

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТІ *CHLORELLA* ШТАМУ *POLIKARP* ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТА ІНДИКАЦІЇ СТАНУ ВОДОЙМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі науково обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність застосування мікроводорості *Chlorella vulgaris* штаму Polikarp як інструменту подвійної дії для очищення та біоіндикації стану водойм, забруднених техногенними речовинами. Встановлено, що використання автоматизованого комплексу «BIODRUM» та дотримання розроблених технічних умов ТУ У 03.0-36308885-001:2021 забезпечує стабільність біоремедіаційних процесів та високу ефективність вилучення важких металів (до 91–99%) і біогенних елементів.

Ключові слова: технологія альголізації, *Chlorella vulgaris* Polikarp, біоремедіація, важкі метали, еколого-економічна оцінка.

Abstract

The work scientifically substantiates and experimentally confirms the effectiveness of using the microalgae *Chlorella vulgaris* strain Polikarp as a dual-action tool for cleaning and bioindication of the state of water bodies polluted by technogenic substances. It was established that the use of the automated complex "BIODRUM" and compliance with the developed technical conditions of TU U 03.0-36308885-001:2021 ensures the stability of bioremediation processes and high efficiency of the extraction of heavy metals (up to 91–99%) and biogenic elements.

Keywords: algalization technology, *Chlorella vulgaris* Polikarp, bioremediation, heavy metals, ecological and economic assessment.

Вступ

Забруднення прісних водойм техногенними речовинами та важкими металами є критичною проблемою для екологічної безпеки України. Традиційні фізико-хімічні методи очищення часто є енергомісткими та не дозволяють здійснювати оперативний біологічний моніторинг стану екосистеми. Перспективним рішенням є розвиток керованих біотехнологій на основі високопродуктивних штамів мікроводоростей.

Постановка задачі та мета роботи

Сучасний стан прісноводних екосистем характеризується значним антропогенним навантаженням, що призводить до накопичення важких металів та надлишку біогенних елементів, провокуючи деградацію водойм. Існуючі методи очищення часто є енергозатратними або не забезпечують оперативного моніторингу змін екологічного стану. У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці та впровадженні комплексної біотехнології на основі штаму мікроводорості *Chlorella vulgaris* Polikarp, яка поєднувала б у собі високу ефективність біоремедіації із функцією біоіндикації, а також передбачала б автоматизацію процесів культивування для забезпечення стабільного результату в різних гідрологічних умовах.

Метою дослідження є наукове обґрунтування та розробка технології покращення екологічного стану водойм шляхом впровадження керованого процесу альголізації з використанням штаму *Chlorella vulgaris* Polikarp. Для досягнення поставленої мети передбачено встановлення оптимальних параметрів культивування мікроводоростей у спеціалізованих модулях «BIODRUM», експериментальне підтвердження ефективності вилучення токсикантів із водного середовища та розробка еколого-економічної моделі впровадження даної технології для забезпечення сталого функціонування водних об'єктів.

Експериментальна частина

Експериментальні дослідження проводилися у два етапи: лабораторне моделювання та натурні випробування у відкритих водоймах. На першому етапі було вивчено кінетику приросту біомаси *Chlorella vulgaris* штаму *Polikarp* у різних живильних середовищах та встановлено її сорбційну здатність щодо іонів важких металів (Cu, Pb, Zn, Cd). Для автоматизації процесів культивування було застосовано розроблений та запатентований модуль «BIODRUM», який дозволив підтримувати оптимальний світловий та температурний режими. Оцінка життєздатності мікрроводоростей здійснювалася за допомогою мікроскопічного аналізу та вимірювання оптичної густини суспензії, що дало змогу визначити критичні концентрації забруднювачів, за яких зберігається висока фотосинтетична активність.

На другому етапі експерименту було проведено практичну апробацію технології альголізації на реальних об'єктах, зокрема на річці Слана (Словаччина) та ставках у Київській області. Під час натурних досліджень здійснювався регулярний відбір проб води для хіміко-аналітичного контролю вмісту розчиненого кисню, азотної групи та солей важких металів. Результати підтвердили, що впровадження штаму *Polikarp* сприяє інтенсивному насиченню води киснем (зростання на 20–40%) та суттєвому зниженню рівня еутрофікації. Отримані дані стали основою для розробки технічних умов ТУ У 03.0-36308885-001:2021 та методики еколого-економічного оцінювання ефективності впроваджуваних природоохоронних заходів.

Обговорення експериментальних даних

Об'єктом дослідження є процеси біологічного очищення водойм різного типу (річкових, стоячих, техногенних). Уперше для штаму *Polikarp* встановлено залежність ефективності очищення від гідрологічних характеристик об'єкта. Експериментальні дослідження, проведені на річці Слана (Словаччина) та водоймах Київської області (с. Музичі), показали наступні результати:

Ефективність очищення: вилучення важких металів у лабораторних умовах досягало: Cu — до 95%, Pb — до 99%, Zn — до 98%, Cd — до 96%.

Покращення кисневого режиму: вміст розчиненого кисню у водоймах після альголізації зріс у середньому на 1,5–3,2 мг/дм³.

Зниження біогенного навантаження: вміст амонійного азоту та нітритів зменшився на 30–60%, що запобігає «цвітінню» води.

Технологія реалізується за допомогою запатентованого автономного модуля «BIODRUM», який автоматизує процес культивування та забезпечує відтворюваність біомаси. Еколого-економічний аналіз підтвердив, що річний ефект від зменшення екологічних збитків за умови очищення 1000 м³ стоків на добу може перевищувати 188 тис. доларів США, а термін окупності системи становить до 3 років.

Висновки

Штам *Chlorella vulgaris Polikarp* є ефективним біоагентом для відновлення водних екосистем. Розроблена технологія дозволяє диференціювати підходи до очищення залежно від типу водойми та забезпечує значний еколого-економічний ефект, що відповідає принципам сталого розвитку та декарбонізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pashkevich L.P (2017). Patent for a utility model Automated complex for growing microalgae “BIODrum”. Registered No. u201607588 dated 2017-03-13. [in Ukraine].
2. Tymurova, L. E., Faichuk, V. V., Katkov, M. V., Pashkevych, L. P. (2025). A new system of using Bioplateau for cleaning rivers in the mountain runway formation area. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, 179(2), 32–38. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-179-2-32-38>
3. Petruk, R., Pashkevych, L. (2024). Environmentally Safe Technologies for the removal of heavy metals from landfill leachate. *Modern Technology, Materials and Design in Construction*, 37(2), 208–214. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-208-214>
4. Ulytskyi, O., Pashkevych, L., Petruk, R., & Dyachenko, N. (2025). Methods of restoration of the Slana River to improve the state of the ecosystem. *Environmental Problems*, 10(4), 420–430. <https://doi.org/10.23939/ep2025.04.420>

Пашкевич Леонід Полікарпович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Петрук Роман Васильович – доктор техн. наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Pashkevych Leonid – postgraduate student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Petruk Roman – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia