

ХСК, мгО·дм ⁻³	260	210
рН, од.	7,5	7,8
Прозорість, см	25	30

За даними таблиці 1 видно, що за такими показниками, як завислі речовини та ХСК, спостерігається перевищення гранично допустимих концентрацій у декілька разів саме внаслідок результату антропогенної діяльності.

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ В МІКРОБНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Колтишева Д.С., Щурська К.О., Кузьмінський Є.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, Київ, dinakoltisheva@gmail.com

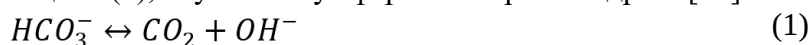
Вступ. Поступове зростання темпів забруднення водних об'єктів та енергетична криза спонукали людство до пошуку нових відновлювальних джерел енергії [1,2]. Мікробний паливний елемент - технологія, яка дає змогу за участі мікроорганізмів одночасно очищати стічну воду та виробляти електричну енергію. В анодній камері мікробного паливного елемента відбувається окиснення органічних сполук, внаслідок якого вивільняються електрони та передаються з анода на катод через зовнішній електричний ланцюг з навантаженням (резистором). Термінальним акцептором електронів в катодній камері виступає кисень, який внаслідок електрохімічної реакції з протонами та електронами перетворюється на молекули води. Таким чином на ефективність вироблення електроенергії впливають анодна та катодна напівреакції [3]. Для збільшення ефективності вироблення електроенергії необхідно забезпечувати штучну аерацію катодної камери задля збільшення вмісту кисню в католіті. Штучна аерація вимагає використання енергії, тому для зменшення залежності від штучної аерації і, як наслідок, для зниження собівартості технології використовують в катодній камері мікроводорості [4]. Використання мікроводоростей дає змогу одночасно продукувати кисень, та отримувати в якості побічного продукту біомасу мікроводоростей, яка може бути використана при виробництві біопалива [5]. Метою роботи є встановлення можливості використання мікроводоростей видів *Chlorella vulgaris*, *Desmodesmus armatus*, *Parachlorella kessleri* в катодній камері мікробних паливних елементів.

Методи і матеріали. У дослідженнях було використано двокамерний мікробний паливний елемент Н-типу з сольовим мостом [6] між камерами об'ємом 0,5 дм³. Як анод та катод було використано сітку з неіржавіючої сталі (каркас, 100x50мм (±5мм)), яку для збільшення поверхні обвили вуглецевою ниткою (суха маса вуглецевої нитки на каркасі 4,0±0,5г). Аноліт складався з 295 см³ буферного розчину (рН= 6,1) [6], в якому розчинено Fe₂(SO₄)₃ (200μМ) та глюкозу (50мМ), 200 см³ суміші стічної води з активним мулом з Бортницької станції аерації ПАТ "АК Київводоканал" (маса сухої речовини 2,49 г/дм³) та вітаміни і мінерали в слідових кількостях [6]. Як католіт використовували поживні середовища: Болда для *Chlorella vulgaris*, Бурреллі для *Desmodesmus armatus*, Тамія для

Parachlorella kessleri, як такі, в яких дані мікроводорості підтримувались та вирощувались, для зменшення тривалості періоду адаптації мікроводоростей до нових умов [7]. Культури мікроводоростей було надано для досліджень співробітниками Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАНУ. Паралельно було запущено контроль, в якому не було біологічних об'єктів, як аноліт було використано буферний розчин (pH= 6,1) та як католіт – поживне середовище Болда.

Вимірювання напруги проводили мультиметрами (DT 830B та M830BUZ), оптичну густину католіту для оцінки приросту біомаси мікроводоростей вимірювали спектрофотометром (ULAB 102) при довжині хвилі світла 680 нм [8]. Всі зважування проводили за допомогою електронних вагів (Pioneer OHAUS). ХСК визначали за методикою КНД 211.1.4.021-95 [9]. Значення pH вимірювали pH-ОВП метр SX 811.

Результати. Враховуючи те, що в складі католіту було використано лише поживне середовище без буферного розчину та те, що внаслідок біоелектрохімічних реакцій в катодній камері католіт може змінювати кислотну реакцію, проводили вимірювання pH (рис.1). В мікробних паливних елементах з *Chlorella vulgaris* та *Parachlorella kessleri* не спостерігали значних змін pH протягом досліду, в той час як з 4-ї доби pH католіту з *Desmodesmus armatus* в поживному середовищі Бурреллі почав поступово зростати. Співставляючи ці результати зі зміною оптичної густини католіту (рис.2), можна спостерігати більш стрімкий ріст оптичної густини католіту саме в зразках мікробного паливного елемента з *Desmodesmus armatus* в катодному напівелементі. Можливим поясненням зростання значення pH може бути те, що мікроводорості в умовах нестачі вуглекислого газу при швидкому прирості використовують CO₂, який є продуктом перетворення бікарбонату за реакцією (1), яку каталізує фермент карбоангідраза [10]:



Також зростання pH може свідчити про перетворення нітрат-аніонів, які входять до складу середовища, в органічні сполуки (оргN) протягом активного росту культури мікроводоростей (2) [11]. pH контролю становив 6,9±0,05.

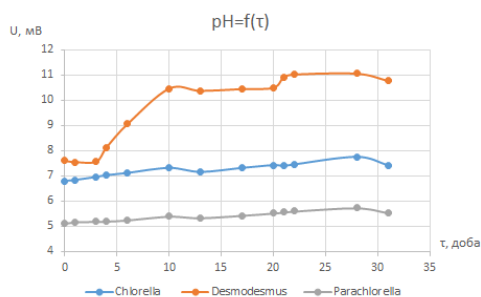


Рис.1 Зміна pH середовища в процесі культивування

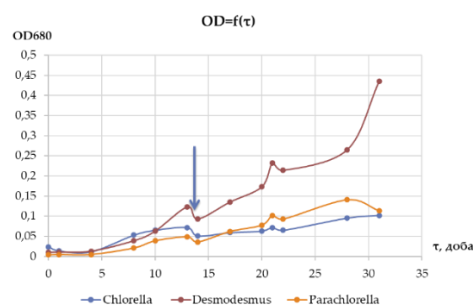


Рис.2 Зміна оптичної густини католіту в процесі культивування. Стрілкою показано додавання 100 см³ відповідного середовища

Спостерігали поступове зниження показника ХСК (рис.3) в усіх анодних камерах, що свідчило про зменшення вмісту органічних сполук. Паралельно зі зменшенням значення показника ХСК спостерігали зростання напруги (рис.4). Візуально спостерігали обростання анода плівкою. Після зменшення напруги з 10-ї доби від запуску мікробного паливного елемента, було частково замінено аноліт: 150 см³ буферного розчину, в якому було розчинено Fe₂(SO₄)₃ та глюкозу в концентраціях, які зазначені в методах і матеріалах, та 100 см³ суміші стічної води з активним мулом, після чого знову спостерігали зростання напруги. В мікробних паливних елементах з *Chlorella vulgaris* та *Parachlorella kessleri* після часткової заміни аноліту зниження напруги не спостерігалось, в той час як мікробному паливному елементу з *Desmodesmus armatus* з 28-ї доби відбувалось зменшення напруги. В цей же час оптична густина католіту з *Desmodesmus armatus* стрімко зростала, що може бути спричинено значним приростом біомаси, що у зв'язку з відсутністю додаткових перемішуючих пристроїв призводить до взаємного затінення клітин [12], через що, імовірно, знижується продукування кисню, і як наслідок напруги. (рис.2). ХСК контролю не знижувалось протягом дослідження, а напруга коливалась в межах 20±2 мВ.

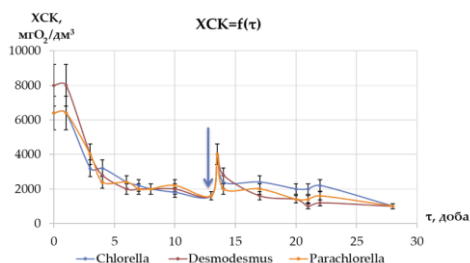


Рис.3 Динаміка зменшення значення ХСК в аноліті в процесі культивування

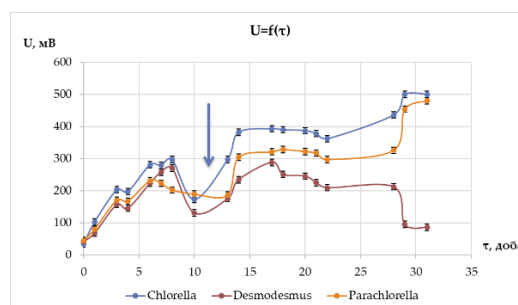


Рис.4 Зміна напруги повного мікробного паливного елемента в процесі культивування

(Стрілкою показано додавання буферного розчину з глюкозою та Fe₂(SO₄)₃ та суміші стічної води з активним мулом)

Висновки. Було встановлено можливість використання мікродоростей видів *Chlorella vulgaris*, *Desmodesmus armatus*, *Parachlorella kessleri* в мікробних паливних елементах. Отримано вищі значення напруги порівнюючи з літературними даними для *Desmodesmus armatus* за максимальними показниками 288 мВ порівняно з 185,7 мВ [2] та для *Chlorella vulgaris* 500 мВ порівняно з 186 мВ [8] та більше за контроль – 20 мВ. Також встановлено більш стрімкий порівняно з іншими культурами приріст біомаси мікродоростей *Desmodesmus armatus*. З іншого боку, зростання швидкості приросту біомаси може негативно вплинути на напругу мікробного паливного елемента та стати причиною збільшення рН католіту. Таким чином, нарощену біомасу необхідно періодично видаляти замінюючи частково католіт новою порцією поживного середовища. Враховуючи отримані результати зміни ХСК аноліту технологія перспективна як один з етапів очищення

стічних вод з високим вмістом органічних сполук з одночасним утворенням електричної енергії.

Список використаних джерел

1. Зубченко, Л. С. Біотехнологічне отримання водню в біопаливних елементах з фотоелектрохімічним катодом / Л. С. Зубченко // Екологічні біотехнології та біоенергетика : матеріали науково-практичного семінару присвяченого 120-річчю КПП ім. Ігоря Сікорського (м. Київ, 14 грудня 2018 р.). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С. 34–36. – Бібліогр.: 4 назви.
2. Light intensity affects the performance of photo microbial fuel cells with *Desmodesmus* sp. A8 as cathodic microorganism. / [Y. C. Wu, Z. J. Wang, Y. Zheng та ін.]. // *Applied energy*. – 2014. – №116. – С. 86–90.
3. Kakarla R. Photoautotrophic microalgae *Scenedesmus obliquus* attached on a cathode as oxygen producers for microbial fuel cell (MFC) operation / R. Kakarla, B. Min. // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2014. – №39. – doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.04.158
4. Kannan N. Algae-assisted microbial fuel cells: A practical overview [Електронний ресурс] / N. Kannan, P. Donnellan // *Bioresource Technology Reports*. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100747>.
5. Sharma A. Performance evaluation of a photosynthetic microbial fuel cell (PMFC) using *Chlamydomonas reinhardtii* at cathode / A. Sharma, M. Chhabra. // *Bioresource Technology*. – 2021. – №338. doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125499
6. Щурська К. О. Біоелектрохімічне генерування водню в мікробному паливному елементі. 3. Експериментальна частина / К. О. Щурська, Є. В. Кузьмінський. // *Відновлювана енергетика*. – 2012. – №1. – С. 67–77.
7. Колекція культур мікроводоростей IBASU-A / О.В. Борисова, П.М. Царенко, М.О. Коніщук. — Київ, 2014. — 110 с.
8. Wu X. et al. Construction and operation of microbial fuel cell with *Chlorella vulgaris* biocathode for electricity generation // *Applied biochemistry and biotechnology*. – 2013. – Т. 171. – №. 8. – С. 2082–2092.
9. Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в природних і стічних водах: КНД 211.1.4.020- 95. — К., 1995. — 16 с.
10. Gao K. Approaches and involved principles to control pH/pCO₂ stability in algal cultures [Електронний ресурс] / K. Gao // *Journal of Applied Phycology*. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02585-y>.
11. Goldman J. C. Effect of nitrogen-mediated changes in alkalinity on pH control and CO₂ supply in intensive microalgal cultures / J. C. Goldman, M. R. Dennett, C. B. Riley. // *Biotechnology and Bioengineering*. – 1982. – №24. – С. 619–631.
12. Stacked optical waveguide photobioreactor for high density algal cultures / [E. Jung, A. Jain, N. Voulis та ін.]. // *Bioresource Technology*. – 2014. – №171. – С. 495–499.