



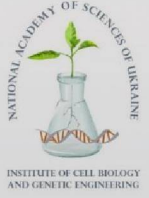
KEY
PHARMA



Łukaszewicz
PRAP



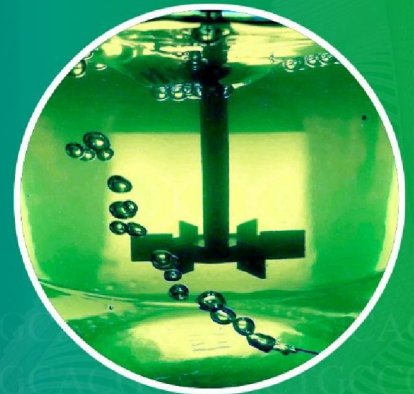
BIO-2
UMWELT



XX Міжнародна науково-практична конференція
студентів, аспірантів і молодих вчених

"Біотехнологія XXI століття"

присвячена 25-річчю факультету біотехнології і біотехніки



```
Amino_Acid = mRNA.translate(table=1, cds=False)
Proteins = Amino_Acid.split('*')
print(f'Proteins = \n {Proteins}')
df = pd.DataFrame(Proteins)
df.describe()
print(f'df = \n {df}')
```



08.05.2026, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

«Біотехнологія ХХІ століття»: матеріали ХХ Міжнародної науково-практичної конференції, 08 травня 2026. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026, 456 с.

Матеріали конференції включають роботи молодих вчених, аспірантів та студентів, які проводять наукові дослідження в галузях промислової, харчової, сільськогосподарської, медичної біотехнології, магнітних технологіях в біотехнології та медицині, біоінформаційних дослідженнях, екологічної біотехнології та біоенергетики, відновлюваних джерел енергії та напрямку інженерного забезпечення біотехнологічних виробництв.

Матеріали конференції опубліковано в авторській редакції.

Відповідальні за випуск:

Сергій КОСТИК

Діна КОЛТИШЕВА

Лоліта МАРИНЧЕНКО

Анна ХАБЛЕНКО

Павло ЗУБИК

Антон РУЖАНСЬКИЙ

Олексій КОЛІСНІЧЕНКО

Юхим КАЛЮЖНИЙ

Назарій КОЗАЧОК

Рекомендовано до опублікування Вченою радою факультету біотехнології і біотехніки, протокол № 9 від 29.04.2026.

ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МОХІВ *SPHAGNUM* В БІОЕНЕРГЕТИЦІ ТА ВІДНОВЛЕННІ ЕКОСИСТЕМ

Токар В.В., Буткевич Т.А., Глущенко О.М., Полова Ж.М.

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ,
Україна, vall.777@ukr.net

Abstract

Mosses, particularly Sphagnum species, are increasingly recognized as multifunctional biotechnological resources. This review analyzes their role in ecosystem restoration, carbon sequestration, and bioenergy, highlighting microbial fuel cells and thermochemical conversion as sustainable, nature-based solutions.

Keywords: *mosses; Sphagnum; bioenergy; peatland restoration; nature-based solutions*

Вступ. У контексті глобальних кліматичних змін, виснаження викопних енергетичних ресурсів та зростаючого антропогенного навантаження на екосистеми особливої актуальності набуває розвиток природоохоронних біотехнологій, орієнтованих на відновлювані біоресурси. Серед біологічних об'єктів значний науковий інтерес викликають мохи *Sphagnum*.

В 2024 році Європейський Союз ухвалив Регламент (ЄС) 2024/1991 про відновлення деградованих екосистем. Згідно зі статтею 11 Регламенту для осушених торф'яних ґрунтів сільськогосподарського призначення встановлено поетапні цілі відновлення: не менш як 30 % — до 2030 року, 40 % — до 2040 року та 50 % — до 2050 року. З урахуванням євроінтеграційних зобов'язань Україна має забезпечити узгодження кліматичної й екологічної політики з правом ЄС, зокрема шляхом удосконалення правового режиму охорони торф'яних екосистем [1].

Мохи характеризуються простою морфологічною організацією, високою адаптивністю до різних умов середовища. Їх здатність до культивування у стерильних умовах, зокрема у фотобіореакторах, а також поглинання поживних речовин і забрудників усією поверхнею робить мохи перспективними об'єктами для сучасних біотехнологій. Ця властивість широко використовується у біомоніторингу забруднення повітря, води та ґрунтів, а також відкриває перспективи поєднання екологічних і енергетичних функцій у межах єдиної біотехнологічної системи.

За останні десятиліття мохи трансформувалися з малопомітного компонента екосистем в універсальну біотехнологічну платформу, що знаходить застосування у фармації, косметології, біомоніторингу та біоенергетиці.

Мета роботи – аналіз сучасних досліджень, що підтверджують потенціал мохів *Sphagnum* для використання в біоенергетиці та відновленні екосистем.

Матеріали та методи. Сучасні наукові публікації з відкритих міжнародних рецензованих джерел за 2016–2025 р.р. щодо використання мохів у біоенергетиці та природоохоронних біотехнологіях.

Результати та обговорення. За сучасними таксономічними оцінками кількість видів роду *Sphagnum* перевищує 300, однак точне число залишається предметом наукових дискусій у зв'язку з триваючими ревізіями та філогенетичними дослідженнями [2]. Аналіз наукових джерел свідчить, що мохи,

зокрема представники роду *Sphagnum*, мають біотехнологічне значення та відіграють ключову роль у регуляції кліматичних і біогеохімічних процесів: дослідження продемонстрували ефективні методи масового розмноження торф'яних мохів *Sphagnum* для відновлення деградованих торфовищ, нарощування біомаси. Мохи – стабільний фотосинтетичний компонент, що забезпечує безперервну низькопотужну генерацію електроенергії, є перспективними для нішевих, децентралізованих та природоохоронних рішень, за умови використання культивованих мохів і недопущення експлуатації природних торфовищ [3–5].

Баланс утворення і розкладання торфу контролює чистий потік вуглецю між ризосферою та атмосферою. Мохи *Sphagnum*, поглинаючи вуглець, зберігають понад 11% вуглецю у ґрунті, покриваючи лише 3% поверхні Землі. Такі торф'яники можуть містити 500-600 гігатонн вуглецю [6].

Дослідники Центру технологічних інновацій із просторового екологічного захисту земель Китаю підкреслюють значний потенціал мохів у відновленні порушених гірничих ландшафтів: у Китаї ідентифіковано понад 3000 видів бриофітів, окремі види проявляють властивості гіперакумуляторів, здатних накопичувати Cu, Cd, Mn та Hg у високих концентраціях, що робить їх ефективними для рекультивації та біомоніторингу техногенного забруднення. Показовими є результати впровадження мохових інокулятив у вапнякових кар'єрах Гуансі, де покриття мохами зросло з 0,17% до 7,18% протягом 20 днів за умов оптимізованого зволоження та живлення. Завдяки використанню ксерофітних мохів у комбінації з біорозкладним клеєм у глибоких карстових шахтах Хунані досягнуто швидкого озеленення вертикальних поверхонь. Ефективність мохів підтверджено також під час рекультивації рідкоземельних і марганцевих родовищ, де вони сприяли формуванню стійких біологічних ґрунтових кірок (*biocrusts*), що стабілізують субстрат і ініціюють подальшу сукцесію [7].

Геномні дослідження підтвердили високий адаптивний потенціал мохів, де кліматична адаптація є рушійною силою генетичної диференціації між спорідненими видами *Sphagnum*, що свідчить про можливість відбору форм, більш придатних до конкретних кліматичних умов і біотехнологічних завдань. Одним з найбільш екологічно безпечних напрямів є використання мохів у мікробних паливних елементах (Moss-based Microbial Fuel Cells, bryoMFC). Дослідження показали, що живі мохи у поєднанні з природними мікробними консорціумами здатні генерувати електричну енергію без руйнування біомаси. Видові суміші й мікробіом також модифікують температурну відповідь. Змішування видів змінює конкурентні результати вздовж теплового градієнта (наприклад *S. balticum* vs *S. fuscum*), асоційовані мікробні спільноти сприяють аклімації росту *Sphagnum*, впливаючи на забезпечення поживними елементами та стійкістю до стресів [8–12].

Дослідження Bombelli et al. (2016) продемонстрували, що *Physcomitrella patens* у «bryoMFC» генерує до $(2,6 \pm 0,6) \times 10^{-6}$ Вт/м², а природні мохи (*Sphagnum*)— до $(6,7 \pm 0,6) \times 10^{-3}$ Вт/м², що достатньо для живлення радіо чи датчика [13].

У статті факультету технології металів та матеріалів Університету Мерсін (Department of Metallurgical and Materials Engineering, Mersin University, Turkey) досліджено шляхи підвищення ефективності мохових мікробних паливних елементів (moss-based MFC) шляхом використання алюмінієвих та срібних електродів (Al/Ag): оптимізація матеріалу електродів суттєво підвищила електричну потужність системи – до $\approx 0,02$ Вт/м². Отримані результати підтвердили перспективність мохових MFC як екологічно безпечного джерела низькопотужної електроенергії для автономних сенсорів і природоохоронних систем без руйнування біомаси мохів [14].

Міждисциплінарною групою, що працює у сфері біоенергетики та термохімічної переробки біомаси доведено оптимізацію процесу піролізу торф'яного моху (*Sphagnum*) з метою максимізації виходу біоолії. Із застосуванням методів статистичного планування експерименту (central composite design) автори встановили оптимальні технологічні параметри та досягли виходу біоолії до $\sim 10\%$ за температури близько 500 °С. Результати продемонстрували, що торф'яний мох може слугувати перспективною сировиною для рідких біопалив за умови правильно підібраних умов термохімічної конверсії [15].

Гідротермальна карбонізація *Sphagnum* дає змогу отримувати гідрочар з покращеними паливними характеристиками, який за фізико-хімічними властивостями може наближатися до викопного вугілля, але з нижчим екологічним слідом. Було досліджено піроліз торф'яного моху (*Sphagnum*) із використанням термогравіметричного аналізу. Отримані результати підтвердили придатність торф'яного моху як сировини для термохімічної конверсії та виробництва енергетичних продуктів за умови оптимізації температурного режиму [16].

Окремі види мохів досліджували як тверде біопаливо. Наприклад, було досліджено гідротермальну карбонізацію торф'яного моху (*Sphagnum*) у поєднанні з трав'янистою біомасою *Miscanthus* з метою отримання твердого біопалива. Автори встановили, що утворюється гідрочар із покращеними паливними властивостями, придатний як низьковуглецева альтернатива викопному вугіллю, без типових проблем біомаси – надмірної зольності та налипання під час спалювання [17].

У сукупності з даними щодо мікробних паливних елементів та термохімічної переробки мохової біомаси ці результати дають змогу розглядати мохи як джерело енергії та інструмент природоохоронних біотехнологій, що поєднує вуглецеве секвестрування, екологічний моніторинг і відновлювану енергетику.

Висновки. Мохи, зокрема мох *Sphagnum*, становлять перспективну, але недостатньо реалізовану біотехнологічну платформу для розвитку природоохоронної біоенергетики із культивованого *Sphagnum*. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію технологій культивування, підвищення енергетичної ефективності та інтеграцію мохових біоенергетичних систем.

Список використаної літератури:

1. Регламент (ЄС) 2024/1991 Європейського Парламенту та Ради від 24 червня 2024 року про відновлення природи та внесення змін до Регламенту (ЄС) № 2022/869 // Офіційний вісник Європейського Союзу. — 2024. — L 2024/1991. — 29 липня. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj>
2. Michaelis, D. *The Sphagnum Species of the World*. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers, 2019. (Bibliotheca Botanica, Bd. 162.) ISBN 978-3-510-48033-3.
3. Cove D. J., et al. Effect of environmental signals on growth and development in mosses. *Journal of Experimental Botany*. 2022. Vol. 73, No. 13. P. 4514–4533. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac195>.
4. Parsons J., Decker E. L., Reski R. Multiplication of peat moss (*Sphagnum* L.) species for climate action. *Journal of Experimental Botany*. 2025. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac367>.
5. Khalid Z., Singh B. Looking at moss through the bioecoNomy lens: biomonitoring, bioaccumulation, and bioenergy potential. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30, No. 54. P. 114722–114738. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30633-2>.
6. Austin, K. G., Elsen, P. R., Honorio Coronado, E. N., DeGemmis, A., Gallego-Sala, A. V., Harris, L., Kretser, H. E., Melton, J. R., Murdiyarto, D., Sasmito, S. D., Swails, E., Wijaya, A., Winton, R. S., & Zarin, D. Mismatch Between Global Importance of Peatlands and the Extent of Their Protection. *Conservation Letters*. 2025;18(1):e13080. DOI: <https://doi.org/10.1111/conl.13080>
7. Qiao Z., Lin X., Zhang T., et al. A review of research progress on the application of bryophytes in the ecological restoration of mining areas of China. *Frontiers in Environmental Science*. 2025. Vol. 13. 1610193. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1610193>.
8. Breeuwer A. J. G., Heijmans M. M. P. D., Robroek B. J. M., Berendse F. The effect of temperature on growth and competition between *Sphagnum* species. *Oecologia*. 2008. Vol. 156, No. 1. P. 155–167. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-0963-8>.
9. Piatkowski B., Weston D. J., Aguero B., et al. Divergent selection and climate adaptation fuel geNomic differentiation between sister species of *Sphagnum*. *Annals of Botany*. 2023. Vol. 132, No. 3. P. 499–512. <https://doi.org/10.1093/aob/mcad104>.
10. Chiapusio G., Binet P., Bertheau C., Priault P. *Sphagnum* physiological responses to elevated temperature, nitrogen, CO₂ and low moisture: A review. *Aquatic Ecology*. 2022. Vol. 56. P. 429–445. <https://doi.org/10.1007/s10452-021-09924-8>.
11. Oishi Y. Additive positive effect of warming and elevated nitrogen deposition on *Sphagnum* biomass production at mid latitudes. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67614-5>.
12. Martínez Sánchez A., et al. Modelling net CO₂ assimilation of two *Sphagnum* species from temperature and water content response. *Plant, Cell & Environment*. 2025.
13. Bombelli P., Dennis R. J., Felder F., et al. Electrical output of bryophyte microbial fuel cell systems is sufficient to power a radio or an environmental sensor. *Royal Society Open Science*. 2016. Vol. 3, No. 10. 160249. <https://doi.org/10.1098/rsos.160249>.
14. Çek A., İnegöl E., Keleşoğlu F. Enhanced performance of moss-based microbial fuel cells using Al/Ag electrodes. *Molecular Biotechnology*. 2022. Vol. 64, no. 8. P. 810–820.
15. Ooi J., Chua H. S., Rajendran N. R., et al. Optimization of bio-oil production from peat moss by pyrolysis. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. 2023. Vol. 54, No. 9. P. 1097–1106. <https://doi.org/10.1002/mawe.202200308>.
16. Wen Y., Wang S., Mu W., et al. Pyrolysis performance of peat moss: A simultaneous in-situ thermal analysis and bench-scale experimental study. *Fuel*. 2020. Vol. 277. 118173. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118173>.
17. Roy P., Dutta A., Gallant J. Hydrothermal carbonization of peat moss and herbaceous biomass (*Miscanthus*): A potential route for bioenergy. *Energies*. 2018. Vol. 11, No. 10. 2794. <https://doi.org/10.3390/en11102794>.