

КІЛЬКІСНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТІВЦІВ АКТИВНОГО МУЛУ В ПРИРОДОЗАХИСНИХ БІОТЕХНОЛОГІЯХ

Ткаченко С.О., Юрченко В.О.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, tkachenkosvetlana98@gmail.com, yurchenko.valentina@gmail.com

Вступ. Життєдіяльність активного мулу в установках біологічного очищення стічних вод забезпечує сорбцію та руйнування забруднювальних речовин із стічних вод та ефективно відділення очищеної рідини від біомаси. Здатність активного мулу утворювати швидко осідаючі пластівці є однією з ключових характеристик, що використовують для організації процесу біологічного очищення стічних вод в системах аеротенк-вторинний відстійник [1]. Утворення пластівців пояснюється присутністю в мікробіоценозі активного мулу бактерій, що виділяють біополімери-флокулянти, які зв'язують окремі клітини в агрегати (флоки), що здатні збільшуватися і відокремлюватися від рідини, що обробляється. Активність цього процесу залежить від ряду факторів, включаючи видовий склад мікрофлори та мікробіоти, кисневих умов, фізико-технічних параметрів тощо [1, 2]. Технологічний контроль біологічних очисних споруд, включаючи визначення характеристик осідання активного мулу, дає змогу підвищити ефективність та надійність такої технології захисту природних водойм.

Управління седиментаційною здатністю активного мулу включає методи оцінки стану активного мулу шляхом контролю морфології флоку (розмір, структура, щільність і форма) та популяції нитчастих мікроорганізмів. Відповідно до цих показників Д. Ейкельбум [2] поділив активний мул за якістю на добрий, середній та бідний (табл.1). Проте в діагностиці активного мулу, запропонованій Д. Ейкельбутом, такі важливі показники його якості, як структура, міцність та форма, характеризуються не кількісно, а лише якісно, що надзвичайно утруднює їх практичне використання на діючих очисних спорудах.

Таблиця 1. Критерії для встановлення якості активного мулу (за Eikelboom D.)

Показники/Якість	Добрий	Задовільний	Бідний
Структура пластівців	компактна	відкрита	-
Міцність пластівців	щільна	слабка	-
Форма пластівців	кругла	неправильна	-

Деякі з цих морфологічних показників використовують для моніторингу стану активного мулу в технологічному контролі процесів очистки на очисних спорудах в Україні. Проте визначення цих характеристик здійснюється лише якісно, візуально, а їх оцінка носить суб'єктивний характер.

Методика кількісного визначення морфологічних характеристик активного мулу необхідна в дослідженнях та випробовуваннях ефективності різних технологічних заходів щодо поліпшення якості пластівців активного мулу на

біологічних очисних спорудах. Наприклад, у науково-технічній літературі є повідомлення про позитивний вплив іонів Mg^{2+} на властивості флоків активного мулу в мембранних біологічних реакторах (МБР) та зменшення активності налипань на мембранах у разі додавання солей цього лужно-земельного металу в стічні води, що оброблюються [4, 5]. Вплив іонів Mg^{2+} у цих дослідженнях контролювали за величиною швидкості забруднення мембран, яку розраховували за мембранним опором. Натомість, морфологічні властивості активного мулу в МБР не контролювали.

Сучасні біотехнології захисту навколишнього середовища потребують складного комплексного контролю процесу із залученням хімічних, гідробіологічних, біохімічних та інших методів, необхідних, в першу чергу, для управління активними мікробіоценозами. Необхідно, щоб ці методи були експресними, придатними для автоматизації та аналізу великої кількості проб, а їх показники – кількісними, придатними до використання в математичному моделюванні.

Метою роботи є розробка комп'ютеризованої методики кількісної оцінки технологічних властивостей пластівців активного мулу (площі, форми і структури) та її апробація в експериментальних дослідженнях за впливу додавання сульфату магнію в середовище.

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження був активний мул з аеротенку міських біологічних очисних споруд (м. Харків).

Для комп'ютеризованої методики кількісного визначення технологічних характеристик активного мулу використали обробку мікрофотознімків мулу в програмному продукті ImadgeJ, що обробляє зображення, робить арифметичні операції та геометричні перетворювання. Результатом розрахунку програми були такі показники: площа пластівців та їх розмір (зазвичай розуміють діаметр, а для частинок неправильної форми використано середній проєктований діаметр, мкм), структура (за змістом, вкладеним Д.Ейкельбутом, найбільш підходить показник a' – відношення довжини частинки до її проєктованого діаметру), округлість. Чим ближче a' до 1, тим компактніша частинка. Округлість характеризували через коефіцієнт округлості Circ, який в програмі визначається за формулою:

$$\text{Circ} = \frac{4\pi S_{\Pi}}{P^2}$$

де S_{Π} – площа проєкції сферичної частинки, мкм²;

P – периметр, мкм.

Чим ближче значення коефіцієнта округлості до нуля, тим менш округла форма пластівців.

Фотографування мікроскопічних зображень мулу виконували за збільшення в 100-150 разів під час мікроскопування збогтаних проб мулу з використанням біологічного мікроскопу Ломо Мікмед-1. Для масштабування розміру пластівців для подальших досліджень паралельно виконували прямі вимірювання розміру деяких пластівців за допомогою окуляра-мікрометра. Для кожного варіанту досліду обробляли не менше 10 мікрофотознімків.

Провели лабораторне дослідження впливу іонів Mg^{2+} на властивості пластівців активного мулу в контролі морфології пластівців за допомогою розробленої комп'ютеризованої методики. В зразки мулової рідини (100 см^3) додавали аліквоту розчину сульфату магнію для збільшення за розрахунком концентрації Mg^{2+} на 2 та 4 мг/л у варіантах досліду. Потім мулову суміш аерували і через 1 годину відбирали зразки для мікроскопування та дослідження геометричних та морфологічних характеристик пластівців активного мулу.

Результати та обговорення. Результати досліджень представлено на рисунку 1 та в таблиці 2. Як видно з даних на рисунку 1, у разі збільшення вмісту іонів Mg^{2+} з 9 до 13 мг/л спостерігали збільшення розмірів пластівців. Як видно з даних таблиці 2, у разі додавання Mg^{2+} в мулову суміш морфологічні та геометричні показники пластівців активного мулу змінювались. Спостерігається чітка тенденція зменшення округлості (за збільшення від 9 мг/л до 13 мг/л – на 45 %), що є негативною зміною.

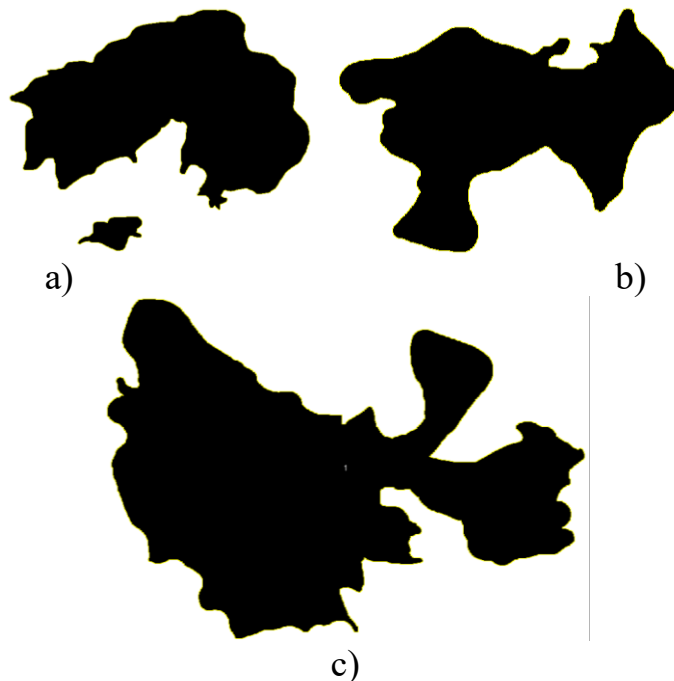


Рис 1. Дослідження властивостей пластівців активного мулу при вмісті Mg^{2+} :
а) 9 мг/л; б) 11 мг/л; в) 13 мг/л

Таблиця 2. Вплив додавання солей Mg^{2+} на геометричні та морфологічні характеристики пластівців активного мулу, які визначені за допомогою розробленої методики

Вміст Mg^{2+} в середовищі, мг/л	Геометричні показники		Морфологічні показники	
	Площа (S_{Π}), мкм ²	Розмір (dn) мкм	Округлість	Структура (a')
9	89,31	23,66	0,68	1,40
11	104,76	24,95	0,58	1,34
13	209,35	37,16	0,47	1,52

Визначено, що розміри пластівців із збільшенням вмісту магнію в муловій рідині зростали, причому особливо радикально у разі переходу від вмісту Mg^{2+} від 11 мг/л до 13 мг/л. Імовірно, що зміни вмісту Mg^{2+} у діапазоні від 9 мг/л до 11

мг/л не суттєво впливали на досліджені характеристики пластівців активного мулу. Структура пластівців у другому варіанті досліді покращилась (значення a' зменшилось), проте в третьому варіанті у разі збільшення вмісту Mg^{2+} у муловому середовищі до 13 мг/л значення a' збільшилось (порівняно з a' за 9 мг/л) на 9 %. Отже, структура дещо погіршилась, що кореспондується з погіршенням коефіцієнта округлості.

Можна стверджувати, що додавання солей сульфату магнію (розглядаємо перший та третій варіанти – вміст Mg^{2+} 9 мг/л та 13 мг/л) дещо погіршувало округлість пластівців та їх структуру, проте набагато збільшувало лінійні розміри (на 57 %) і надзвичайно збільшувало площу пластівців (на 135 %). Імовірно, що за термін експозиції мулової рідини протягом експерименту (1 год) пластівці збільшились, проте не встигли ущільнитись та сформувати більш компактну форму і структуру.

Висновки. За результатами дослідження можна зробити такі висновки:

- розроблений метод кількісної оцінки технологічних характеристик пластівців активного мулу дає змогу кількісно охарактеризувати технологічні показники (розмір, площа, округлість, структура), які раніше визначали лише якісно шляхом візуального спостереження. До того ж, розроблена комп'ютеризована методика кількісного визначення технологічних характеристик пластівців активного мулу дає змогу значно деталізувати та уточнити результати візуальних оцінок;

- за допомогою розробленої комп'ютеризованої методики доведено позитивний вплив додавання солей Mg^{2+} на геометричні характеристики активного мулу. Дослідження показали, що у разі збільшення вмісту Mg^{2+} в муловій рідині на 4 мг/л до 13 мг/л спостерігалось зменшення округлості пластівців (на 45 %), незначне (на 9 %) погіршення структури, проте відбувалось збільшення лінійних розмірів (на 57 %) та надзвичайне збільшення (на 135 %) площі пластівців.

Список використаної літератури:

1. Karczmarczyk A., Kowalik W. Combination of microscopic tests of the activated sludge and effluent quality for more efficient on-site treatment. *Water*. 2022. Vol. 14, no. 3. P. 489. URL: <https://doi.org/10.3390/w14030489> (date of access: 01.05.2023).
2. Eikelboom D. H. Process control of activated sludge plants by microscopic investigation. London : IWA Pub., 2000. 156 p.
3. Wanner J. Activated sludge bulking and foaming control. Lancaster, PA : Technomic Pub., 1994. 327 p.
4. Qiblawey H., Judd S. Industrial effluent treatment with immersed MBRs: treatability and cost. *Water science and technology*. 2019. Vol. 80, no. 4. P. 762–772. URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2019.318> (date of access: 28.04.2023).
5. Arabi S., Nakhla G. Impact of cation concentrations on fouling in membrane bioreactors. *Journal of membrane science*. 2009. Vol. 343, no. 1-2. P. 110–118. URL: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2009.07.016> (date of access: 28.04.2023).