

# **ВІДГУК**

офіційного опонента

**доктора технічних наук, професора Стабнікова Віктора Петровича**

на дисертацію

**Русин Ірини Богданівни «Біотехнологічні основи отримання  
електрики у рослинно-мікробних біосистемах»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук

за спеціальністю 03.00.20 – біотехнологія

## **1. Актуальність теми дисертації**

Розробка альтернативних екологічно безпечних та енергоефективних біотехнологій отримання електрики є актуальним завданням оскільки сприяє зниженню навантаження на навколишнє середовище, дозволяє знизити рівень її забруднення і є одним із способів боротьби зі зміною клімату та його негативними наслідками. Широке використання рослинно-мікробної біотехнології генерації біоелектрики передбачають також збільшення озеленення, що є суттєвим для біосеквестрації карбону та зменшення викидів парникових газів.

Рослинно-мікробні біосистеми продукують біоелектрику завдяки активності мікроорганізмів прикореневої зони рослин, яку можна зібрати за внесення електродних систем у субстрат їх росту. Проте, дотепер отримання рослинно-мікробної біоелектрики є досліджене недостатньо, і теоретичного максимуму потужності поки що не досягнуто. При створенні біотехнології рослинно-мікробної біоелектрики виникає ряд проблем, а саме: недостатня ефективність, висока вартість матеріалів, сезонні втрати біоелектрики та великі розміри існуючих прототипів біосистем. У зв'язку із вищезазначеним, тема і завдання дисертаційної роботи Русин Ірини Богданівни, яка спрямована на створення біотехнології рослинно-мікробної біоелектрики є актуальною і має практичне значення. Слід зазначити, що дисертація Русин

І.Б. є першою в Україні, яка присвячена проблемі рослинно-мікробної електрики, що надає їй додаткової наукової вагомості та важливості.

## **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, поданих у докторській дисертації та їх достовірність**

Ознайомившись з текстом дисертації Русин І.Б. я прийшов до висновку, що дисертаційна робота є самостійною і завершеною науковою працею, яка є підсумком власних досліджень. Її зміст відповідає спеціальності 03.00.20 – біотехнологія. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, поданих у докторській дисертації є дійсно високим.

Методологічний інструментарій сучасний і використаний належним чином. Правильний вибір схем та методик досліджень, інтерпретація отриманих результатів вказує на те, що дисертант володіє ними досконало і мета, поставлена у роботі, повністю досягнута. Здобувачем проаналізовано та всебічно обговорено результати своїх досліджень в контексті світових результатів щодо предмету дослідження. Експериментальна робота виконана методично правильно, на достатній кількості матеріалу, висновки обґрунтовані та підтверджені значною кількістю проведених досліджень.

## **3. Загальна характеристика дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота складається з 9-ти розділів: вступу, огляду літератури, методики досліджень та опису умов експериментів і 7-ми розділів результатів власних досліджень. Дослідження включають обширну кількість експериментів, проведених дисертантом як в лабораторії, на дахах будівель, так і в польових умовах: в лісових і лучних екосистемах, агроекосистемах, в парках і лісопарках та зелених смугах вздовж автотрас міста. Русин І.Б. належить ідея цього дослідження, робочі гіпотези та планування експериментів, а також аналіз отриманих результатів, їх обґрунтування та формування висновків. Дисертація ілюстрована 18-ма таблицями та 118-ма рисунками з основними результатами власних експериментів. Дисертаційна

робота викладена на 491 сторінках друкованого тексту. Звертає на себе увагу і список використаних літературних джерел, як за своєю кількістю - більше 500 наукових робіт, так і за якістю опрацьованих джерел, переважна більшість з них - це сучасні англійські наукові статті у іноземних наукових журналах та книгах.

Зміст та структура роботи у повній мірі відповідають завданням, а викладення основних результатів в процесі вирішення поставленої наукової проблеми – сформульованим окремим задачам дослідження, які відповідають паспорту спеціальності 03.00.20 – біотехнологія. Текст дисертації викладений в логічній послідовності, чітко, грамотно, усі структурні частини роботи є пов'язаними між собою. Рівень наукового дослідження є високим. Всі розділи містять логічні, обґрунтовані та аргументовані висновки.

#### **4. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі**

Дисертант вперше запропонувала нові біотехнологічні рішення задля отримання рослинно-мікробної біоелектрики та провела оцінку перспектив природних екосистем лісів та луків, агроекосистем, урбоекосистем і техногенно забруднених територій як джерел біоелектрики.

Вперше розроблені біосистеми на основі рослин *Alisma plantago-aquatica*, *Festuca arundinacea*, *Caltha palustris*, *Carex hirta*, *Hypnum cupressiforme*, *Polytrichum commune*, *Leucobryum glaucum*, *Ocimum basilicum* та *Helcine soleirolii* для генерації біоелектрики в енергоефективних будинках та зелених дахах.

Вперше показано вплив бактерій *Desulfovibrio* sp. Та анелід *Lumbricusterrestris* як біологічних енансерів генерації біоелектрики біосистем з рослинами *A. plantago-aquatica* та *C. palustris*, які підвищували біоелектричні показники біосистеми до 32.83% та 14.32%, відповідно.

Вперше розроблено біотехнології на основі морозостійких рослин: мохах та осоці із стабільними біоелектричними параметрами після зимового періоду для використання на зелених дахах.

Вперше розроблений біоелектричний модуль на основі нової, економічно вигідної пари електродів: графітових катодів (відходів електротранспорту) та перфорованих оцинкованих сталевих анодів для отримання біоелектрики у поверхневих та глибинних шарах ґрунту.

Вперше показано сукупний вплив на біоелектричні параметри зміни міжелектродної відстані і паралельно-послідовного з'єднання 2–3-х компактних багатоелектродних рослинно-мікробних біомодулів для досягнення автономного енергоживлення світлодіодів, цифрової кімнатної метеостанції, цифрового термометра/гігрометра (в режимі реального часу).

Вперше показано потенціал природних екосистем лісів, заболочених луків, агроекосистем, урбоекосистем паркових зон та газонів вздовж автомагістралей за кліматичних умов заходу України як джерела поновлюваної біоелектрики. Виявлено резистентність продуктивності біоелектрики біосистемами зелених смуг вздовж автотрас до забруднення важкими металами.

Наукова новизна підтверджується трьома патентами України на корисну модель.

## **5. Практичне значення результатів, отриманих в дисертаційній роботі**

Практична цінність результатів дисертації полягає в тому, що вперше показана можливість зменшення розмірів та кількості модулів рослинно-мікробних біосистем при збереженні виходу біоелектрики. Завдяки цьому розроблена біотехнологія, на відміну від громіздких прототипів, може практично застосовуватися і енергоживити світлодіодне (LED) освітлення, автономні датчики вологості та температури для моніторингу стану екосистем як в енергоефективних будинках, так і в польових умовах. Цьому

сприяло і здешевлення біотехнології, досягнуте завдяки застосуванню графітових відходів електротранспорту, насіння/розсади широко розповсюджених рослин, та універсального ґрунтового субстрату у складі біосистем.

Практичне значення дисертації підтверджують результати, отримані з дво- і три-модульними багатоелектродними біосистемами з рослинами *Ocimum basilicum* і *Helsinia soleirolii*, які були автономним та екологічно чистим джерелом живлення для кімнатної метеостанції, цифрового годинника, цифрового термометра/гігрометра та світлодіодів в режимі реального часу, замінюючи батарейки 1.5 В та 3.0 В. Використання рослинно-мікробних біосистем замість батарейок для енергоживлення приладів дозволяє суттєво знизити витрати ресурсів на виробництво батарейок та нівелювати проблему їх утилізації.

Такі біосистеми в землях сільськогосподарського призначення можуть служити єдиним джерелом енергії для автономних датчиків вологості ґрунту, інноваційних систем моніторингу за складом ґрунту і ростом рослин. А в містах, рослинно-мікробна біоелектрика може забезпечувати LED освітлення паркових територій та дитячих майданчиків, енергоживити придорожнє освітлення.

Практичне значення результатів засвідчене актами впровадження розроблених біотехнологій при озелененні енергоефективних будинків ТзОВ «ГАЛИЦЬКА БУДІВЕЛЬНА ГІЛЬДІЯ» і ПП «Укртексколор» у м. Львові.

Розроблені біотехнології впроваджуються і в інших країнах, світове значення отриманих в дисертації результатів відображене у застосуванні їх в наукових проектах американських університету та наукових інститутів, зокрема, Кларксон Університету (Потсдам, Нью Йорк, США), Національного технологічного інституту в Мехіко та Технологічного Інституту в Ель-Льяно (Мексика) та європейських інститутів: Інституту Агрофізики Польської

Академії Наук та Інституту макромолекулярної хімії Академії Наук Чеської Республіки.

## **6. Повнота викладу наукових результатів в наукових публікаціях за темою докторської дисертації**

Основні положення та результати дисертаційного дослідження знайшли своє відображення у 65-ти наукових працях, з яких один розділ монографії та 27 наукових статей: 10 статей у виданнях, включених до наукометричних баз Scopus та Web of Science, 15 статей у інших наукових фахових виданнях України та 2 статті в науково-періодичних виданнях України. А також 33 публікації тез доповідей у матеріалах наукових з'їздів, міжнародних і вітчизняних конференцій та конгресів.

7 статей опубліковані закордоном у престижних виданнях інших держав Європи: Нідерландів, Великобританії, Польщі, Литви, Угорщини, а також США та Ірану. Слід відмітити наявність двох статей, що належать до квартилю Q1 та однієї статті квартилю Q2 відповідно до класифікації SCImago Journal. Здобувачем опубліковано одну одноавторну статтю у журналі з високим Impactfactor 14.982, H-Index 295 та SJR 3.52 журналу. Дана публікація свідчить про високий науковий рівень роботи здобувача. Хотілося б відзначити, що така якість і кількість наукових публікацій є вагомим науковим доробком. Також, можна з упевненістю констатувати, що зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації як на вітчизняному, так і на міжнародному рівні.

*У дисертації та інших публікаціях Русин І.Б. не виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації та інших порушень академічної доброчесності.*

## **7. Зауваження до дисертаційної роботи**

Не зважаючи на загальну позитивну оцінку дисертації слід зазначити наступні зауваження:

1. Пояснення причин впливу короткотривалого зниження вологості ґрунту на зниження біоелектричних параметрів біосистем, наведене в дисертації в підрозділі 4.1 є недостатньо вичерпним. Це питання варто було б описати і пояснити більш детально.

2. Аналогічне зауваження щодо проблеми зниження біоелектрики у переувільнених ґрунтах, розглянуте в підрозділі 4.2. Вважаю, варто приділити більше уваги обговоренню можливих причин цього ефекту.

3. Рисунок 4.3.5, що ілюструє сумарний вплив важких металів I-III-ого класу небезпеки на генерацію біоелектрики техногенно забруднених фітомікробіоценозів вздовж автотрас, хоч і є досить цікавим, проте я вважаю, що ці дані було б інформативніше подати у вигляді таблиці.

4. Вступ перед розділами 5 - 7 з літературним оглядом основних проблем біосистем рослинно-мікробної біоелектрики, хоч і прояснює мету досліджень, проте є надто обширним і його можна було б сформулювати більш лаконічно.

5. Висновки після розділів 3-9 варто було б пронумерувати.

6. У середині основного тексту дисертації зустрічаються синоніми: біосистеми генерації електрики, електро-біосистеми, мікробно-паливний елемент, біоелектричні системи, електробіотехнологічні системи, я вважаю, що доцільно вживати один термін. Аналогічні синоніми: багатоелектродні і мультиелектродні системи.

7. Рисунок 8.1.1 «Генерація сили струму біосистемами 6-ти різних конфігурацій з мохами на протязі вересня – червня» досить перевантажений графічними лініями, що демонструють струм 6-ти біосистем, а також кількість опадів та температуру, що ускладнює сприйняття. Вважаю, даний рисунок слід було організувати більш оптимально.

8. Аналогічне зауваження щодо рисунку 8.1.2.«Динаміка генерації напруги біосистем 6-ти різних конфігурацій з мохами із вересня до червня в залежності від кількості опадів та температури».

Тим не менше, варто наголосити на тому, що викладені вище зауваження мають суб'єктивний характер та не впливають на загальний позитивний висновок щодо дисертації в цілому.

## **8. Відповідність докторської дисертації встановленим вимогам і загальні висновки**

На підставі всебічного аналізу можна стверджувати, що рецензована робота вирішує конкретне науково-практичне завдання, містить достовірні та актуальні обґрунтовані наукові положення, які раніше не виносилися на захист, є особистим напрацюванням автора, повною мірою викладеним в наукових публікаціях, таким, що має наукову та практичну цінність, і, відсутній плагіат чи фальсифікації.

Таким чином, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Русин Ірини Богданівни на тему «Біотехнологічні основи отримання електрики у рослинно-мікробних біосистемах», повністю відповідає вимогам паспорту спеціальності 03.00.20 – біотехнологіята вимогам, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук, пп. 7 та 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою КМУ №1197 від 17.11.2021 р., а його авторка Русин Ірина Богданівна заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора біологічних наук за спеціальністю 03.00.20 – біотехнологія.

### **Офіційний опонент**

доктор технічних наук,

професор,

завідувач кафедри

біотехнології і мікробіології

Національного університету

харчових технологій

**Віктор СТАБНІКОВ**

*Підпис проф.  
Завідуючю.*

*Перший прор.*



*Віктор Стабніков В. П.  
[Handwritten signature]*