

## ОЦІНКА СКЛАДУ МІКРООРГАНІЗМІВ, ІММОБІЛІЗОВАНИХ НА НОСІЯХ РІЗНИХ ВИДІВ

Лариса Саблій<sup>1</sup>, Вероніка Жукова<sup>2</sup>, Андрій Гриневич<sup>3</sup>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
37, корпус 4, Берестейський пр., м. Київ, Україна

<sup>1</sup> докт. техн. наук, [larisasabliy@ukr.net](mailto:larisasabliy@ukr.net), [orcid.org/0000-0003-4217-3535](https://orcid.org/0000-0003-4217-3535)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, [verolis86@gmail.com](mailto:verolis86@gmail.com), [orcid.org/0000-0002-8296-7519](https://orcid.org/0000-0002-8296-7519)

<sup>3</sup> [orcid.org/0009-0009-3963-838X](https://orcid.org/0009-0009-3963-838X)

DOI: 10.32347/2524-0021.2024.48.57-65

**Анотація.** До морфологічних методів оцінки стану активного мулу чи біоплівки відноситься поширений в технологічному контролі роботи діючих очисних споруд гідробіологічний аналіз, у якому для оцінки стану мулу чи біоплівки в якості тест-об'єктів використовують індикаторні найпростіші організми. У комплексі з експериментальними дослідженнями проводили виявлення індикаторних мікроорганізмів біологічної плівки з використанням оптичної мікроскопії, що забезпечувало можливість вивчення складу та структури мікробіологічних спільнот. Оцінювання якості води за видовим складом організмів біоплівки носіях різних видів показує, що біоплівка носія колісної форми Ø 9,95 мм найбільш придатні для ефективного для очищення стічних вод серед досліджуваних носіїв.

**Ключові слова:** гідробіологічний аналіз, іммобілізовані мікроорганізми, склад біоплівки.

### ВСТУП

Біологічне очищення стічних вод є невід'ємною частиною сучасних систем водопостачання та водовідведення. Одним із шляхів збільшення ефективності роботи споруд біологічного очищення стічних вод є збільшення в об'ємі споруди концентрації біомаси мікроорганізмів. З цією метою в технологіях біологічного очищення стічних вод використовують носії з іммобілізованими мікроорганізмами.

Іммобілізовані мікроорганізми – це мікроорганізми, закріплені на поверхні носія з метою стабілізації їхньої активності. Іммобілізовані мікроорганізми використовуються в системах очищення стічних вод для покращення біологічних процесів, особливо при очищенні складних або високотоксичних вод. Використання іммобілізованих мікроорганізмів дозволяє підвищити ефективність розкладання органічних забруднювачів, біогенних речовин тощо.

До переваг використання іммобілізованих мікроорганізмів слід віднести:

- вищу ефективність: вищий ступінь розкладання складних органічних і токсичних речовин;
- збільшення біомаси мікроорганізмів-очисників в споруді;
- зменшення приросту біомаси: оскільки іммобілізовані мікроорганізми є більш стабільними, приріст біомаси менший в порівнянні з активним мулом;
- компактність очисних споруд. Реактори з іммобілізованими мікроорганізмами потребують менше площі;
- зниження вартості експлуатації.

Технології з іммобілізованими мікроорганізмами знижують експлуатаційні витрати завдяки меншому споживанню енергії та меншій витраті реагентів.

Імобілізовані мікроорганізми використовуються в аеротенках, біофільтрах, біореакторах та інших спорудах очищення стічних вод для деградації органічних забруднювачів, таких як нафтові вуглеводні, азотні сполуки, фосфати тощо.

На сьогодні науковці віддають перевагу біологічному методу очищення стічних вод в системах з активним мулом, який є простим, екологічним та економічно ефективним. Поруч з окисненням органічних речовин під час біологічного очищення відбуваються процеси нітрифікації та денітрифікації. Процес нітрифікації це мікробіологічне перетворення аміаку й солей амонію на нітриту й нітрата за участі амоній-окиснювальних бактерій (АОБ) і нітрито-окиснювальних бактерій (НОБ), відповідно. В процесі денітрифікації мікроорганізми-денітрифікатори використовують органічні сполуки як донорів електронів для розкладання аміаку та сполук амонію до газоподібного азоту [1-6].

Модифіковані процеси з активним мулом та носіями біомаси *AnoxKaldnes Anita* та *IFAS*, використовують для зменшення показника ХСК та концентрації біогенних елементів (сполук азоту і фосфору) в стічних водах. Однак цим процесам притаманні такі недоліки: необхідність переробки надлишкової біомаси, здатність носіїв до осідання, тривалий час утримання, невисокий ступінь нітрифікації амонію, нестабільна продуктивність, неприємні запахи, викиди парникових газів і використання значної площі [7-8]. Систему *IFAS* використовують для низькоконцентрованих стічних вод, тоді як *AnoxKaldnes Anita* – для висококонцентрованих.

Активний мул, який використовують в біологічному очищенні стічних вод має високопористу внутрішню структуру пластівців. Бактерії розташовуються в матриці гелеподібного середовища, утворюючи мікроколонії розміром близько 13 мкм. Ці мікроколонії виділяють полісахаридний гель і з'єднуються з ним, щоб сформувати саме

пластівці мулу розміром близько 125 мкм. Отже, мікроколонія може бути прийнята як фундаментальна одиниця пластівців. Клітини гетеротрофних бактерій активного мулу в результаті контакту з забруднювальними речовинами стічних вод виділяють в'язкий колоїдний розчин – гель. Саме наявність гелю зумовлює агрегацію мікроорганізмів і утворення пластівців активного мулу. Активний мул тільки в пластівцеподібному стані може забезпечувати високі швидкості деструкції забруднювальних речовин. Накопичення позаклітинних біополімерів надає активному мулу унікальні властивості, а саме: захищає організми від несприятливого впливу забруднювальних речовин і поглинання представниками наступної трофічної ланки; зберігає масу мулу в системі, сприяє його відокремленню від очищеної води у вторинних відстійниках; грає домінуючу роль в забезпеченні адсорбції забруднювальних речовин і їх транспорту всередину мікробних клітин. За своїм хімічним складом біополімерний гель найчастіше представлений амінокислотами та полісахаридами, що включають глюкозу, галактозу, аміноцукри. До складу біополімерного гелю крім глікопротеїнів входять також екзоферменти клітин мулу, поліпептиди, клітковина, саме тому він має іншу назву – полісахаридний гель [9-14].

Природа мікробних клітин активного мулу сприяє їх прикріпленню та агрегації на твердих поверхнях. Утримання (імобілізація) на носіях повільно зростаючих колоній нітрифікаторів у вигляді біоплівки підвищує ефективність очищення стічних вод (від вуглецю, сполук фосфору, аміаку та солей амонію).

Біоплівка – це мікробне угруповання, яке утворено клітинами, прикріпленими до поверхні або одна до одної, включене у матрикс синтезованих ними позаклітинних полімерних сполук, а також яке демонструє зміну фенотипу, вираженого зміною параметрів росту та експресії специфічних генів. Агрегація та гідрофобність є важливими характеристиками мікроорганізмів при визначенні їх

здатності формувати біоплівки. Гідрофобність твердих поверхонь впливає на адгезію бактерій, еукаріотичних клітин та білків.

Застосування лазерної конфокальної мікроскопії, скануючої електронної мікроскопії дозволило встановити, що біоплівки мають складну трьохвимірну структурну організацію. Склад матричного слизу варіює в залежності від наявних у ньому мікроорганізмів та включає полісахариди, білки, гліколіпіди та бактеріальну ДНК. При цьому основним компонентом є полісахариди (декстран, гіалуронова кислота, целюлоза та інші). За даними різних авторів ця фракція становить від 40 до 95 % від загальної маси біоплівки; вміст інших хімічних сполук значно варіює та залежить від бактерії, яка утворює біоплівку [15-19].

Актуальним завданням експлуатації очисних споруд є швидке визначення стану активного мулу чи біоплівки, тому складні та довготривалі методи не можуть бути застосовані. До морфологічних методів оцінки стану активного мулу відноситься поширений в технологічному контролі роботи діючих очисних споруд гідробіологічний аналіз, у якому для оцінки стану мулу в якості тест-об'єктів використовуються індикаторні найпростіші організми [20-22]. Цей аналіз швидше якісний і характеризує загальний стан біоценозу, а не його здатність до окиснення конкретних органічних чи неорганічних забруднень, але достатній для оперативного розуміння поточного стану активного мулу чи біоплівки.

## МЕТА І МЕТОДИ

Важливими характеристиками біохімічного очищення стічних вод в аеротенку є гідробіологічні показники активного мулу чи біоплівки. Метою роботи є встановлення складу мікроорганізмів біоплівки, іммобілізованої на носіях різних видів, з використанням гідробіологічного аналізу.

Дослідження було проведено на кафедрі біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Для досліджень використовували 4 зразки носіїв для іммобілізації мікроорганізмів різної конструкції. Іммобілізацію мікроорганізмів на носіях проводили з використанням активного мулу, відібраного на Бортницькій станції аерації м. Києва.

Гідробіологічний аналіз біомаси за індикаторними мікроорганізмами та аналіз активного мулу проводили за допомогою біологічного мікроскопа дослідницького класу ULAB XSP-139TP з фото-відеовиходом. Для досліджень використовували об'єктиви з малим ( $\times 4$ ,  $\times 10$ ) і великим збільшенням ( $\times 20$ ,  $\times 40$ ), окуляр зі збільшенням  $\times 10$ .

У якості експериментальної установки було використано 4 біореактори, в яких було дотримано однакові умови проведення процесу нарощування біомаси на поверхні носіїв. В кожному біореакторі на дні (в центрі) було встановлено аератор та по периферії дна – додатковий гнучкий аератор. Обидва забезпечували дрібнобульбашкову аерацію за допомогою ідентичних компресорів. Для підтримання життєздатності додавали 10 мл/день підживлювального (модельного) розчину в кожен біореактор для забезпечення мікроорганізмів біогенними речовинами. Склад такого розчину було розраховано із співвідношення БСК:N:P = 100:5:1 для підтримання активного мулу. До складу увійшли глюкоза як джерело вуглецю, джерела біогенних елементів: азоту ( $\text{KNO}_3$ ) і фосфор ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ). Після гідравлічних випробувань в кожен біореактор вносили активний мул та окремий тип носія. Пусковий період тривав 14 діб, після чого досліджували обростання носіїв у вигляді біологічної плівки.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Нарощування біомаси на носіях проводили з використанням мікроорганізмів активного мулу із забезпеченням їх повітрям (система аерації) і біогенними речовинами (модельний розчин). Було проведено дослідження характеристик біоплівки на пластикових елементах – носіях для прикріплення біоплівки чотирьох

різних форм та розмірів: сферичної діаметром 47,09 мкм; дискової – 125,93 мкм; колісної діаметрами 9,95 мкм і 9,34 мкм за однакових умов. Всі досліджені носії відносять до типу дисперсних, які розподіляються по всьому об'єму аеротенка, вони різні за розмірами, структурою, площею поверхні та матеріалом, з якого виготовлені.

Для формування біоплівки було використано активний мул. Для проведення оптичної мікроскопії проби активного мулу відбирали методом «точкових» проб після інтенсивного перемішування, що забезпечувало їх гомогенність. Під час проведення

аналізу ідентифікували представників найпростіших, також звертали увагу на структуру мулу, форму, розміри, морфологічні особливості, характер поведінки мікроорганізмів, активність роботи органел найпростіших (війок у інфузорій, коловоротного апарата у коловерток), спостерігали за загальною рухливістю мікроорганізмів.

Результати гідробіологічних досліджень активного мулу показали присутність у мулі таких активних представників як інфузорії кругловійчасті, коловертки, що свідчить про якісний консорціум активного мулу (рис. 1.).



**Рис. 1.** Мікрофотографії проб активного мулу з характерними представниками: інфузорії (а), коловертки (b, c)

**Fig. 1.** Microphotographs of activated sludge samples with characteristic representatives: ciliates (a), rotifers (b, c)

У комплексі з експериментальними дослідженнями проводили виявлення індикаторних мікроорганізмів біологічної плівки з використанням оптичної мікроскопії, що забезпечувало можливість вивчення складу та структури мікробіологічних спільнот. Отримано ряд результатів, що характеризують особливості біоценозу біоплівки, іммобілізованої на носіях.

Оцінку складу мікроорганізмів іммобілізованої біомаси на різних носіях здійснювали за показником чисельності гідробіонтів з використанням умовної чотирибальної шкали, за якою: 1 – одиничні форми; 2 – мало; 3 – достатньо; 4 – багато.

Для побудови графічної залежності чисельності гідробіонтів в біоценозі біореактора було використано формулу:

$$N = \frac{n \cdot 100}{4}, \%, \quad (1)$$

де  $N$  – показник чисельності гідробіонтів у %;  $n$  – показник чисельності гідробіонтів за умовною чотирибальною шкалою.

Для побудови графічної залежності було використано формулу (1). Отримані результати розрахунків чисельності гідробіонтів різних видів в біологічній плівці, іммобілізованої на носіях наведено на рис. 2.

Для аналізу результатів досліджень використано індикаторні організми, які наведено на рис. 3.

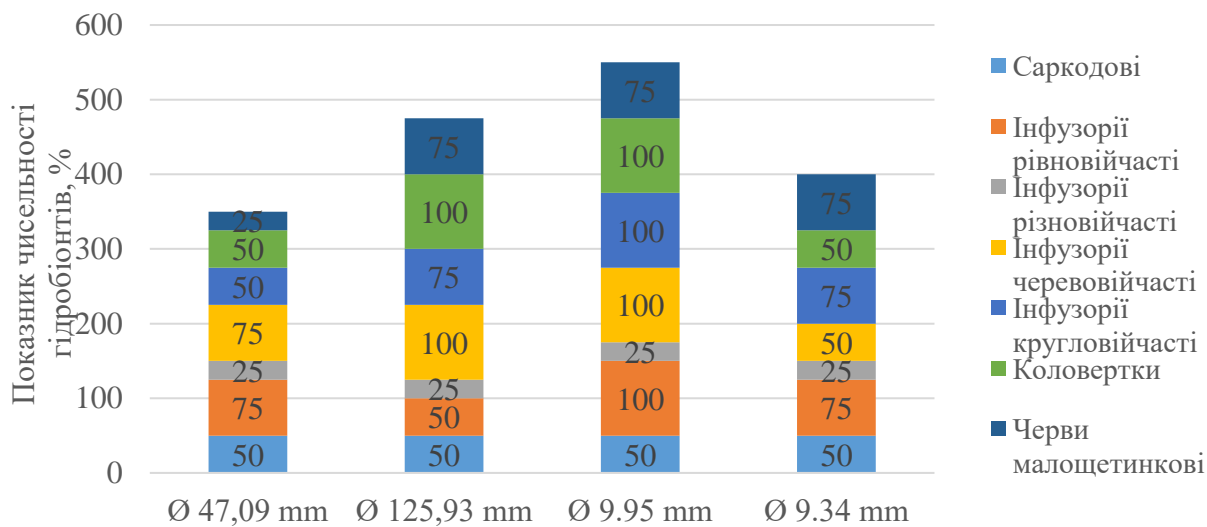


Рис. 2. Склад біоценозу біологічної плівки

Fig. 2. Composition of the biocenosis of the biological film

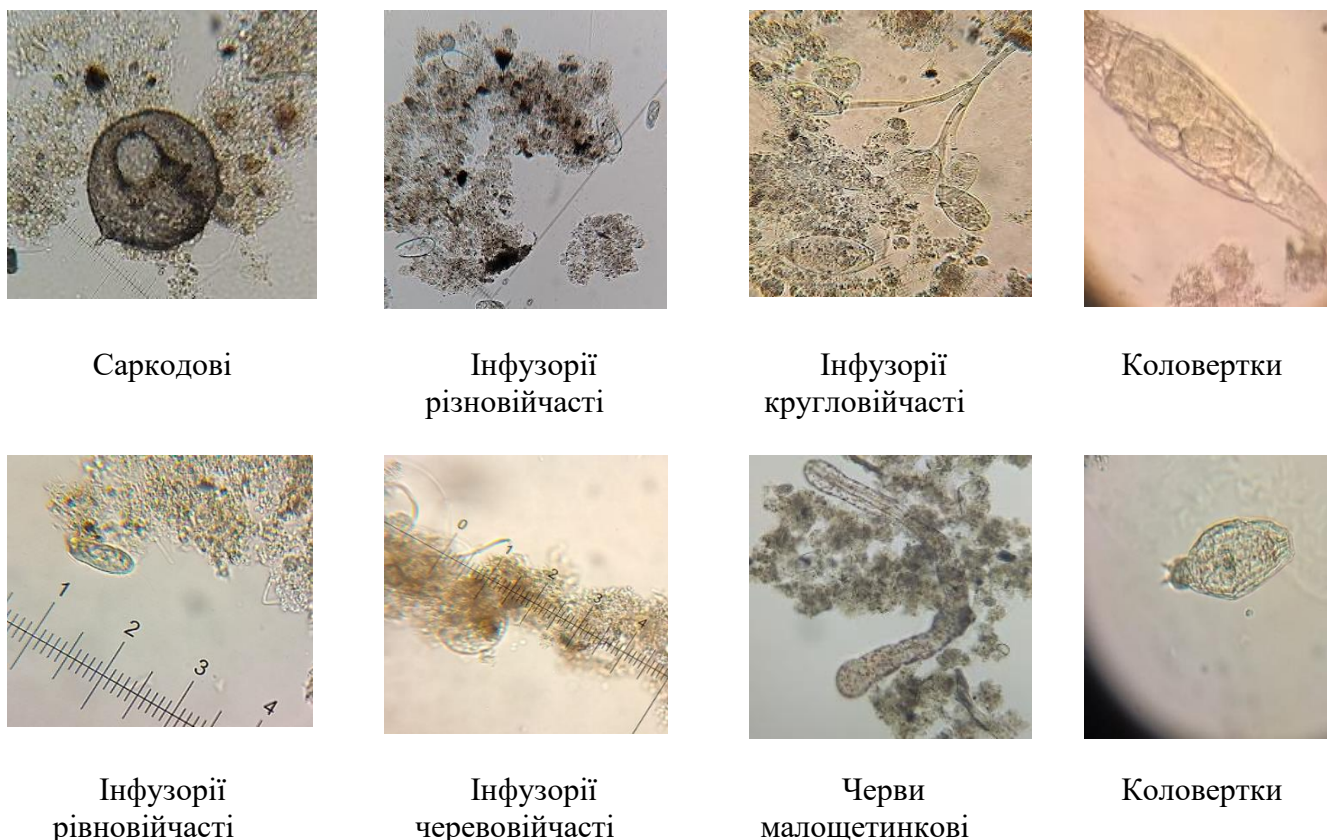


Рис. 3. Мікрофотографії індикаторних організмів для аналізу складу біологічної плівки, збільшення x400

Fig. 3. Micrographs of indicator organisms for analyzing the composition of biological film, magnification x400

Як показали результати досліджень складу біоценозу біологічної плівки на носіях з різним діаметром, найбільша різноманітність видів виявлена в третьому біореакторі з носієм Ø 9,95 мм, відповідно багато рівновійчастих, черевовійчастих, кругловійчастих інфузорій та коловертток, що свідчить про інтенсивне проходження обох ступенів нітрифікації.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Гідробіологічний аналіз біоплівки дозволяє швидко визначити ступінь очищення стічних вод. Наприклад зі збільшенням ступеня забрудненості стічних вод чисельність видів мікроорганізмів, як правило, зменшується. Тому зміна видового складу є показником зміни показників стічних вод.

Одиничні форми саркодових свідчать про окиснення більшості органічних речовин, тобто зниження БСК. Достатня наявність коловертток та малоцетинкових черв'яків у біореакторах вказує на високу мінералізацію біомаси та утворення трофічного ланцюга вищого рівня, забезпечує покращення процесу очищення води, адже ці організми виїдають детрит, бактерій, які можуть виноситись із очисної споруди разом з очищеною водою; зменшення приросту біомаси мікроорганізмів, внаслідок чого знижуються витрати на обробку та утилізацію осадів; мінералізацію біомаси, що покращує седиментаційні властивості осадів.

Оцінювання якості води за видовим складом організмів біоплівки на всіх чотирьох носіях показує, що біоплівка носія колісної форми Ø 9,95 мм найбільш придатні для ефективного для очищення стічних вод серед досліджуваних носіїв.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Zhang F., Peng Y., Miao L., Wang Z., Wang S., Li B.** A novel simultaneous partial nitrification Anammox and denitrification (SNAD) with intermittent aeration for cost-effective nitrogen removal from mature landfill leachate // *Chem. Eng. J.*, 2017. Vol. 313. P. 619–628.

2. **Ge S., Wang S., Yang X., Qiu S., Li B., Peng Y.** Detection of nitrifiers and evaluation of partial nitrification for wastewater treatment: A review // *Chemosphere*, 2015. Vol. 140. P. 85–98.

3. **Li J., Elliott D., Nielsen M., Healy M.G., Zhan X.** Long-term partial nitrification in an intermittently aerated sequencing batch reactor (SBR) treating ammonium-rich wastewater under controlled oxygen-limited conditions // *Biochem. Eng. J.*, 2011. Vol. 55. P. 215–222.

4. **Zhang Q., Chen X., Zhang Z., Luo W., Wu H., Zhang L., Zhang X., Zhao T.** Performance and microbial ecology of a novel moving bed biofilm reactor process inoculated with heterotrophic nitrification-aerobic denitrification bacteria for high ammonia nitrogen wastewater treatment // *Bioresour. Technol.*, 2020. Vol. 315. Article 123813.

5. **Саблій Л., Кузьмінський Ю., Жукова В., Козар М., Собчук Г.** New approaches in biological wastewater treatment aimed at removal of organic matter and nutrients // *Ecol. Chem. Eng. S.*, 2019. Vol. 26, № 2. P. 331-343.

6. **Бляшина М., Жукова В., Саблій Л.** Processes of biological wastewater treatment for nitrogen, phosphorus removal by immobilized microorganisms // *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 2018. № 2/10 (92). С. 30-37.

7. **Грицина О. О., Єсін М. А., Жукова В. С., Бляшина М. В., Волощук В. А.** Дослідження процесів очищення стічних вод від біогенних елементів та утилізації енергетичного потенціалу стічних вод: монографія. Рівне: НУВГП, 2018. 267 с.

8. **Veuillet F., Lacroix S., Bausseron A., Gonidec E., Ochoa J., Christensson M., Lemaire R.** Integrated fixed-film activated sludge ANITA™ Mox process – a new perspective for advanced nitrogen removal // *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research.*, 2014. Vol. 69. P. 915–922.

9. **Zheng T., Li P., Ma X., Sun X., Wu C., Wang Q., Gao M.** Pilot-scale experiments on multilevel contact oxidation treatment of poultry farm wastewater using saran lock carriers under different operation model // *Journal of Environmental Sciences*, 2018. Vol. 77. P. 336-345.

10. **Tang K., Rosborg P., Rasmussen E. S.** Impact of intermittent feeding on polishing of micropollutants by moving bed biofilm reactors (MBBR) // *Journal of Hazardous Materials*, 2021. , Vol. 403. Article 123536.

11. **Larsen, P. et al.** Adhesion Characteristics of Nitrifying Bacteria in Activated Sludge // *Water Research*, vol. 42, no. 10-11, 2008, pp. 2814-2826.
12. **Kadam N. V., Salkar V. D.** Color removal of recycled pulp and paper industry effluent by coagulation and flocculation // *Int. J. Environ. Res.*, 2015. Vol. 2. P. 754–758.
13. **Pombo F., Magrini A., Szklo A.** Technology roadmap for wastewater reuse in petroleum refineries in Brazil // *Environmental Management in Practice* / ed. by E. Broniewicz. InTech, 2011. ISBN 978-953-307-358-3.
14. **Ahn J.-W., Lim M.** Characteristics of wastewater from the pulp and paper industry and its biological treatment technologies // *J. Korean Inst. Resour. Recycl.*, 2009. Vol. 18, No. 2, 16-29.
15. **Саблій Л.А., Жукова В.С.** Efficient treatment of industrial wastewater using immobilized microorganisms // *Water Supply and Wastewater Disposal. Designing, Construction, Operation and Monitoring: монографія / за ред. Б. Ковальської, Д. Ковальського.* Люблін: Видавництво Люблінської політехніки, 2022. С. 248-262. ISBN: 978-83-7947-507-0.
16. **Sabliy L., Zhukova V., Kika L.** Effective biological treatment of tannery wastewater from nitrogen compounds // *ICAMS Proceedings of the International Conference on Advanced Materials and Systems*. 2022. P. 213-218.
17. **Yu G.H., He P.J., Shao L., Lee D.** Extracellular enzymes in sludge flocs collected at 14 full-scale wastewater treatment plants // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2008. Vol. 83. P. 1717–1725.
18. **Laspidou C. S., Rittman B. E.** A unified theory for extracellular polymeric substances, soluble microbial products, and active and inert biomass // *Water Research*. 2002. Vol. 36. P. 2711–2720.
19. **Schmidt M., Thill A., Purkhold U., Walcher M., Bottero J. Y., Ginestet P., Nielsen P. H., Wuertz S., Wagner M.** Characterization of activated sludge flocs by confocal laser scanning microscopy and image analysis // *Water Research*. 2003. Vol. 37. P. 2043–2052.
20. **Amanatidou E., Samiotis G., Trikoilidou E., Tzelios D., Michailidis A.** Influence of wastewater treatment plants' operational conditions on activated sludge microbiological and morphological characteristics // *Environmental Technology*. 2016. Vol. 37, № 2. P. 265–278.
21. **Arévalo J., Moreno B., Pèrez J., Gomez M. A.** Applicability of the sludge biotic index (SBI) for MBR activated sludge control // *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 167. P. 784–789.
22. **Hu B., Qi R., Yang M.** Systematic analysis of microfauna indicator values for treatment performance in a full-scale municipal wastewater treatment plant // *Journal of Environmental Sciences*. 2013. Vol. 25, № 7. P. 1379–1385.

## REFERENCES

1. **Zhang, F., Peng, Y., Miao, L., Wang, Z., Wang, S., & Li, B. (2017).** A novel simultaneous partial nitrification Anammox and denitrification (SNAD) with intermittent aeration for cost-effective nitrogen removal from mature landfill leachate. *Chemical Engineering Journal*, 313, 619–628. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.105>
2. **Ge, S., Wang, S., Yang, X., Qiu, S., Li, B., & Peng, Y. (2015).** Detection of nitrifiers and evaluation of partial nitrification for wastewater treatment: A review. *Chemosphere*, 140, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.02.004>
3. **Li, J., Elliott, D., Nielsen, M., Healy, M.G., & Zhan, X. (2011).** Long-term partial nitrification in an intermittently aerated sequencing batch reactor (SBR) treating ammonium-rich wastewater under controlled oxygen-limited conditions. *Biochemical Engineering Journal*, 55, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2011.05.002>
4. **Zhang, Q., Chen, X., Zhang, Z., Luo, W., Wu, H., Zhang, L., Zhang, X., & Zhao, T. (2020).** Performance and microbial ecology of a novel moving bed biofilm reactor process inoculated with heterotrophic nitrification-aerobic denitrification bacteria for high ammonia nitrogen wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 315, 123813. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123813>
5. **Sabliy, L., Kuzminskiy, Y., Zhukova, V., Kozar, M., & Sobczuk, H. (2019).** New approaches in biological wastewater treatment aimed at removal of organic matter and nutrients. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 26(2), 331-343. <https://doi.org/10.1515/eces-2019-0023>.
6. **Blyashyna, M., Zhukova, V., & Sabliy, L. (2018).** Processes of biological wastewater treatment for nitrogen, phosphorus removal by immobilized microorganisms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/10(92), 30-37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127058> [in Ukrainian]

7. Hrytsyna, O. O., Yesin, M. A., Zhukova, V. S., Blyashyna, M. V., & Voloshchuk, V. A. (2018). *Research on wastewater treatment processes for biogenic elements removal and energy potential utilization*. Rivne: NUVGP. [in Ukrainian]
8. Veuillet, F., Lacroix, S., Bausseron, A., Gonidec, E., Ochoa, J., Christensson, M., & Lemaire, R. (2014). Integrated fixed-film activated sludge ANITA™ Mox process – a new perspective for advanced nitrogen removal. *Water Science and Technology*, 69(4), 915-922. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.786>.
9. Zheng, T., Li, P., Ma, X., Sun, X., Wu, C., Wang, Q., & Gao, M. (2018). Pilot-scale experiments on multilevel contact oxidation treatment of poultry farm wastewater using saran lock carriers under different operation model. *Journal of Environmental Sciences*, 77, 336-345. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.09.005>
10. Tang, K., Rosborg, P., & Rasmussen, E.S. (2021). Impact of intermittent feeding on polishing of micropollutants by moving bed biofilm reactors (MBBR). *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123536. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123536>
11. Larsen, P., Nielsen, J. L., Svendsen, T. C., & Nielsen, P. H. (2008). Adhesion characteristics of nitrifying bacteria in activated sludge. *Water Research*, 42(10-11), 2814-2826. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.02.015>
12. Kadam, N. V., & Salkar, V. D. (2015). Color removal of recycled pulp and paper industry effluent by coagulation and flocculation. *International Journal of Environmental Research*, 2, 754–758.
13. Pombo, F., Magrini, A., & Szklo, A. (2011). Technology roadmap for wastewater reuse in petroleum refineries in Brazil. In E. Broniewicz (Ed.), *Environmental Management in Practice* (pp. 123-134). InTech. ISBN 978-953-307-358-3.
14. Ahn, J.W., & Lim, M. (2009). Characteristics of wastewater from the pulp and paper industry and its biological treatment technologies. *Journal of the Korean Institute of Resources Recycling*, 18(2), 16-29. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/263644708\\_Characteristics\\_of\\_Wastewater\\_from\\_the\\_PulpPaper\\_Industry\\_and\\_its\\_Biological\\_Treatment\\_Technologies](https://www.researchgate.net/publication/263644708_Characteristics_of_Wastewater_from_the_PulpPaper_Industry_and_its_Biological_Treatment_Technologies)
15. Sabliy, L.A., & Zhukova, V.S. (2022). Efficient treatment of industrial wastewater using immobilized microorganisms. In B. Kowalska & D. Kowalski (Eds.), *Water Supply and Wastewater Disposal. Designing, Construction, Operation and Monitoring*. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej. ISBN: 978-83-7947-507-0. Retrieved from <http://bc.pollub.pl/dlibra/publication/14017>.
16. Sabliy, L., Zhukova, V., & Kika, L. (2022). Effective biological treatment of tannery wastewater from nitrogen compounds. *ICAMS Proceedings of the International Conference on Advanced Materials and Systems*, 213-218. Retrieved from <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authId=57196153886>.
17. Yu, G.H., He, P.J., Shao, L., & Lee, D. (2008). Extracellular enzymes in sludge flocs collected at 14 full-scale wastewater treatment plants. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 83, 1717-1725. <https://doi.org/10.1002/jctb.1993>
18. Lapidou, C.S., & Rittman, B.E. (2002). A unified theory for extracellular polymeric substances, soluble microbial products, and active and inert biomass. *Water Research*, 36, 2711-2720. [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(01\)00413-4](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(01)00413-4)
19. Schmidt, M., Thill, A., Purkhold, U., Walcher, M., Bottero, J.Y., Ginestet, P., Nielsen, P.H., Wuertz, S., & Wagner, M. (2003). Characterization of activated sludge flocs by confocal laser scanning microscopy and image analysis. *Water Research*, 37, 2043–2052. [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(02\)00616-4](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(02)00616-4)
20. Amanatidou, E., Samiotis, G., Trikoilidou, E., Tzelios, D., & Michailidis, A. (2016). Influence of wastewater treatment plants' operational conditions on activated sludge microbiological and morphological characteristics. *Environmental Technology*, 37(2), 265–278. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1068379>.
21. Arévalo, J., Moreno, B., Pérez, J., & Gomez, M.A. (2009). Applicability of the sludge biotic index (SBI) for MBR activated sludge control. *Journal of Hazardous Materials*, 167, 784–789. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.057>.
22. Hu, B., Qi, R., & Yang, M. (2013). Systematic analysis of microfauna indicator values for treatment performance in a full-scale municipal wastewater treatment plant. *Journal of Environmental Science*, 25(7), 1379–1385. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60199-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60199-5)



## **Assessment of the microorganism composition immobilized on carriers of different types**

*Larysa Sabliy, Veronika Zhukova, Andriy Hrynevych*

**Abstract.** Morphological methods for assessing the state of activated sludge or biofilm include hydrobiological analysis, which is widespread in the technological control of the operation of existing treatment facilities, in which indicator protozoa are used as test objects to assess the state of sludge or biofilm. In combination with experimental studies, the detection of indicator microorganisms of the biological film was carried out using optical microscopy, which provided the opportunity to study the composition and structure of microbial communities. Assessment of water quality by the species composition of biofilm organisms in carriers of different types shows that biofilm carriers of a wheel shape Ø 9.95 mm are most suitable for effective wastewater treatment among the studied carriers.

**Keywords:** hydrobiological analysis, immobilized microorganisms, biofilm composition.

*Стаття надійшла до редакції 12.11.2024*