

ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ІОНІВ ФЕРУМУ (III) ЗА ДОПОМОГОЮ
L. MINOR ПРИ РІЗНИХ ГІДРАВЛІЧНИХ РЕЖИМАХ

*Коренчук М.С., аспірант; Саблій Л.А., д.т.н., професор кафедри
екобіотехнології та біоенергетики*

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

nikoleagle0@gmail.com

При аеробному біологічному очищенні стічних вод картонно-паперової фабрики не забезпечується належне їх очищення від іонів феруму, який залишається на рівні 2 мг/дм^3 , що перевищує ГДК $0,3 \text{ мг/дм}^3$. Для вирішення даної проблеми необхідно здійснювати доочищення. Застосування фізико-хімічних методів очищення (іонний обмін, хімічне осадження) ускладнене домішками нітратів, фосфатів, органічних речовин, через що необхідно долучати додаткову стадію очищення. Перспективною альтернативою є використання біологічних методів, зокрема застосування Ряски малої (*Lemna minor*), яка відома своїми біоремедіаційними властивостями і є стійкою в умовах органічного забруднення стічних вод [1–5]. Серед представників підродини Ряскових *L. minor* толерантна до широкого діапазону температур і здатна існувати при температурах від $+6$ до $+36^\circ\text{C}$ з оптимумом від $+18$ до $+26^\circ\text{C}$ [6]. Ефективність вилучення іонів заліза може досягати 85% [2]. Зниження концентрації феруму до ГДК за початкової $2,5 \text{ г/дм}^3$ досягається протягом 8 діб [3]. Аналіз публікацій щодо використання вищих водних рослин показав, що на сьогодні відсутні дані про ступінь очищення води від феруму (III) в залежності від біомаси рослин, дослідження поводили у контактних умовах, в той же час невідомі значення параметрів процесу у проточному режимі [1–4, 7].

Основний механізм транспорту феруму (III) у ряскових в основному відбувається за такою послідовністю [8] – попереднє відновлення до феруму

(II) ферум-хелат редуктазою біля поверхні клітинної мембрани і подальший його транспорт всередину клітини транспортним білком IRT. Для проходження процесу необхідна наявність хелатуючого агенту [9, 10]. В присутності іонів важких металів в середовищі у вищих рослин продукуються фітохелати у вигляді побудованих з γ -глутамілцистеїну пептидних хвостів на клітинній стінці [11]. Механізм добре вивчений на модельному організмі *Arabidopsis thaliana* і характерний для більшості рослин [12]. Можлива часткова абсорбція іонів феруму (III) клітинною стінкою, проте, відповідно до результатів досліджень [13], ферум в подальшому транспортується у рослину за вказаним вище механізмом. Далі ферум (II) накопичується в клітинах мезофілу листа, виконує каталітичні функції у синтезі хлорофілу на етапі утворення амінолевуленової кислоти та синтезу протопорфірину. Ферум необхідний у синтезі цитохромів [14].

Метою даної роботи є вивчення кінетики процесу очищення води від іонів феруму (III) за допомогою *L. minor* і встановлення раціональних параметрів: тривалості, питомої щільності біомаси та вивчення ефективності процесу очищення води в проточних умовах.

Було застосовано модельний розчин, який імітував біологічно очищені стічні води [16] з показниками, мг/дм³: БСК₂₀ – 20; концентрації NO₃⁻ – 20,0; PO₄³⁻ – 4,0; Fe³⁺ – 2,00. Кінетику процесу досліджували в контактних умовах експериментального біореактора робочим об'ємом 2,4 дм³ (310x220x35 мм), освітлення природне, T=26±2 °C, pH=7,0±0,2, при питомій щільності біомаси, г/дм²: 2,9; 4,4; 5,8. Відбір проб води здійснювали через 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 24 год та визначали концентрацію іонів феруму (III). Вивчення ефективності очищення від іонів феруму в проточному режимі проводили в наступних умовах: тривалість процесу очищення становила 24 год при щільності біомаси ряски 5,8 г/дм² [5], витрата води – 2,3 дм³/добу, тривалість освітлення – 11 годин люмінесцентною лампою 40 Вт, T=17,8±0,1°C, pH 7,0±0,2. Відбір проб очищеної води здійснювали кожні 24 год протягом 7 діб та визначали в них

концентрацію іонів феруму (III) спектрофотометричним методом з використанням роданіду амонію за допомогою спектрофотометра ULAB 102.

У дослідженні кінетики процесу при всіх питомих щільностях біомаси спостерігали найбільше зниження концентрації феруму (III) протягом перших двох годин (рис.1). Концентрації іонів феруму (III) знижувались при збільшенні щільності біомаси.

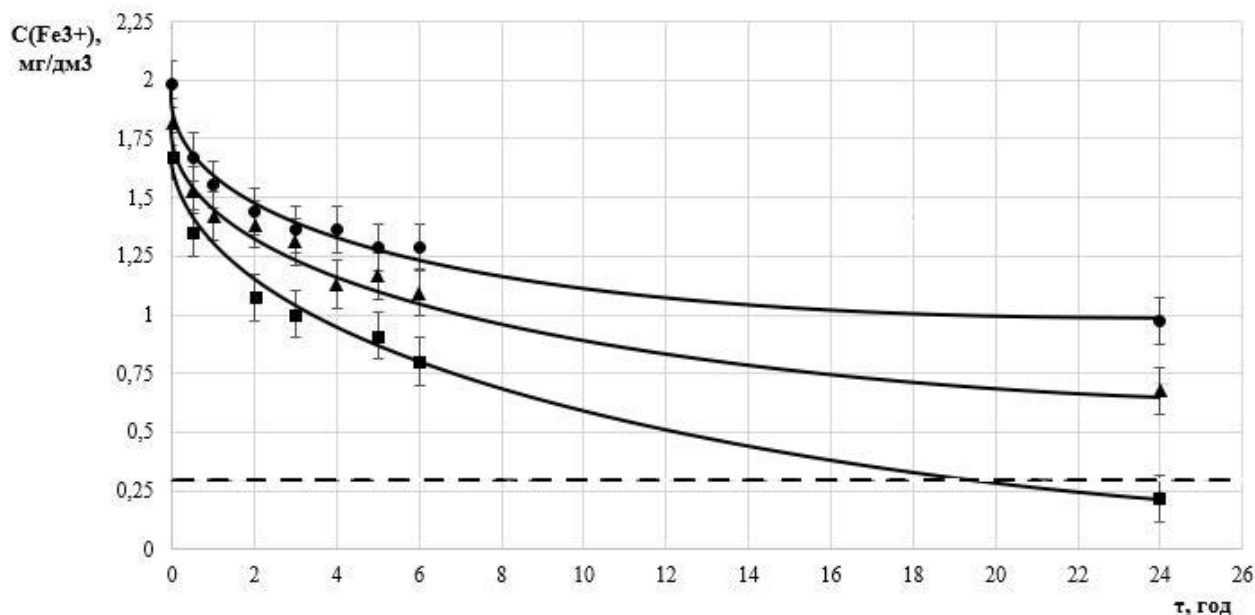


Рис. 1 Кінетика очищення води від іонів феруму(III) в контактних умовах за питомої щільності біомаси, г/дм²: ● – 2,9; ▲ – 4,4; ■ – 5,8; - - - - рівень ГДК

В результаті досліджень очищення модельного розчину в проточних умовах експериментального біореактора при вибраному гідравлічному режимі отримано зниження концентрації феруму (III) з 2,00 до 0,74 мг/дм³ протягом всієї тривалості роботи проточної установки. Ефект очищення становив 62%-65%, який свідчить про те, що концентрація Fe (III) в очищеній воді перевищує 0,3 мг/дм³.

За отриманими результатами кінетик очищення води від іонів феруму (III) встановлено раціональні параметри процесу: тривалість 20 год при питомій щільності біомаси 5,8 г/дм², ефект очищення досягав 89%, концентрація феруму в очищеній воді 0,22 мг/дм³, що відповідає санітарним вимогам. Для практичного застосування методу біологічного очищення з використанням

ряскових потрібне більш детальне вивчення процесу в проточних умовах при зміні гідравлічних і технологічних параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bokhari S. H. Phytoremediation potential of *Lemna minor* for heavy metals / S. H. Bokhari, I. Ahmad, M. Mahmood-Ul-Hassan, A. Mohammad // International Journal of Phytoremediation. — 2016. — Vol. 18, No. 1. — P. 25–32.

2. Hozhina E. . Uptake of heavy metals, arsenic, and antimony by aquatic plants in the vicinity of ore mining and processing industries / E. . Hozhina, A. . Khramov, P. . Gerasimov, A. . Kumarkov // Journal of Geochemical Exploration. — 2001. — Vol. 74, No. 1. — P. 153–162.

3. Hou W. Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*) / W. Hou, X. Chen, G. Song[et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. — 2007. — Vol. 45, No. 1. — P. 62–69.

4. Miretzky P. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals / P. Miretzky, A. Saralegui, A. F. Cirelli // Chemosphere. — 2004. — Vol. 57, No. 8. — P. 997–1005.

5. Кононцев С. В. Адаптація ряскових ряскових (*Lemnoideae*) до умов органічного забруднення води / С. В. Кононцев, Ю. Р. Гроховська, Л. А. Саблій, М. С. Коренчук // Вісник Хмельницького національного університету. — 2018. — Vol. 259, No. 2. — P. 141–145.

6. Buijzer E. R. Duckweed , a tiny aquatic plant with growing potential: potential applications of duckweed in urban water systems in te netherlands / E. R. Buijzer, A. J. Elshof. — 2015.

7. Teixeira S. Bioremediation of an iron-rich mine effluent by *lemna minor* / S. Teixeira, M. N. Vieira, J. E. Marques, R. Pereira // International Journal of Phytoremediation. — 2014. — Vol. 16, No. 12. — P. 1228–1240.

8. Marschner H. Strategies of plants for acquisition of iron / H. Marschner, V. Romheld // Plant and Soil. — 1994. — No. 165. — P. 261–274.

9. Nikolic M. Mechanism of Fe uptake by the leaf symplast: is Fe inactivation in

leaf a cause of Fe deficiency chlorosis? / M. Nikolic, V. Römheld // *Plant and Soil*. — 1999. — Vol. 215, No. 2. — P. 229–237.

10. Brüggemann W. Iron uptake by leaf mesophyll cells: the role of the plasma membrane-bound ferric-chelate reductase / W. Brüggemann, K. Maas-Kantel, P. R. Moog // *Planta*. — 1993. — Vol. 190, No. 2. — P. 151–155.

11. Grill E. Phytochelatins, a class of heavy-metal-binding peptides from plants, are functionally analogous to metallothioneins. / E. Grill, E. L. Winnacker, M. H. Zenk // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. — 1987. — Vol. 84, No. 2. — P. 439–443.

12. Kim S. A. Mining iron: iron uptake and transport in plants / S. A. Kim, M. Lou Guerinot // *FEBS Letters*. — 2007. — Vol. 581, No. 12. — P. 2273–2280.

13. Olsen R. A. Absorption of ferric iron by plants / R. A. Olsen, R. O. Miller // *Journal of Plant Nutrition*. — 1986. — Vol. 9, No. 3. — P. 751–757.

14. W S. Mechanism and regulation of reduction based iron uptake in plants / S. W // *New phytologist*. — 2002. — Vol. 141. — P. 1–26.

15. Stout L. M. Phytoprotective influence of bacteria on growth and cadmium accumulation in the aquatic plant *Lemna minor* / L. M. Stout, E. N. Dodova, J. F. Tyson, K. Nüsslein // *Water Research*. — 2010. — Vol. 44, No. 17. — P. 4970–4979.

16. Саблій Л. А. Дослідження ефективності видалення іонів феруму вищими водними рослинами / Л. А. Саблій, М. С. Коренчук, С. В. Кононцев, Д. С. Колтишева // *Наукові праці ВНТУ*. — 2018. — No. №2. — P. 5.