікарські засоби породжують резистентність бактерій до дії вищезгаданих препаратів, що ставить під загрозу ефективне лікування будь-яких інфекційних захворювань. До того ж, після вживання антибіотики не повністю метаболізуються в організмі людини, і більша частина їх виводиться назовні. Ці біологічно активні сполуки потрапляють у стічні води. Методи очищення, що застосовують на очисних спорудах міста, не видаляють все навантаження антибіотиків. Тому проблема розробки нових, вдосконалення існуючих та впровадження ефективних методів і технологій очищення стічних вод фармацевтичних підприємств є надзвичайно актуальною.

Метою роботи є аналіз літературних даних щодо ефективності використання методів очищення стічних вод фармацевтичних підприємств від лікарських засобів за допомогою водних рослин.

**Матеріали та методи.** Під час розгляду методів очищення стічних вод фармацевтичних заводів було використано аналітичний метод дослідження.

**Результати та обговорення.** Однією із найбільш ефективних рослин, які здатні видаляти із стічних вод різноманітні забруднювачі, є ряска. Це невеликі зелені плаваючі вищі водні рослини родини *Lemnaceae*, яка складається з п'яти родів: *Landoltia*, *Lemna*, *Spirodella*, *Wolffia* та *Wolffiella* [1]. Ряска має великий потенціал до поглинання забруднювальних речовин, що робить її використання для очищення стічних вод ефективним, дешевим та екологічним.

Результати [2] показують ефективність методу очищення стічних вод, забруднених антибіотиками, з використанням поширеної у всьому світі ряски *Lemna aoukikusa*. Експериментальні результати показали, що ряска може зростати у стічних водах, які містять антибіотики – ципрофлоксацин і сульфаметоксазол, і одночасно адсорбувати ці антибіотики з водного розчину навіть у високих концентраціях. Так, початкова концентрація антибіотиків  $5,0 \cdot 10^{-2}$  моль·м<sup>-3</sup> представляла випадок найбільшого забруднення стічних вод.

Досліджено [3] видалення ципрофлоксацину (CIP) із водних розчинів методом адсорбції за допомогою активованого вугілля, виготовленого з водяної папороті *Azolla filiculoides* (AFAC) – плаваючої на поверхні води рослини з дуже швидким ростом, найбільш крупної з роду *Azolla*. Результати показали, що за вмісту CIP 10 мг/дм<sup>3</sup>, дози AFAC 2,5 г/дм<sup>3</sup>, тривалості контакту 75 хв, видалення CIP становило 99,1%. Таким чином, було доведено, що AFAC може бути використаний для ефективного видалення антибіотиків зі стічних вод.

Результати досліджень ефективності очищення води від антибіотика одного виду або від антибіотиків різних видів у випадку їх сукупної дії за концентрацій

амоксициліну 2 мкг/дм<sup>3</sup>, енрофлоксацину 2 мкг/дм<sup>3</sup> і окситетрацикліну 1 мкг/дм<sup>3</sup> на водний макрофіт *Lemna minor* [4] свідчать, що ця рослина може накопичувати значні концентрації даних лікарських засобів із водного середовища. Отже, це вказує на можливість використання таких водних рослин для фіторемедіації природних водойм, забруднених вказаними вище антибіотиками.

У ході дослідження [5] було оцінено потенційну токсичність амоксициліну на ряску *Spirodela polyrhiza* (спіродела багатокоренева, найбільший вид роду Ряска, багаторічна рослина, що плаває на поверхні води та має коріння, сформоване у вигляді пучків) під час дії протягом 7 діб. На ряску було здійснено вплив амоксициліну низькими 0,0001-0,01 мг/дм<sup>3</sup> та високими 0,1-1 мг/дм<sup>3</sup> концентраціями. Результати свідчать про токсичну дію антибіотика на *Spirodela polyrhiza* навіть за низьких концентрацій, але, незважаючи на це, ряска безпосередньо сприяла деградації антибіотиків у воді протягом усього процесу фіторемедіації.

Дослідження [6] дало змогу вивчити вплив стрептоміцину на фізіологічні зміни та здатність до поглинання ряски *Lemna aequinoctialis* (ряска тропічна, це єдиний вид роду Ряска, що вважається однорічним) після впливу антибіотика протягом різної тривалості дії: 0, 5, 10, 15 та 20 діб. Ряску піддавали впливу стрептоміцину в діапазоні концентрацій 0,1-10 ммоль/дм<sup>3</sup>. Результати показали, що високі концентрації стрептоміцину понад 1 ммоль/дм<sup>3</sup> призводили до зниження біомаси ряски на 21,5-41,5%. Значне зниження вмісту стрептоміцину – 72-82%, через 20 діб порівняно з контролем – 40-55%, (без ряски) показало, що ряска має високу здатність видаляти стрептоміцин. Таким чином, результати вказують на те, що ряска може сприяти розкладанню стрептоміцину і може бути використана для очищення стічних вод.

Було досліджено [7] потенціал ветивера *Chrysopogon zizanioides*, багаторічної трави, яка швидко зростає, здатна рости на гідропоніці та має довге коріння, що досягає до 4 метрів в довжину та росте вертикально, для видалення двох поширених у використанні антибіотиків – ципрофлоксацину і тетрацикліну, зі стічних вод. Значне видалення антибіотиків та біогенних речовин (сполук N та P) травою ветивера зі стічних вод спостерігали протягом 30 днів. Трава ветивера видаляла понад 90% антибіотиків зі стічних вод. Крім антибіотиків, ветивер також видаляв із стічних вод нітрати (>40%), фосфати (> 60%), загальний органічний вуглець (>50%) та знижував хімічне споживання кисню (ХСК) на величину понад 40%.

Для видалення антибіотиків застосовували різні методи, включаючи фіторемедіацію плаваючими водними видами, такими як ряска та водяна папороть, з позитивними результатами [8]. У цьому дослідженні проаналізовано інформацію про ефективність видалення лікарських засобів з акцентом на антибіотики за допомогою *Lemna* та *Azolla*, що дасть змогу краще зрозуміти процеси фіторемедіації з точки зору фізіології рослин. Також проаналізовано фізіологічні процеси макрофітів у середовищі з цим видом забруднювача та його фітотоксичну дію на рослини за високих концентрацій. Метаболізм токсичних сполук починається з абсорбції антибіотиків та завершується зберіганням

асимільованих сполук у вакуолях, апопласті та клітинній стінці. Отже, рослини сприяють видаленню токсичних сполук з води.

**Висновки.** Аналіз методів і технологій очищення стічних вод від антибіотиків з використанням ряду рослин: водних, таких як рясок *Lemna aoukikusa*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza*, *Lemna aequinoctialis*; трави ветивера *Chrysopogon zizanioides*, показав високу їх ефективність щодо ряду антибіотиків. Проте, велике значення на величину ефективності видалення має тип і початкова концентрація антибіотика у стічних водах. Оскільки перевірка ефективності була виконана для окремих типів антибіотиків та в певних діапазонах їх концентрацій, то використати наведені дані можна тільки в подібних конкретних умовах. Таким чином, технологічний режим очищення стічних вод від певного типу антибіотика або групи антибіотиків з використанням рослин має бути досліджений для складу стічної води того фармацевтичного підприємства, яке розглядається. Тому встановлення закономірностей між технологічними параметрами процесу очищення з використанням водних рослин і складом та показниками стічних вод конкретного фармацевтичного підприємства буде становити завдання подальших наших досліджень.

#### **Список використаної літератури:**

1. Zeshan Ali, Hina Waheed, Alvina G. Kazi, Asim Hayat, Mushtaq Ahmad. Chapter 16 – Duckweed: An Efficient Hyperaccumulator of Heavy Metals in Water Bodies. *Plant Metal Interaction, Elsevier*. 2016. P. 411–429. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00016-3>.
2. Hiroaki Habaki, Nivetha Thyagarajan, Zhuoheng Li, Shuyang Wang, Jack Zhang & Ryuichi Egashira. Removal of antibiotics from pharmaceutical wastewater using *Lemna Aoukikusa* (duckweed). *Separation Science and Technology*. 2023. Vol. 58. P. 1491–1501. URL: <https://doi.org/10.1080/01496395.2023.2195544>.
3. Balarak. Adsorption of amoxicillin antibiotic from pharmaceutical wastewater by activated carbon prepared from *Azolla filiculoides*. *Journal of Pharmaceutical Research International*. 2017. Vol. 18. P. 1–13. URL: [10.9734/JPRI/2017/35607](https://doi.org/10.9734/JPRI/2017/35607).
4. Gomes M. P., Moreira Brito J. C., Cristina Rocha D., Navarro-Silva M. A., Juneau P. Individual and combined effects of amoxicillin, enrofloxacin, and oxytetracycline on *Lemna minor* physiology. *Ecotoxicology and Environmental Safety, Elsevier*. 2020. Vol. 203. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111025>.
5. Singh V, Pandey B, Suthar S. Phytotoxicity of amoxicillin to the duckweed *Spirodela polyrhiza*: Growth, oxidative stress, biochemical traits and antibiotic degradation. *Chemosphere*. 2018. Vol. 201. P. 492–502. URL: [10.1016/j.chemosphere.2018.03.010](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.010).
6. Huang W, Kong R, Chen L, An Y. Physiological responses and antibiotic-degradation capacity of duckweed (*Lemna aequinoctialis*) exposed to streptomycin. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1065199>.
7. Panja S, Sarkar D, Datta R. Removal of antibiotics and nutrients by Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) from secondary wastewater effluent. *International Journal of Phytoremediation*. 2020. Vol. 22. P. 764–773. URL: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1710813>.
8. Ingrid Maldonado. Application of duckweed (*Lemna* sp.) and water fern (*Azolla* sp.) in the removal of pharmaceutical residues in water: State of art focus on antibiotics. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 838. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156565>.