

Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii  
Uniwersytetu Opolskiego  
ul. Kardynała Bolesława Kominka 6a,  
46-020 Opole  
(nazwa i dane adresowe podmiotu habilitującego,  
wybranego do przeprowadzenia postępowania)  
za pośrednictwem:  
**Rady Doskonałości Naukowej**  
pl. Defilad 1  
00-901 Warszawa  
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Vira Hovorukha  
(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii Uniwersytetu Opolskiego  
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

## Wniosek

z dnia 21 października 2024 r.

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Osiągnięciem naukowym, który przedkładam jako rozprawę habilitacyjną jest cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy pt:  
**„ZASTOSOWANIE METOD MIKROBIOLOGICZNYCH DO UTYLIZACJI  
ODPADÓW ORGANICZNYCH Z RÓWNOCZESNĄ PRODUKCJĄ WODORU  
I UNIECZYNNIANIEM AKTYWNYCH FORM METALI CIĘŻKICH”**

Wniosuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu ~~tajnym~~/jawnym.

*Zostałam poinformowana, że:*

*Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).*

*Kontakt za pośrednictwem e-mail: [kancelaria@rdn.gov.pl](mailto:kancelaria@rdn.gov.pl), tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.*

*Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie [www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rod.html](http://www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rod.html)*



PODPIS ZAUFANY

VIRA  
HOVORUKHA  
26.10.2024 16:45:50 [GMT+2]  
Dokument podpisany elektronicznie  
podpisem zaufanym

.....  
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

Załącznik 1. Dane wnioskodawcy

Załącznik 2. Odpis dyplomu nadania stopnia doktora

Załącznik 3. Autoreferat

Załącznik 4. Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny

Załącznik 5. Cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Załącznik 6. Oświadczenia współautorów o indywidualnym wkładzie w powstanie publikacji wskazanych jako osiągnięcie naukowe

Załącznik 7. Potwierdzenia odbycia staży naukowych

Załącznik 8. Potwierdzenia otrzymania nagród oraz uczestnictwa w warsztatach

## **Załącznik 3**

# **Autoreferat**

do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

**dr Vira Hovorukha**

Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii

Wydział Przyrodniczo-Techniczny

Uniwersytet Opolski

ul. Kardynała Bolesława Kominka 6a,

46-020 Opole

Opole 2024

## SPIS TREŚCI

<b>1. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe:</b> .....	3
<b>2. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych</b> .....	3
<b>3. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)</b> .....	4
3.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.....	4
3.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego z uwzględnieniem wkładu naukowego wnioskodawcy .....	4
3.3. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników, opisanych w cyklu publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.....	7
<b>4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych</b> .....	32
<b>5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej</b> .....	39
5.1. Granty badawcze .....	39
5.2. Wystąpienia na konferencjach .....	41
5.3. Recenzje artykułów naukowych .....	44
5.4. Staże naukowe.....	44
5.5. Nagrody i wyróżnienia.....	45
<b>6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.</b> .....	45
<b>7. Inne informacje – wskaźniki bibliometryczne</b> .....	46

## 1. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe:

- 2016**      **Doktor nauk biologicznych**, specjalność: mikrobiologia.  
Instytut Mikrobiologii i Wirusologii im. D.K. Zabołotnego  
Narodowej Akademii Nauk Ukrainy, Kijów, Ukraina.  
Tytuł rozprawy doktorskiej: „Rola mikroorganizmów redukujących  
żelazo w cyklach biogeochemicznych węgla i żelaza”.  
Dyplom nr 038543 z dnia 29 września 2016 r.  
  
Dyplom został uznany za równoważny z polskim stopniem doktora  
nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki biologiczne na  
podstawie uchwały nr 3/N/2023 Komisji Uniwersytetu Łódzkiego  
do spraw stopni naukowych w dyscyplinie nauki biologiczne,  
podjętej na 25. posiedzeniu w kadencji 2020-2024 z dnia 21 lutego  
2023 r. (Zaświadczenie nr 5/2022).
- 2013**      **Magister**, specjalność: mikrobiologia.  
Centrum edukacyjno-naukowe „Instytut Biologii”, Kijowski  
Uniwersytet Narodowy im. Tarasa Szewczenki, Kijów, Ukraina.  
Tytuł pracy magisterskiej: „Rozpowszechnianie bakterii  
redukujących żelazo w ekosystemach naturalnych”. Dyplom z  
wyróżnieniem.  
Dyplom nr 45753568 z dnia 27 czerwca 2013 r.

## 2. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

- 2022-obecnie**      **Adiunkt**, Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii,  
Uniwersytet Opolski, Opole.
- 2021-2022**      **Starszy pracownik naukowy**, Dział Biologii Mikroorganizmów  
Ekstremofilnych, Instytut Mikrobiologii i Wirusologii im. D.K.  
Zabołotnego Narodowej Akademii Nauk Ukrainy, Kijów, Ukraina.
- 2020-2021**      **Docent**, Katedra Biotechnologii, Wydział Bezpieczeństwa  
Środowiskowego, Inżynierii i Technologii, Narodowy Uniwersytet  
Lotniczy, Kijów, Ukraina.
- 2017-2021**      **Pracownik naukowy**, Instytut Mikrobiologii i Wirusologii im.  
Zabołotnego Narodowej Akademii Nauk Ukrainy, Kijów, Ukraina.

- 2016-2017**    **Młodszy pracownik naukowy**, Instytut Mikrobiologii i Wirusologii im. Zabołotnego Narodowej Akademii Nauk Ukrainy, Kijów, Ukraina.
- 2011-2016**    **Inżynier I kategorii**, Instytut Mikrobiologii i Wirusologii im. Zabołotnego Narodowej Akademii Nauk Ukrainy, Kijów, Ukraina.

### 3. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

#### 3.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym, które przedkładam jako rozprawę habilitacyjną jest cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy zatytułowany:

**ZASTOSOWANIE METOD MIKROBIOLOGICZNYCH DO UTYLIZACJI  
ODPADÓW ORGANICZNYCH Z RÓWNOCZESNĄ PRODUKCJĄ WODORU  
I UNIECZYNNIANIEM AKTYWNYCH FORM METALI CIĘŻKICH**

#### 3.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego z uwzględnieniem wkładu naukowego wnioskodawcy

L.p.	Wyszczególnienie	Wskaźniki naukometryczne
1	<b>Hovorukha V.:</b> <i>The effect of fermentation modes on the efficiency of organic waste treatment in batch bioreactors</i> , Archives of Environmental Protection, 2024, <b>50(1)</b> , 80-86. <a href="https://doi.org/10.24425/aep.2024.149434">https://doi.org/10.24425/aep.2024.149434</a> .	IF 2022* = <b>1,5</b> Pkt. MNiSW** <b>100</b>
	<i>Artykuł napisany przez jednego autora, który przeprowadził badania, przeanalizował wyniki i literaturę, napisał i zredagował artykuł.</i>	
2	Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b> , Gladka G., Tymoshenko A.; Kyrylov S.; Shabliy O., Bida I., Mariychuk R., Tashyrev O.: <i>A noxious weed <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. (ragweed) as sustainable feedstock for methane production and metals immobilization</i> , Sustainability, 2023, <b>15</b> , 6696. <a href="https://doi.org/10.3390/su15086696">https://doi.org/10.3390/su15086696</a> .	IF 2022 = <b>3,9</b> Pkt. MNiSW <b>100</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Udział w analizie literatury, prowadzeniu badań dynamiki fermentacji biomasy roślinnej, analizie wyników badań, sformułowaniu treści pracy,</i>	

	<i>przygotowaniu tekstu do publikacji.</i>	
3	Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b> , Bida I., Gładka G., Tymoshenko A., Kyrylov S., Mariychuk R., Tashyrev, O.: <i>Anaerobic degradation of the invasive weed <i>Solidago canadensis</i> L. (goldenrod) and copper immobilization by a community of sulfate-reducing and methane-producing bacteria</i> , <i>Plants</i> , 2023, <b>12</b> , 198. <a href="https://doi.org/10.3390/plants12010198">https://doi.org/10.3390/plants12010198</a> .	IF 2022 = <b>4,5</b> Pkt. MNiSW <b>70</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Udział w projektowaniu eksperymentu, analizie wyników badań, obliczanie wydajności fermentacji substratu, wykreślanie dynamiki parametrów fermentacji, udział w przygotowaniu materiałów do publikacji.</i>	
4	<b>Hovorukha V.</b> , Havryliuk O., Gładka G., Kalinichenko A., Sporek M., Stebila J., Mavrodi D., Mariychuk R., Tashyrev O.: <i>Detoxification of copper and chromium via dark hydrogen fermentation of potato waste by <i>Clostridium butyricum</i> strain 92</i> , <i>Processes</i> , 2022, <b>10</b> , 170. <a href="https://doi.org/10.3390/pr10010170">https://doi.org/10.3390/pr10010170</a> .	IF 2022 = <b>3,5</b> Pkt. MNiSW <b>70</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Udział w stworzeniu koncepcji pracy, projektowaniu i prowadzeniu eksperymentu, w badaniach dynamiki oddziaływania <i>Clostridium butyricum</i> szczep 92 ze związkami miedzi i chromu, analizie wyników badań oraz napisaniu manuskryptu.</i>	
5	Tashyrev O., <b>Hovorukha V.</b> , Havryliuk O., Sioma I., Gładka G., Kalinichenko O., Włodarczyk P., Suszanowicz D., Zhuk H., Ivanov Y.: <i>Spatial succession for degradation of solid multicomponent food waste and purification of toxic leachate with the obtaining of biohydrogen and biomethane</i> , <i>Energies</i> , 2022, <b>15</b> , 911. <a href="https://doi.org/10.3390/en15030911">https://doi.org/10.3390/en15030911</a> .	IF 2022 = <b>3,2</b> Pkt. MNiSW <b>140</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Udział w stworzeniu koncepcji pracy, analizie literatury, projektowaniu i prowadzeniu eksperymentu, badanie dynamiki fermentacji wodorowej odpadów organicznych i efektywności procesu, udział w analizie wyników badań oraz napisaniu i edycji manuskryptu.</i>	
6	Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b> , Bida I., Danko Y., Gładka G., Zakutevsky O., Mariychuk R., Tashyrev O.: <i>Bioremediation of copper- and chromium- contaminated soils using <i>Agrostis capillaris</i> L., <i>Festuca pratensis</i> Huds., and <i>Poa pratensis</i> L. mixture of lawn grasses</i> , <i>Land</i> , 2022, <b>11</b> , 623. <a href="https://doi.org/10.3390/land11050623">https://doi.org/10.3390/land11050623</a> .	IF 2022 = <b>3,9</b> Pkt. MNiSW <b>70</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Udział w projektowaniu i zarządzaniu eksperymentem, analizie materiałów i literatury, skuteczności akumulacji metali toksycznych w trawie, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu publikacji do druku.</i>	
7	Havryliuk O.A., <b>Hovorukha V.M.</b> , Sachko A.V., Gładka G.V., Bida I.O., Tashyrev O.B.: <i>Bioremoval of hazardous cobalt, nickel, chromium, copper and cadmium compounds from contaminated soil by <i>Nicotiana tabacum</i> plants and associated microbiome</i> , <i>Biosyst. Divers.</i> , 2021, <b>29(2)</b> , 88–93. <a href="https://doi.org/10.15421/012112">https://doi.org/10.15421/012112</a> .	IF 2021 = <b>0</b> Pkt. MNiSW <b>20</b>

	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, udział w badaniach skuteczności akumulacji metali w roślinach oraz oporności mikroorganizmów glebowych na metale, analizie wyników, edytowaniu manuskryptu.</i>	
8	Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b> , Savitsky O., Trilis V., Kalinichenko A., Dołhańczuk-Śródka A., Janecki D., Tashyrev O.: <i>Anaerobic degradation of environmentally hazardous aquatic plant Pistia stratiotes and soluble Cu(II) detoxification by methanogenic granular microbial preparation</i> , Energies, 2021, <b>14 (13)</b> , 3849. <a href="https://doi.org/10.3390/en14133849">https://doi.org/10.3390/en14133849</a> .	IF 2021 = <b>3,252</b> Pkt. MNiSW <b>140</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, udział w projektowaniu i prowadzeniu eksperymentu, analizie wyników, badaniu wydajności fermentacji Pistia stratiotes, sformułowaniu wniosków, napisaniu, edytowaniu i przygotowaniu publikacji do druku.</i>	
9	<b>Hovorukha V.</b> , Havryliuk O., Gładka G., Tashyrev O., Kalinichenko A., Sporek M., Dołhańczuk-Śródka A.: <i>Hydrogen dark fermentation for degradation of solid and liquid food waste</i> , Energies, 2021, <b>14(7)</b> , 1831. <a href="https://doi.org/10.3390/en14071831">https://doi.org/10.3390/en14071831</a> .	IF = <b>3,252</b> Pkt. MNiSW <b>140</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, prowadzenie badań, przygotowanie granulowanego preparatu mikrobiologicznego, badanie dynamiki fermentacji płynnych odpadów spożywczych, udział w analizie wyników efektywności fermentacji stałych odpadów spożywczych, sformułowanie wniosków, analiza literatury, napisanie i edytowanie manuskryptu.</i>	
10	<b>Hovorukha V.</b> , Tashyrev O., Havryliuk O., Iastremska L. <i>High efficiency of food waste fermentation and biohydrogen production in experimental-industrial anaerobic batch reactor</i> , The Open Agriculture Journal, 2020, 14, 174-186. DOI: <a href="https://doi.org/10.2174/1874331502014010174">10.2174/1874331502014010174</a> .	IF = <b>brak</b> Pkt. MNiSW <b>40</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, udział w projektowaniu i prowadzeniu eksperymentu, analizie wyników, obliczanie efektywności fermentacji substratu, sformułowanie wniosków, analiza literatury, napisanie oraz edytowanie manuskryptu.</i>	

\* Impact Factor (IF) przyznany za rok publikacji albo najnowszy spośród dostępnych w chwili pisania

\*\*Wartość punktacji wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (pkt. MNiSW). Punkty przyznane za rok publikacji

Sumaryczny IF według bazy *Journal Citation Reports* (JCR) powyższych prac wynosi: **27,004**. Sumaryczna liczba punktów MEiN wynosi: **890**. Publikacje zamieszczono w załączniku nr 5. Oświadczenia współautorów podano w załączniku nr 6.



### 3.3. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników, opisanych w cyklu publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

#### *Wprowadzenie*

Roczna produkcja milionów ton odpadów organicznych na całym świecie stwarza zagrożenie dla środowiska. Należą do nich głównie odpady spożywcze (warzywa, owoce, mięso, nabiał, pieczywo), odpady z przemysłu spożywczego i odpady rolnicze [1, 2, 3, 4]. Powoduje to wzrost liczby i objętości składowisk śmieci, zatrucie środowiska toksycznymi produktami rozkładu (kwasy organiczne i alkohole, siarkowodór, merkaptany, amoniak itp.) oraz rozprzestrzenianie się mikroorganizmów chorobotwórczych [3, 5]. Obecnie stosuje się wiele metod fizycznych, chemicznych i biologicznych unieszkodliwiania odpadów organicznych. Jednak rosnący poziom zanieczyszczenia środowiska wskazuje na ich małą efektywność [4].

Obiecującą alternatywą dla skutecznej i bezpiecznej dla środowiska utylizacji płynnych i stałych odpadów organicznych jest zastosowanie metod mikrobiologicznych. Obecnie jedną z najbardziej obiecujących metod jest fermentacja odpadów przez społeczności mikroorganizmów z wytworzeniem cennych produktów, takich jak wodór, metan itp. [6, 7, 8, 9]. W ostatnim czasie wodór molekularny jest coraz częściej wykorzystywany w przemyśle [9, 10, 11]. Departament Energii Stanów Zjednoczonych (US Department of Energy), Międzynarodowe Partnerstwo na rzecz Gospodarki Wodorowej (International Partnership for Hydrogen Economy) oraz Europejskie Stowarzyszenie Wodorowe (European Hydrogen Association) zaproponowały zastąpienie koncepcji gospodarki opartej na wykorzystaniu paliw kopalnych bezpiecznym dla środowiska i wydajnym rozwiązaniem wodorowym. Przewiduje się, że do roku 2100 głównym źródłem energii może stać się wodór molekularny [10].

Pozyskiwanie wodoru w drodze fermentacji niebezpiecznych dla środowiska odpadów spożywczych pozwala nie tylko chronić środowisko, ale także rozwijać alternatywne źródła energii. Rozwój opłacalnych biotechnologii przemysłowych do produkcji wodoru molekularnego wymaga optymalizacji procesu fermentacji odpadów organicznych. W tym celu niezbędne jest szczegółowe badanie procesu i wzorców fermentacji wodorowej odpadów, określenie kluczowych parametrów technologicznych wpływających na proces oraz ich optymalizacja [12, 13, 14].

Wraz z odpadami organicznymi, metale ciężkie stanowią ogromne zagrożenie dla środowiska. W małych stężeniach są naturalnymi składnikami środowiska, a wiele z nich jest

niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmów. Nieracjonalne i niezrównoważone wykorzystanie metali prowadzi do zanieczyszczenia ekosystemów wodnych i glebowych na dużą skalę, co wymaga natychmiastowego rozwiązania. Metale gromadzą się w ekosystemach w dużych stężeniach i zatruwają je przez długi czas, ponieważ nie mogą zostać rozłożone, podobnie jak niektóre związki organiczne, na nietoksyczne składniki. Wraz ze wzrostem poziomu zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi, regulacje dotyczące dopuszczalnych stężeń stają się coraz bardziej rygorystyczne [15]. Wymaga to opracowania nowych, bardziej wydajnych i opłacalnych metod ich unieczynniania [16].

Obiecującym kierunkiem jest zastosowanie procesów mikrobiologicznych do detoksykacji metali. Różnorodność szlaków metabolicznych i wysoka aktywność biologiczna mikroorganizmów jest podstawą do tworzenia nowych skutecznych biotechnologii [17, 18]. Jednak pomimo dostępności danych eksperymentalnych na temat efektywności mikrobiologicznej immobilizacji metali, w dalszym ciągu brakuje technologii, które można zastosować w przemyśle. Wynika to z braku podstaw teoretycznych do określenia optymalnych sposobów oddziaływania mikroorganizmów z metalami, a także szczegółowego badania dynamiki procesu immobilizacji metali przez mikroorganizmy.

**Głównym celem badań było uzasadnienie teoretyczne oparte na obliczeniach termodynamicznych efektywnych sposobów fermentacji mikrobiologicznej odpadów organicznych i detoksykacji metali ciężkich, a także eksperymentalne potwierdzenie i optymalizacja tych procesów z otrzymaniem cennych produktów: nośników energii (wodór, metan, paliwo stałe), bionawóz, czysta woda i koncentrat metali.**

**Jego realizacja wymagała:**

- na podstawie obliczeń termodynamicznych dokonanie oceny sposobów fermentacji odpadów organicznych, oddziaływania mikroorganizmów z metalami ciężkimi i uzasadnienie wyboru optymalnych sposobów ich unieczynniania;
- badanie wzorców fermentacji odpadów organicznych, określenie i optymalizacja głównych parametrów technologicznych, skalowanie procesu;
- opracowanie modelowego systemu fermentacji stałych odpadów spożywczych oraz oczyszczania wody zanieczyszczonej związkami organicznymi i biomasą mikroorganizmów w oparciu o sukcesję przestrzenną mikrobiomu;
- badania nad sposobami detoksykacji metali ciężkich i opracowanie podejścia do biotechnologii łączonego oczyszczania, które zapewniają fermentację odpadów

organicznych, unieczynnianie metali ciężkich i otrzymanie końcowych wartościowych produktów (nośniki energii – H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, paliwo stałe, bionawóz, czysta woda i koncentrat metali).

**Podczas badań założono, że:**

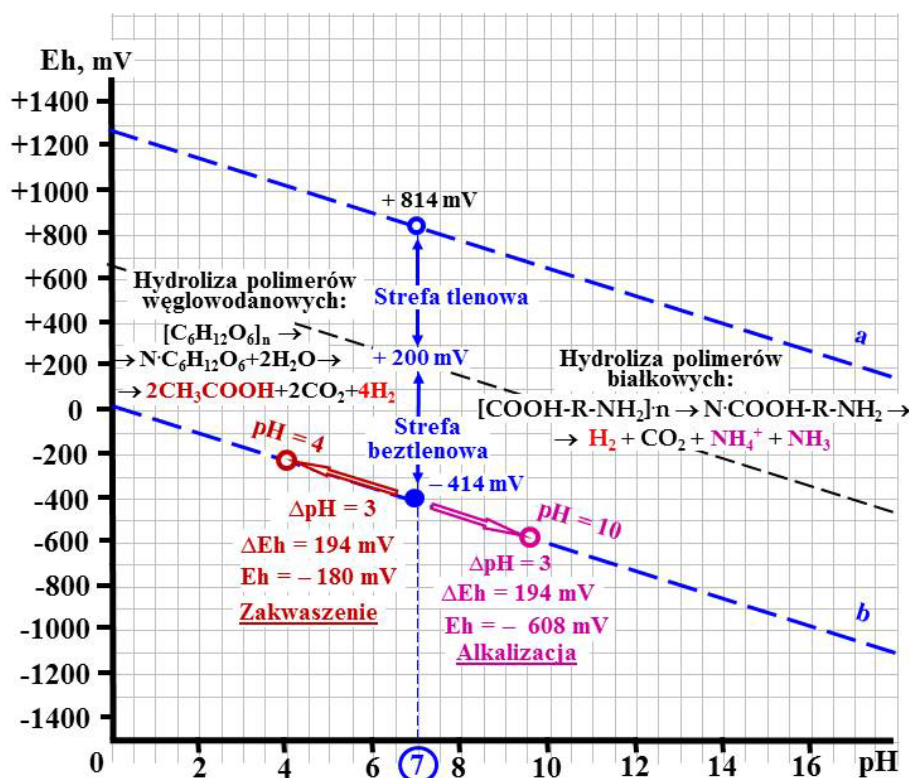
- obliczenia termodynamiczne umożliwiają określenie optymalnych warunków i sposobów fermentacji odpadów organicznych oraz detoksykacji metali ciężkich;
- analiza mikroorganizmów biorących udział w fermentacji i skalowanie przebiegu zachodzących procesów pozwoli na optymalizację fermentacji wodorowej wieloskładnikowych odpadów spożywczych;
- założono możliwość opracowania technologii zapewniających jednoczesną neutralizację szerokiej gamy substancji zanieczyszczających (odpady organiczne, metale ciężkie) wraz z uzyskaniem wartościowych produktów.

**Prognozowanie oddziaływania mikroorganizmów ze związkami toksycznymi, w szczególności niebezpiecznymi dla środowiska odpadami organicznymi stałymi i ciekłymi, metalami itp., pozwala obliczyć i przewidzieć optymalne sposoby ich unieszkodliwiania. Według obliczeń termodynamicznych obiecujący jest rozwój uniwersalnej technologii umożliwiającej jednoczesną fermentację wieloskładnikowych odpadów organicznych, oczyszczanie toksycznych odcieków i usuwanie metali ciężkich z uzyskaniem wartościowych produktów: wodoru, metanu, paliwa stałego, bionawozu, koncentratu metali i czystej wody. Regulacja metabolizmu mikroorganizmów w oparciu o termodynamikę procesu i przewidywanie interakcji mikroorganizmów z określonymi substancjami toksycznymi pozwala na rozwój nowoczesnych, opłacalnych komercyjnie, skutecznych biotechnologii ochrony środowiska i pozyskiwania energii. Zbadano wzorce fermentacji odpadów organicznych zarówno przez społeczności mikroorganizmów, jak i czyste kultury. Badano sposoby interakcji mikroorganizmów z reprezentatywnymi metalami ciężkimi Cr(VI), Cu(II) itp. Na podstawie obliczeń termodynamicznych i danych eksperymentalnych wykazano, że rozwój złożonych biotechnologii ochrony środowiska i energii jest obiecującym podejściem do jednoczesnego rozwiązywania strategicznych problemów oczyszczania środowiska i rozwoju alternatywnych źródeł energii z pozyskiwaniem wartościowych produktów.**

### *Predykcja termodynamiczna dla optymalizacji fermentacji odpadów organicznych w celu uzyskania wodoru i innych wartościowych produktów*

Utrzymanie optymalnych warunków rozwoju mikroorganizmów jest niezbędne dla zapewnienia wysokiego uzysku wodoru i skutecznej fermentacji odpadów. Wskaźniki pH i potencjału redoks (Eh) oraz pożywki są kluczowymi czynnikami wpływającymi na rozwój mikroorganizmów [6, 19].

Wodór cząsteczkowy syntetyzuje się podczas redukcji dwóch protonów przez hydrogenazy mikrobiologiczne:  $2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2$ . Standardowy potencjał redoks tej reakcji według równań Pourbe'a wynosi  $E_o' = -414 \text{ mV}$  (rys. 1) [20, 21, 22]. Hydrogenazy działają najaktywniej przy wartościach pH bliskich obojętnemu ( $\text{pH} = 6,0\text{-}7,0$ ) i Eh w granicach  $-400\text{...}-250 \text{ mV}$ . W takich warunkach uzysk wodoru jest największy.



**Rys. 1.** Zależność efektywności syntezy wodoru od wartości pH i potencjału redoks (Eh): a (górna) i b (dolna) – granice stabilności wody; a:  $2\text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}$ ,  $E_h = 1,228 - 0,0591 \cdot \text{pH} - 0,0295 \cdot \lg \text{PH}_2$ ; b:  $2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2$ ,  $E_h = 0,000 - 0,0591 \cdot \text{pH} - 0,0591 \cdot \lg \text{PH}_2$ .

Według obliczeń termodynamicznych spadek wartości wskaźnika pH prowadzi do wzrostu Eh. Zatem przy pH = 7,0 potencjał redoks wynosi -414 mV, a przy pH = 3,0 wzrasta do -180 mV. Taki wzrost potencjału redoks prowadzi do zmniejszenia uzysku wodoru cząsteczkowego. W efekcie następuje silne zakwaszenie środowiska na skutek gromadzenia się produktów fermentacji (kwasów organicznych). Ze względu na akumulację produktów metabolizmu mikroorganizmów w pożywce hodowlanej, wzrost mikroorganizmów jest hamowany przez mechanizm sprzężenia zwrotnego [23]. Zatem, aby osiągnąć wysoką efektywność syntezy wodoru i niszczenia wieloskładnikowych odpadów spożywczych, jednym z kluczowych czynników jest utrzymanie optymalnych wartości wskaźników pH i Eh. W takich warunkach zapewniony jest najaktywniejszy rozwój mikroorganizmów, fermentacja odpadów i synteza H<sub>2</sub> [No1, No10].

Aby zapewnić utrzymanie stałych optymalnych wartości pH i Eh pożywki hodowlanej, konieczne jest opracowanie optymalnego trybu fermentacji odpadów. Kluczowe parametry technologiczne wymagające optymalizacji są następujące: prędkość mieszania cieczy hodowlanej w fermentorze; sposób przenoszenia masy mieszaniny fermentacyjnej, tj. stosunek czasu trwania mieszania i przerwy; stosunek fazy stałej (odpady) do fazy ciekłej (woda); skład mieszaniny odpadów itp. [No1, No10].

#### **Wnioski:**

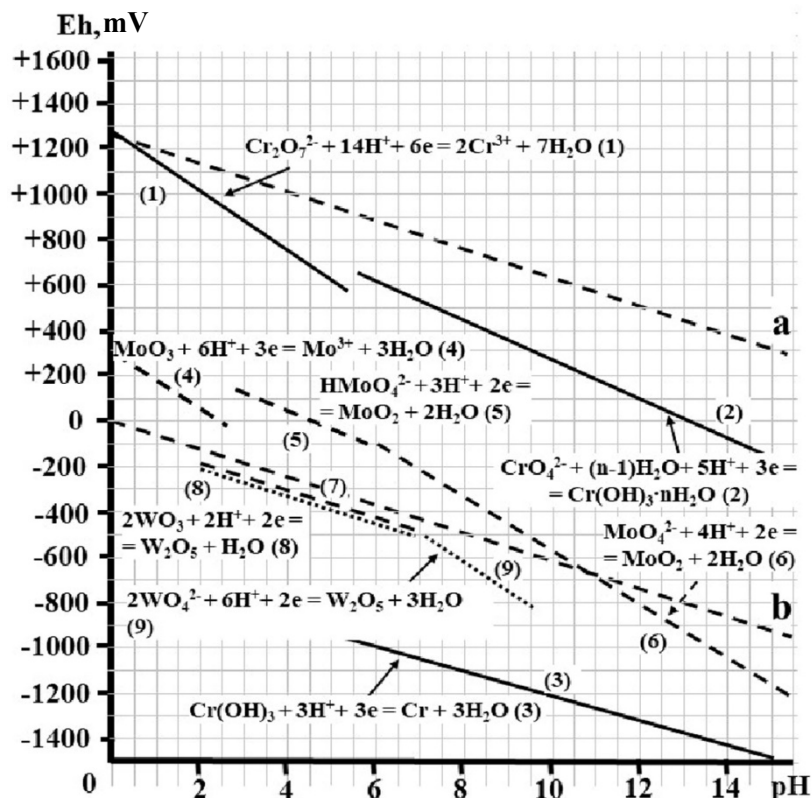
- 1. Według obliczeń termodynamicznych optymalne warunki syntezy wodoru są przy wartościach pH = 6,0-7,0 i Eh w granicach -400...-250 mV. W takich warunkach uzysk wodoru jest największy, a fermentacja odpadów organicznych najskuteczniejsza.**

#### ***Prognozowanie oddziaływań mikroorganizmów ze związkami metali***

Dla detoksykacji metali ciężkich opracowano podstawy teoretyczne oparte na termodynamicznych obliczeniach interakcji mikroorganizmów ze związkami metali. Związki Cr(VI) stwarzają zagrożenie ze względu na swoją toksyczność i szerokie rozpowszechnienie w środowisku. Rozpatrzono sposoby oddziaływania mikroorganizmów ze związkami chromu i innymi metalami ciężkimi, co pozwoliło ocenić perspektywy rozwoju biologicznych metod detoksykacji metali.

Klasyczne diagramy stanu stabilności związków metali w środowisku wodnym [24, 25] dają jedynie ogólne wyobrażenie o polach stabilności niektórych związków metali i nie

mogą służyć do prognozowania interakcji mikroorganizmów z nimi oraz wybrać optymalne szlaki metaboliczne do immobilizacji chromianów. Do takiego prognozowania konieczne było obliczenie potencjałów standardowych dla szeregu reakcji prowadzących do redukcji utlenionych związków metali przez mikroorganizmy aktywne metabolicznie (rys. 2).



**Rys. 2.** Stany redoks metali: a (górna) i b (dolna) – granice stabilności wody; a:  $2\text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e$ ,  $E_h = 1,228 - 0,0591 \cdot \text{pH} - 0,0295 \cdot \lg \text{PH}_2$ ; b:  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$ ,  $E_h = 0,000 - 0,0591 \cdot \text{pH} - 0,0591 \cdot \lg \text{PH}_2$ .

Wszelkie kataboliczne procesy oksydacyjno-redukcyjne przeprowadzane przez mikroorganizmy zachodzą wyłącznie w strefie termodynamicznej stabilności wody. Strefa ta jest ograniczona dwiema reakcjami redoks (rys. 2). Pierwsza odwracalna reakcja to utlenianie tlenu w wodzie (lub jonu hydroksylowego) do tlenu cząsteczkowego (a), druga to odwracalna reakcja redukcji protonu do wodoru cząsteczkowego (b). Przedział wartości  $E_h$ , w którym woda jest stabilna termodynamicznie, wynosi 1,228 V. W warunkach standardowego potencjału redoks reakcji ( $E_o'$ ), tj. jeśli stężenia związków utlenionych i zredukowanych wynoszą  $1 \text{ M/dm}^3$  przy  $\text{pH} = 7,0$  strefa stabilności oksydacyjno-redukcyjnej wody wynosi od -414 do +814 mV [26, 27].



Obliczenia termodynamiczne pozwoliły określić wszystkie teoretycznie dopuszczalne sposoby transformacji reprezentatywnych związków chromu przez mikroorganizmy [No4] i dla porównania molibdenu i wolframu oraz ocenić najskuteczniejsze sposoby oczyszczania roztworów z rozpuszczalnych związków metali.

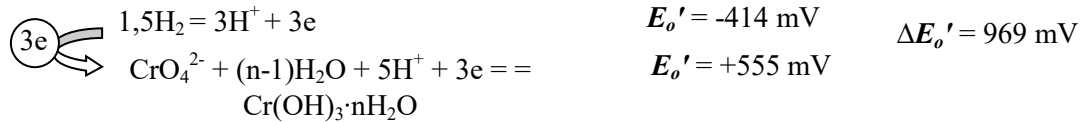
Ponieważ metabolizm mikroorganizmów możliwy jest jedynie w strefie termodynamicznej stabilności wody, reakcje redukcji metali wykraczające poza jego granice są dla mikroorganizmów niedostępne. Dlatego mikroorganizmy potrafią redukować związki Cr(VI) tylko do Cr(III), Mo(VI) – tylko do Mo(V) i do Mo(IV). Związki Cr(III) i W(VI) są niedostępne dla mikroorganizmów, ponieważ  $E_0'$  reakcji redukcji tych związków wykracza poza granice stabilności w wodzie. Jednakże spośród reakcji dostępnych dla mikroorganizmów należy wybrać tylko te, w których zredukowany związek metalu jest nierozpuszczalny. Tylko w tym przypadku uzyskuje się efekt ochrony środowiska, w szczególności mikrobiologiczny odzysk metalu i jego osadzanie w postaci nierozpuszczalnego związku (rys. 2).

Porównując reakcje redukcji związków Cr(VI), tylko reakcja 2 zapewnia całkowite wytrącenie i usunięcie tego toksycznego metalu z roztworu. Mikroorganizmy mogą prowadzić tę reakcję w szerokim zakresie pH (od 5,5 do 14,0). Zredukowany związek  $\text{Cr}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ma iloczyn rozpuszczalności  $6,3 \cdot 10^{-31}$ , co zapewnia całkowite usunięcie chromu z roztworu [28]. Oczywiście reakcji 1 nie można zastosować do oczyszczania ścieków, gdyż Cr(VI) w postaci dwuchromianu ulega redukcji do rozpuszczalnego kationu  $\text{Cr}^{3+}$  przy  $\text{pH} \leq 5,5$ .

Badając interakcję mikroorganizmów ze związkami Mo(VI) można stwierdzić, że reakcje 5 i 6 zapewniają skuteczne usunięcie tego metalu z roztworu. Istnieje termodynamiczny zakaz redukcji mikrobiologicznej zarówno rozpuszczalnych, jak i nierozpuszczalnych związków W(VI). Redukcji mikrobiologicznej związków W(VI) nie można prowadzić w żadnych warunkach, w związku z czym nie można ich stosować do immobilizacji W(VI) z roztworów wodnych.

Skuteczność redukcji metali jest proporcjonalna do różnicy potencjałów pomiędzy dwoma układami: donorem (enzymy redoks mikroorganizmów) i akceptorem (metale). Wynika z tego, że enzymy redoks o niskim potencjale, w szczególności dehydrogenazy, są najskuteczniejszymi reduktorami metali utleniających. Przykładowo, gdy cytochromy o potencjale redoks +300 mV działają jako układ donorowy, różnica potencjałów pomiędzy układem cytochromowym a chromianem (+555 mV) wynosi tylko 255 mV. Jeśli działają dehydrogenazy (-414 mV) [29], różnica potencjałów w odniesieniu do chromianu wynosi 969

mV. Różnica potencjałów jest tutaj 3,8 razy większa niż w przypadku cytochromów. Dlatego uważamy dehydrogenazy (-414 mV) za układ donorowy obiecujący dla rozwoju skutecznych biotechnologii immobilizacji metali i oczyszczania ścieków:



$$\Delta G_o' = -n \cdot F \cdot \Delta E_o = -3 \cdot 96,5 \cdot \Delta(+0,555 - (-0,414)) = -280,77 \text{ kJ/M.}$$

Uogólnione wyniki termodynamicznego przewidywania interakcji mikroorganizmów z metalami są następujące: 1. spośród mikroorganizmów tlenowych, i beztlenowych, najskuteczniej je przywróca mikroorganizmy obligatoryjnie beztlenowe, w szczególności beztlenowce syntetyzujące wodór; 2. w procesie fermentacji wodorowej nie tylko szybko redukują metale o wysokim potencjale (np. chromiany) do związków nierozpuszczalnych, ale także wytwarzają przyjazny dla środowiska nośnik energii – wodór cząsteczkowy.

#### Wnioski:

1. **Obliczenia termodynamiczne pozwalają ocenić sposoby oddziaływania mikroorganizmów z metalami ciężkimi. Procesy oksydacyjno-redukcyjne przeprowadzane przez mikroorganizmy zachodzą wyłącznie w strefie termodynamicznej stabilności wody. Różnica potencjałów pomiędzy układem donorowym (mikroorganizmy) a układem akceptorowym (metale) decyduje o efektywności redukcji metalu: im jest ona większa, tym wydajniejsza i szybsza będzie reakcja.**
2. **Reakcje, które zapewniają powstanie nierozpuszczalnych związków metali i w związku z tym ich usunięcie ze środowiska, są obiecujące dla rozwoju biotechnologii ochrony środowiska.**



***Badanie wzorców i optymalizacja procesu fermentacji odpadów organicznych dla uzyskania wodoru cząsteczkowego i innych wartościowych produktów***

Przeprowadzono badania fermentacji wodorowej wieloskładnikowych odpadów spożywczych, określono główne parametry technologiczne zapewniające wysoką efektywność procesu, a także skalowanie biotechnologii do dalszych zastosowań przemysłowych.

Opracowano i zbadano skuteczność granulowanego preparatu mikrobiologicznego (GPM) do fermentacji wodorowej odpadów. Ustalono, że w świeżo przygotowanym preparacie liczba mikroorganizmów tlenowych wynosiła  $2,0 \times 10^4$  jtk/g, fakultatywnie i obligatoryjnie beztlenowych – odpowiednio  $3,8 \times 10^3$  jtk/g i  $1,2 \times 10^2$  jtk/g. Długotrwałe przechowywanie (do 3 lat) doprowadziło do zmniejszenia liczby mikroorganizmów o 1-2 rzędy wielkości. Jednakże liczba mikroorganizmów aktywnych metabolicznie w preparacie pozostaje wystarczająco duża, a preparat zapewnia efektywną fermentację odpadową i syntezę wodoru. Na podstawie wyników badań szczepów bakterii wyizolowanych z preparatu stwierdzono obecność mikroorganizmów z rodzajów *Bacillus* i *Clostridium*, które są najbardziej obiecujące dla efektywnej fermentacji (tab. 1).

Cechą charakterystyczną tych bakterii jest wysoka odporność na działanie ekstremalnych czynników, duża aktywność metaboliczna oraz zdolność do spożywania szerokiej gamy substratów, co pozwala na unieszkodliwianie wieloskładnikowych odpadów organicznych. Wykazano, że funkcjonując wspólnie w fermentorze, te grupy mikroorganizmów wzmacniają wzajemnie swoją aktywność metaboliczną. Tym samym *Bacillus* sp. w początkowej fazie zużywa tlen i obniża potencjał redoks środowiska do -200...-100 mV, zapewniając optymalne warunki do rozwoju mikroorganizmów beztlenowych. W przyszłości *Clostridium* sp. zostanie uwzględnione w ostatecznym rozkładzie substratu, redukcji potencjału redoks do -400...-300 mV i syntezie wodoru. Dzięki temu powstają optymalne warunki do szybkiej fermentacji związków organicznych i wysokiego uzysku wodoru cząsteczkowego.

**Tabela 1.** Pozycja taksonomiczna szczepów izolowanych z granulowanego preparatu mikrobiologicznego określona na podstawie analizy sekwencji genu 16S rRNA

Nr	Źródło alokacji	Warunki selekcji	Szczep nr	Nr GenBank	Gatunek blisko spokrewniony	Stopień podobieństwa, %
1	GPM1	Tlenowe	3	OL744386	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	99,7
2	GPM1	Tlenowe	4	OL744387	<i>Bacillus subtilis</i>	99,7
3	GPM1	Tlenowe	38	OL744391	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	100
4	GPM1	Tlenowe	39	OL744392	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	100
5	GPM1	Obligatoryjnie beztlenowe, 48h fermentacji	86	OL744402	<i>Clostridium roseum</i>	99,9
6	GPM1	Obligatoryjnie beztlenowe, 48h fermentacji	87	OL744403	<i>Clostridium beijerinckii</i>	98,1
7	GPM1	Obligatoryjnie beztlenowe, 72h fermentacji	90	OL744404	<i>Clostridium beijerinckii</i>	98,0
8	GPM1	Obligatoryjnie beztlenowe	95	OL744409	<i>Clostridium beijerinckii</i>	98,6
9	GPM2	Tlenowe	11	OL744388	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	100
10	GPM2	Tlenowe	41	OL744393	<i>Bacillus vallismortis</i>	100
11	GPM2	Obligatoryjnie beztlenowe, 72h fermentacji	91	OL744405	<i>Clostridium roseum</i>	96,9
12	GPM2	Obligatoryjnie beztlenowe	94	OL744408	<i>Clostridium roseum</i>	98,2
13	GPM3	Tlenowe	17	OL744389	<i>Bacillus subtilis</i>	99,3
14	GPM3	Tlenowe	36	OL744390	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	99,4
15	GPM3	Tlenowe	42	OL744394	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	99
16	GPM3	Fakultatywnie beztlenowe	49	OL744395	<i>Bacillus licheniformis</i>	98
17	GPM3	Fakultatywnie beztlenowe	50	OL744396	<i>Bacillus vallismortis</i>	99,9
18	GPM3	Fakultatywnie beztlenowe	51	OL744397	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	98,4
19	GPM3	Fakultatywnie beztlenowe	53	OL744398	<i>Bacillus cereus</i>	99,9
20	GPM3	Fakultatywnie beztlenowe	54	OL744399	<i>Bacillus licheniformis</i>	98,8

21	GPM3	Fakultatywnie beztlenowe	63	OL744400	<i>Bacillus subtilis</i>	100
22	GPM3	Obligatoryjnie beztlenowe, 72h fermentacji	92	OL744406	<i>Clostridium butyricum</i>	97,2
23	GPM3	Obligatoryjnie beztlenowe	93	OL744407	<i>Clostridium beijerinckii</i>	99,0
24	GPM3	Obligatoryjnie beztlenowe, 72h fermentacji	97	OL744410	<i>Clostridium butyricum</i>	98,9

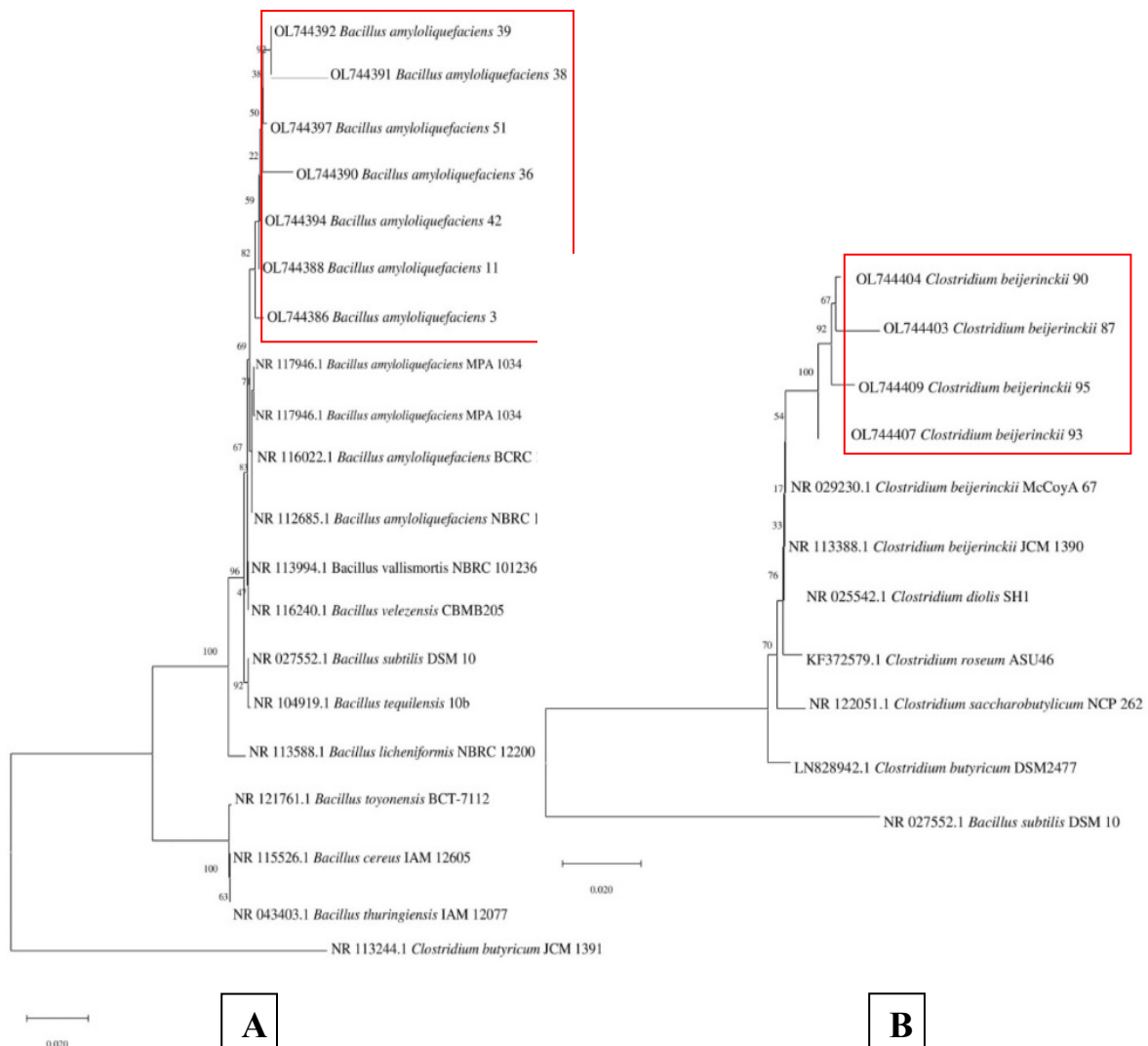
W celu wyjaśnienia przynależności gatunkowej wybranych szczepów skonstruowano drzewa filogenetyczne metodą łączenia najbliższych sąsiadów (program MEGA-X) w oparciu o dane dotyczące sekwencji fragmentów genu 16S rRNA. Przykładowo pokazana pozycja szczepów nr 3 (OL744386), 11 (OL744388), 36 (OL744390), 38 (OL744391), 39 (OL744392), 42 (OL744394) i 51 (OL744397) wśród blisko spokrewnionych gatunków z rodziny *Bacillaceae* (rodzaj *Bacillus*) (rys. 3A) oraz szczepy nr 87 (OL744403), 90 (OL744404), 93 (OL744407) i 95 (OL744409) wśród blisko spokrewnionych gatunków z rodziny *Clostridiaceae* (rodzaj *Clostridium*) (rys. 3B) [No4].

W pierwszym etapie przeprowadzono badania wzorców wytwarzania wodoru w drodze fermentacji wieloskładnikowych odpadów spożywczych w warunkach laboratoryjnych w butelkach o pojemności 0,5 L. Wykazano wysoką efektywność fermentacji wodorowej za pomocą preparatu nawet po długim okresie jego przechowywania. Wzrost mikroorganizmów rozpoczął się po 5 h hodowli. Liczba mikroorganizmów tlenowych osiągała maksimum po 24 h ( $2,2 \times 10^7$  jtk/mL płynu hodowlanego), fakultatywnie beztlenowych – po 48 h ( $3,4 \times 10^6$  jtk/mL) i bezwzględnie beztlenowych – po 72 h ( $8,3 \times 10^5$  jtk/mL). Uzysk wodoru w przeliczeniu na całkowicie suchą masę wyniósł 52 L/kg odpadów, współczynnik destrukcji  $K_d = 8,6$ , a czas trwania fermentacji 6 dni.

W drugim etapie przeprowadzono skalowanie procesu, zwiększając objętość komory roboczej fermentora do 20 L. Ustalono, że schematy fermentacji odpadów i syntezy wodoru są podobne do tych uzyskiwanych w butelkach. Optymalizacja głównych parametrów fermentacji pozwoliła na osiągnięcie wysokiej wydajności procesu. Czas fermentacji został skrócony do 4 dni. Uzysk wodoru wzrósł do 100-120 L/kg odpadów, a współczynnik destrukcji  $K_d = 90-94$  [14].

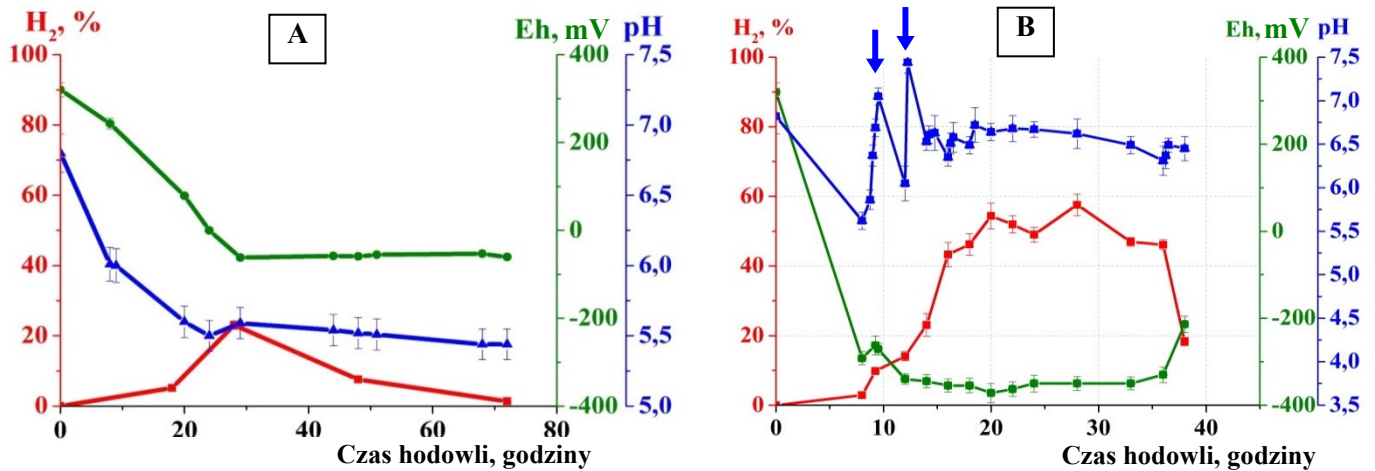
W trzecim etapie proces pomyślnie przeskalowano do objętości komory roboczej fermentora wynoszącej 240 L i potwierdzono jego wysoką wydajność. Optymalizacja

parametrów technologicznych zapewniła skrócenie czasu fermentacji do 1,5 dnia (38 godzin). Uzysk wodoru wyniósł 45 L/kg odpadów, a współczynnik destrukcji  $K_d = 86\text{-}140$  [No9, No10].



**Rys. 3.** Dendrogram filogenetyczny przedstawiający położenie szczepów rodzaju *Bacillus* (A) i *Clostridium* (B)

Zatem w zoptymalizowanym trybie fermentacji wieloskładnikowych odpadów spożywczych, przy regulacji metabolizmu mikroorganizmów, niezależnie od objętości fermentora, w początkowej fazie obserwowano szybką hydrolizę polimerów, czego dowodem było zakwaszenie środowiska i tworzenie warunków beztlenowych, co potwierdzają niskie wartości  $E_h$  (rys. 4).



**Rys. 4.** Dynamika fermentacji wodorowej wieloskładnikowych odpadów spożywczych w fermentorze badawczo-przemysłowym o pojemności 240 dm<sup>3</sup> w warunkach suboptymalnych (A) i zoptymalizowanych (B)

W optymalnych warunkach, miała miejsce wydajna synteza wodoru i ostateczna destrukcja odpadów. Oprócz tego przeprowadzono porównanie wydajności dwóch podejść do fermentacji stałych odpadów organicznych. Fermentacja ściśle beztlenowa w bioreaktorze o objętości 240 L dała wysoką wydajność wytwarzania wodoru ( $54 \pm 4,1$  L/kg odpadów) i zmniejszyła masę odpadów stałych ( $83 \pm 3,6$ ). Jednak nie usuwała ona skutecznie rozpuszczonych substancji organicznych, których ilość pozostała na poziomie  $572 \pm 16,5$  mg/dm<sup>3</sup>. Fermentacja z pulsacyjnym dostępem powietrza w bioreaktorze objętością 300 dm<sup>3</sup> osiągnęła podobny poziom degradacji stałych odpadów organicznych ( $86 \pm 5,2$ ), ale przy niższej wydajności wodoru ( $19 \pm 2,8$  L/kg odpadów). Przy okresowym dostępie tlenu z powietrza do bioreaktora następowało skuteczniejsze utlenianie związków organicznych. Udało się zmniejszyć stężenie rozpuszczonych substancji organicznych do  $187 \pm 26,8$  mg/dm<sup>3</sup>. Oba podejścia do fermentacji wykazały skuteczność degradacji stałych odpadów organicznych. Fermentacja ściśle beztlenowa jest preferowana w przypadku produkcji wodoru, natomiast fermentacja z pulsacyjnym dostępem powietrza jest lepiej dostosowana do uzyskania oczyszczonej fazy ciekłej. Podejścia te są obiecujące dla przyszłych zastosowań w systemach utylizacji odpadów organicznych.

**Wnioski:**

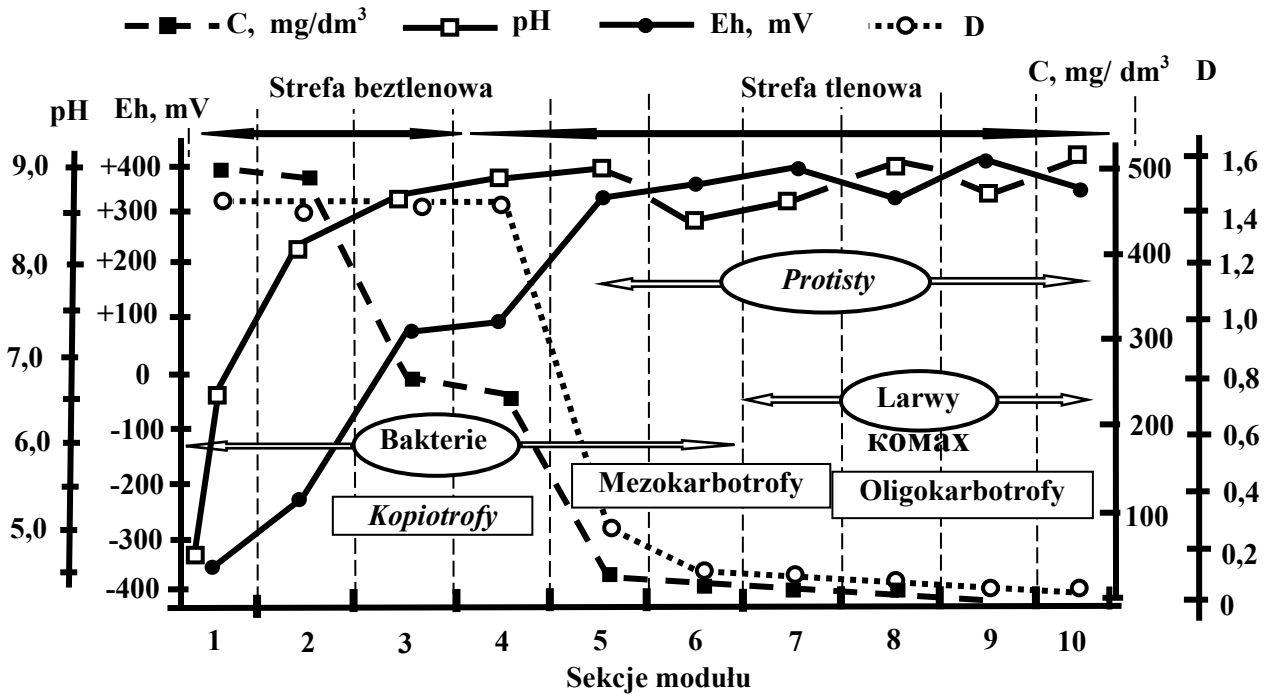
1. W wyniku optymalizacji i skalowania fermentacji wodorowej wieloskładnikowych odpadów organicznych w fermentorze o pojemności 240 dm<sup>3</sup> uzyskano następujące parametry technologiczne efektywności procesu: czas trwania T = 1,5 dnia (38 h), wydajność wodoru V<sub>H2</sub> = 45 L/kg odpadów, a współczynnik K<sub>d</sub> = 86-140, co wskazuje na perspektywy jego przemysłowego zastosowania do unieszkodliwiania odpadów z produkcją bezpiecznego dla środowiska nośnika energii; wodoru cząsteczkowego.
2. Wysoką efektywność fermentacji wodorowej odpadów zapewniono poprzez zastosowanie granulowanego preparatu mikrobiologicznego zawierającego żywe bakterie przetrwalnikowe (*Bacillus* sp. i *Clostridium* sp.), składniki odżywcze i regulatory metabolizmu mikroorganizmów.
3. Na podstawie wyników badań ustalono, że następuje sukcesja mikroorganizmów granulowanego preparatu mikrobiologicznego z dominacją *Bacillus* sp. na początku fermentacji. Mikroorganizmy *Bacillus* sp. usuwają z pożywki O<sub>2</sub> i obniżają potencjał redoks do -380...-300 mV. W końcu procesu zaczynają dominować bakterie rodzaju *Clostridium* sp., które całkowicie utleniają związki organiczne i syntetyzują wodór. Zapewnia to efektywność fermentacji i zwiększa uzysk wodoru.

***Modelowy system destrukcji stałych i płynnych odpadów organicznych***

Aby rozwiązać problem gromadzenia się odpadów organicznych, opracowano podejście oparte na sukcesji przestrzennej mikroorganizmów, które zapewniają całkowite rozkład zarówno stałych, jak i płynnych odpadów organicznych. Sukcesja przestrzenna to zmiana grup fizjologicznych w przestrzeni pod warunkiem ich jednoczesnego funkcjonowania syntroficznego (sprzężonego) [30, 31]. Zjawisko sukcesji przestrzennej biomów (mikrobiomów itp.) w sztucznych ekosystemach (stacje uzdatniania wody) można skutecznie wykorzystać jako nowe obiecujące podejście do rozwoju nowych biotechnologii energetycznych i środowiskowych.

W rezultacie powstał system składający się z bioreaktora beztlenowego do fermentacji stałych odpadów organicznych, zbiornika napowietrzającego (rys. 5) do utleniania rozpuszczalnych związków organicznych i zmniejszania stężenia mikroorganizmów oraz akwarium do końcowego oczyszczania filtratu.

W bioreaktorze beztlenowym następuje szybka fermentacja stałych związków organicznych z jednoczesną syntezą wodoru. W zbiorniku napowietrzającym beztlenowy filtrat o dużej zawartości związków rozpuszczalnych i biomasy mikroorganizmów wchodzący do pierwszej sekcji modułu jest oczyszczany na wylocie od 500 do 50 mg/dm<sup>3</sup> płynu pod względem całkowitej zawartości węgla (C). W zrównoważonym ekosystemie akwarium zawartość substancji organicznych nie przekraczała 2-5 mg/dm<sup>3</sup> płynu.



Rys. 5. Sukcesja przestrzenna w zbiorniku napowietrzającym i oczyszczaniu filtratu

Zastosowanie teoretycznej koncepcji sukcesji przestrzennej dla oczyszczania płynów pozwala na opracowanie podstaw metodologicznych do rozwiązywania aktualnych problemów ochrony środowiska i pozyskiwania bezpiecznych dla środowiska nośników energii z odpadów niebezpiecznych dla środowiska [No5].

#### Wnioski:

1. Wykorzystując zjawisko przestrzennej sukcesji syntroficznej, polegającej na sekwencyjnej zmianie grup fizjologicznych mikroorganizmów w przestrzeni, została przedstawiona możliwość jednoczesnego niszczenia stałych odpadów organicznych z syntezą H<sub>2</sub> i całkowitego oczyszczenia filtratu ze związków organicznych i mikroorganizmów w instalacji przepływowej.

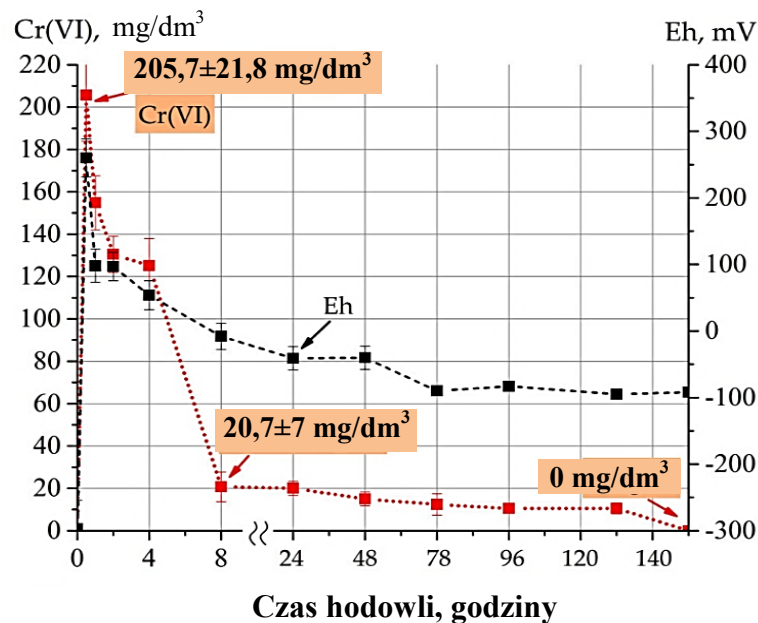


### Sposoby detoksykacji metali ciężkich

Obliczenia termodynamiczne dotyczące oddziaływania mikroorganizmów ze związkami metali zostały potwierdzone eksperymentalnie nie tylko poprzez badanie mikrobiomu, ale także czystych kultur.

Wydajność i szybkość odzysku metalu badano przy użyciu wyizolowanych i zidentyfikowanych obligatoryjnych szczepów beztlenowych *Clostridium butyricum* 92 (OL744406) i *Clostridium butyricum* GMP1 (OL744410) [No4].

Na przykładzie szczepu *Clostridium butyricum* 92 pokazano wzorce jego oddziaływania ze związkami Cr(VI) oraz wysoką skuteczność usuwania toksycznego metalu z roztworu. Usuwanie chromianów następowało przy stężeniu  $200 \text{ mg/dm}^3$  Cr(VI). Czas usuwania chromianu po wprowadzeniu w aktywną fazę fermentacji wynosił 7 dni (144 godziny). Natomiast w ciągu pierwszych 8 godzin po aplikacji usunięto 89,9% Cr(VI) (stężenie spadło z  $205,7 \pm 21,8$  do  $20,7 \pm 7,0 \text{ mg/dm}^3$  (rys. 6).



Rys. 6. Dynamika redukcji Cr(VI) szczepem *Clostridium butyricum* 92

Wykazano, że nieadaptowany szczep *Clostridium butyricum* 92 może skutecznie usuwać związki Cr(VI) z pożywki płynnej podczas fermentacji wodorowej ziemniaków (tab. 2).



**Tabela 2.** Efektywność procesu fermentacji w obecności Cr(VI)

Opcja, mg/dm <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> max, %*	Wydajność H <sub>2</sub> , L/kg ziemniaków	Wydajność CO <sub>2</sub> , L/kg ziemniaków	Kd
Kontrola	38,4 ± 1,9	85,8 ± 15,3	123,8 ± 14,5	75 ± 5,7
50 Cr(VI)	34,2 ± 2,5	79,2 ± 5,6	127 ± 21,5	77,4 ± 12,1
100 Cr(VI)	33,2 ± 6,2	45,3 ± 3,9	108 ± 9,8	62,7 ± 7,2
200 Cr(VI)	32,3 ± 3,1	23,8 ± 5,9	6,1 ± 2,2	25,6 ± 4,1

\* Maksymalne stężenie H<sub>2</sub> po wprowadzeniu Cr(VI)

Wraz ze wzrostem stężenia chromianu wydajność fermentacji w naturalny sposób spadała, chociaż nie zaobserwowano całkowitego zahamowania.

#### Wnioski:

- 1. Obliczenia termodynamiczne dotyczące skutecznego usuwania metali ciężkich przez mikroorganizmy zostały potwierdzone eksperymentalnie. Wykazano, że nawet przy stężeniu 200 mg/dm<sup>3</sup> *Clostridium butyricum* 92 usuwa Cr(VI) w ciągu 144 godzin.**

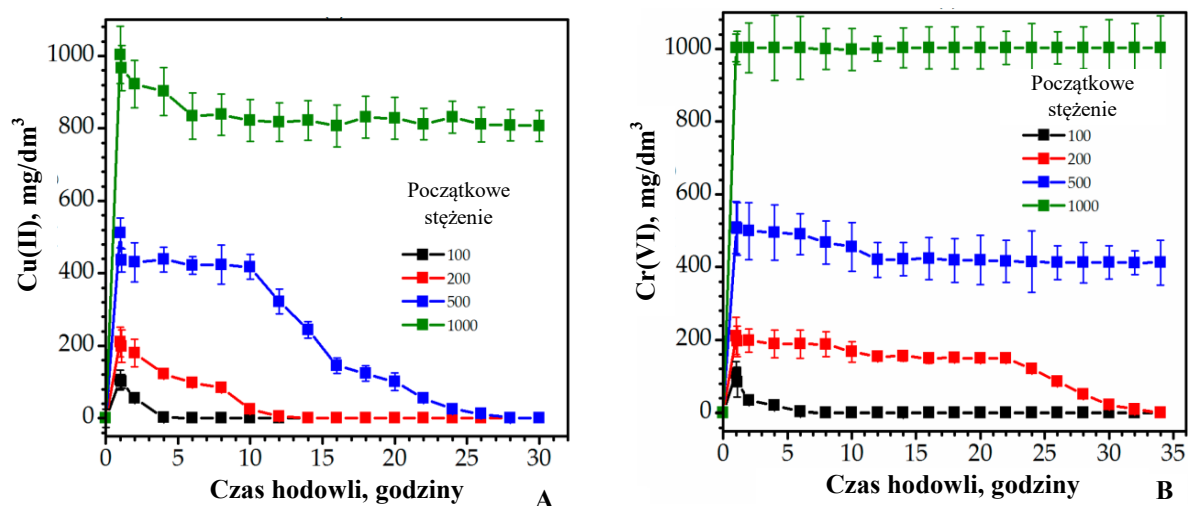
#### ***Kompleksowe podejście do jednoczesnej neutralizacji szerokiej gamy zanieczyszczeń***

Wykazano, że społeczności mikroorganizmów zapewniają skuteczne oczyszczanie roztworu ze związków metali ciężkich podczas fermentacji odpadów organicznych. W związku z tym obiecujące jest opracowanie kompleksowego podejścia, które pozwoli na jednoczesny przebieg tych procesów. Tym samym wykazano, że podczas fermentacji metanowej *Ambrosia artemisiifolia* L. miało miejsce unieczynnianie aktywnych związków Cr(VI) i Cu(II) [No2].

Skuteczność unieczynniania w wariantach z 100, 200 i 500 mg/dm<sup>3</sup> Cu(II), chelatowanego na początku eksperymentu cytrynianem sodu, wyniosła 100%. Najszybciej zachodził proces w obecności 100 mg/dm<sup>3</sup> Cu(II) (rys. 7A).

Stężenie Cu(II) zmniejszyło się dwukrotnie, z 105,4 do 55,3 w ciągu dwóch godzin i z 105,4 do 2,2 mg/dm<sup>3</sup> w ciągu 4 godzin. Całkowity czas usuwania ionów Cu(II) z roztworu wynosił 6 godzin. Związki Cu(II) również wytrącały się stopniowo w innych stężeniach. Jednakże czas wynosił 12 i 30 godzin, odpowiednio przy 200 mg/dm<sup>3</sup> i 500 mg/dm<sup>3</sup>. Stwierdzono, że stężenie miedzi wynoszące 1000 mg/dm<sup>3</sup> Cu(II) jest szkodliwe dla społeczności mikroorganizmów. Skuteczność immobilizacji wyniosła jedynie 19,5% w wariantcie ze stężeniem 1000 mg/dm<sup>3</sup> Cu(II). Chrom okazał się bardziej toksyczny niż miedź. Zatem skuteczne unieruchomienie nastąpiło tylko w obecności 100 i 200 mg/dm<sup>3</sup> Cr(VI) (rys.

7B). Czas całkowitego usuwania z roztworu wynosił tylko 8 godzin dla 100 mg/dm<sup>3</sup> Cr(VI) i 34 godziny dla 200 mg/dm<sup>3</sup>. Stężenie Cr(VI) zmniejszyło się z 211 do 155,1 mg/dm<sup>3</sup> w ciągu 12 godzin i do 22,2 mg/dm<sup>3</sup> w ciągu 30 godzin. W wariantach z 500 mg/dm<sup>3</sup> Cr(VI) wystąpiło jedynie częściowe usuwanie chromu z wydajnością 19,0%. Zatem stężenie Cr(VI) zmniejszyło się z 509 do 412,5 mg/dm<sup>3</sup> w ciągu 26 godzin wzrostu społeczności mikroorganizmów metanogennych i później pozostało stabilne. Wprowadzenie 1000 mg/dm<sup>3</sup> Cr(VI) doprowadziło do całkowitego zaprzestania rozwoju mikroorganizmów.



**Rys. 7.** Dynamika usuwania z roztworu Cu(II) (A) i Cr(VI) (B) podczas fermentacji chwastu *Ambrosia artemisiifolia* L. w obecności 100 (linie czarne), 200 (linie czerwone), 500 (niebieskie linie) i 1000 (zielone linie) mg/dm<sup>3</sup> Cu(II) i Cr(VI).

Intensywną degradację biomasy *Ambrosia artemisiifolia* L. potwierdzono także poprzez znaczną syntezę metanu w wariantach eksperymentalnych. Aktywna synteza metanu rozpoczęła się 23 dnia, a 35 dnia jego stężenie wynosiło 48,8%; w 69 dniu było to 64,8%. W ten sposób wykazano efektywną degradację *Ambrosia artemisiifolia* L. przez społeczność mikroorganizmów z wysokim uzyskiem CH<sub>4</sub>. W warunkach eksperymentalnych uzysk metanu wyniósł 56 L/kg substancji stałych [No2].

Podobne wyniki, potwierdzające skuteczność usuwania metali ciężkich z roztworu na drodze fermentacji związków organicznych, uzyskano w fermentacji biomasy chwastów *Solidago canadensis* L. [No3] i niebezpiecznej dla środowiska rośliny wodnej *Pistia stratiotes* L. [No8].

Podczas fermentacji *Solidago canadensis* L. szybkość usuwania miedzi i jej skuteczność przy 100, 200 i 500 mg/dm<sup>3</sup> Cu(II) były niezwykle wysokie. Najszybsze wytrącanie miedzi nastąpiło przy stężeniu początkowym 100 mg/dm<sup>3</sup> Cu(II). W szóstym dniu fermentacji metanowej stężenie Cu(II) spadło ona ze 102,4 do 2,1 mg/dm<sup>3</sup>. Łącznie unieczynnienie Cu(II) trwało osiem dni ze 100% skutecznością. Przy początkowym stężeniu 200 mg/dm<sup>3</sup> Cu(II) czas całkowitego unieruchomienia był dłuższy i wynosił 18 dni. Stężenie Cu(II) spadło z 505,0 do 12,1 mg/dm<sup>3</sup> w 22. dniu po dodaniu miedzi i wynosiło poniżej granicy oznaczalności dopiero po 24 dniach. Uzysk metanu wyniósł odpowiednio 62 L/kg substancji stałych i 38 L/kg bez Cu(II) i w obecności 500 mg/dm<sup>3</sup> Cu(II) [No3].

Fermentacja *Pistia stratiotes* L. zapewniła 68,0 ± 11,1 L/kg substancji stałych wydajności biometanu i usunięcia Cu(II) po 3 i 10 dniach fermentacji z początkowych stężeń odpowiednio 100 mg/dm<sup>3</sup> i 200 mg/dm<sup>3</sup> [No8].

Badano także wpływ bioremediacji gleby zanieczyszczonej metalami w oparciu o połączenie aktywności metabolicznej mikroorganizmów i roślin [No6, No7]. Wykazano, że obecność w glebie związków chromu i miedzi w stężeniach 50, 100 i 200 mg/kg nie hamuje wzrostu mikrobiomu glebowego. Stwierdzono, że zarówno gleba kontrolna, jak i gleba eksperymentalna z metalami zawierała liczne żywe mikroorganizmy. W glebie kontrolnej bez metali liczba mikroorganizmów wynosiła  $1,4 \times 10^7$  jtk/g. Stężenie komórek wahało się od  $1,3 \times 10^7$  do  $1,8 \times 10^7$  jtk/g w obecności 50-200 mg/kg Cu(II) lub Cr(VI). Nie stwierdzono istotnej statystycznie różnicy w wartościach liczby mikroorganizmów pomiędzy próbkami gleby kontrolnymi i eksperymentalnymi. Przy takich stężeniach metali nie zaobserwowano istotnego zahamowania wzrostu roślin. Wykazano, że trawa gazonowa akumulowała od 69,1 ± 13,2 do 497,7 ± 74,1 mg/kg Cu i Cr podczas wzrostu w glebie zanieczyszczonej 50, 100 i 200 mg/kg metali. Ogólnie rzecz biorąc, zaobserwowano wzrost akumulacji miedzi w nadziemnej części trawy i chromu w korzeniach. Całkowite stężenie miedzi w części nadziemnej wahało się od 105,2 ± 23,8 do 497,7 ± 74,1 mg/kg biomasy roślinnej. Ogólna zawartość chromu w korzeniach wahała się od 156,4 ± 47,9 do 426,8 ± 62,5 mg/kg [No6].

Do badania wzorców usuwania kobaltu(II), niklu(II), chromu(VI), miedzi(II) i kadmu(II) w stężeniu 500 mg/kg suchej masy gleby wykorzystano rośliny *Nicotiana tabacum* L. odmiany Djubek. Biorąc pod uwagę bardzo wysokie początkowe stężenie każdego z metali (500 mg/kg) i ich działanie toksyczne, określona skuteczność usuwania była wysoka. Wyniki wykazały, że skuteczność biousuwania badanych metali wahała się w granicach 0,60-3,65%. Metale kumulowały się w tkankach roślinnych w niezwykle wysokich stężeniach. Stwierdzono, że mikroorganizmy glebowe mają wysoki potencjał adaptacyjny do Cu(II) i

Cr(VI). W warunkach beztlenowych mikroorganizmy prawdopodobnie immobilizują metale ciężkie, które później są wchłaniane przez rośliny [No7].

**Wnioski:**

- 1. Potwierdzono, że zbiorowiska mikroorganizmów zapewniają również skuteczne usuwanie metali ciężkich. Pokazano możliwość efektywnego wykorzystania procesu niskopotencjalnej fermentacji związków organicznych (odpady roślinne *Ambrosia artemisiifolia* L., *Solidago canadensis* L., *Pistia stratiotes* L.) do odzysku związków metali o wysokim potencjale.**
- 2. Umożliwiło to usunięcie Cr(VI) i Cu(II) nawet przy stężeniach 500 mg/dm<sup>3</sup>, a także pozyskiwanie metanu do 68,0 ± 11,1 L/kg substancji stałych.**
- 3. Aktywność metaboliczna mikroorganizmów glebowych i roślin zapewnia unieczynnianie toksycznych metali i oczyszczenie gleby poprzez prawdopodobnie immobilizują metale ciężkie, które później są wchłaniane przez rośliny.**

*Podsumowanie wyników zamieszczonych w pracach wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji*

Najważniejsze osiągnięcia oraz wkład mojej pracy badawczej, przedstawionej w omawianym cyklu publikacji są następujące:

- zaproponowałam podejście do efektywnej utylizacji ekologicznie niebezpiecznych odpadów organicznych i usuwania z roztworów metali ciężkich z uzyskaniem cennych produktów (wodór, metan, paliwo stałe, bionawóz, czysta woda i koncentrat metali), które opiera się na termodynamicznych obliczeniach interakcji mikroorganizmów z substancjami toksycznymi. Podejście to pozwala obliczyć możliwe sposoby interakcji i ich skuteczność oraz wybrać sposób optymalny;
- na podstawie obliczeń termodynamicznych pokazano, że dla najskuteczniejszej fermentacji odpadów organicznych i największego uzysku wodoru optymalne warunki występują przy  $\text{pH} = 6,0-7,0$  i  $E_h$  w granicach  $-400...-250$  mV;
- za pomocą obliczeń termodynamicznych oceniłam sposoby interakcji mikroorganizmów z metalami ciężkimi. Uzasadniłam, że mikroorganizmy mogą oddziaływać ze związkami metali wyłącznie w strefie termodynamicznej stabilności wody. Różnica potencjałów pomiędzy układem donorowym (mikroorganizmy) a układem akceptorowym (metale) decyduje o efektywności redukcji metalu: im jest ona większa, tym wydajniejsza i szybsza będzie reakcja. Reakcje, które zapewniają powstanie nierozpuszczalnych związków metali i w związku z tym ich usunięcie ze środowiska, są obiecujące dla rozwoju biotechnologii ochrony środowiska;
- potwierdziłam obliczenia termodynamiczne dotyczące efektywności fermentacji wodorowej odpadów. W wyniku optymalizacji i skalowania fermentacji wodorowej wieloskładnikowych odpadów organicznych w fermentorze o pojemności 240 L uzyskano następujące parametry technologiczne efektywności procesu: czas trwania  $T = 1,5$  dnia (38 h), wydajność wodoru  $V_{\text{H}_2} = 45$  L/kg odpadów, a współczynnik  $K_d = 86-140$ , co wskazuje na perspektywy jego przemysłowego zastosowania do unieszkodliwiania odpadów z produkcją bezpiecznego dla środowiska nośnika energii, wodoru cząsteczkowego. Wysoka efektywność procesu została zapewniona poprzez zastosowanie granulowanego preparatu mikrobiologicznego zawierającego żywe bakterie (*Bacillus* i *Clostridium*), składniki odżywcze i regulatory metabolizmu mikroorganizmów;

- pokazałam, że wysoką efektywność procesu osiąga się poprzez sukcesję mikroorganizmów granulowanego preparatu mikrobiologicznego z dominacją *Bacillus* na początku fermentacji, które usuwają z pożywki  $O_2$  i obniżają potencjał redoks do -380...-300 mV, na koniec procesu do *Clostridium*, które całkowicie utleniają związki organiczne i syntetyzują wodór. Zapewnia to efektywność fermentacji i zwiększa uzysk wodoru;
- pokazałam możliwość jednoczesnego niszczenia stałych odpadów organicznych z syntezą  $H_2$  i całkowitego oczyszczenia filtratu ze związków organicznych i mikroorganizmów w instalacji przepływowej, wykorzystując zjawisko przestrzennej sukcesji syntroficznej, polegającej na sekwencyjnej zmianie grup fizjologicznych mikroorganizmów w przestrzeni;
- potwierdziłam eksperymentalnie obliczenia termodynamiczne dotyczące skutecznego usuwania metali ciężkich zarówno przez szczepy, jak i społeczności mikroorganizmów: szczep *Clostridium butyricum* 92 usuwał Cr(VI) przy stężeniu  $200 \text{ mg/dm}^3$  w ciągu 144 godzin, społeczności mikroorganizmów fermentacji związków organicznych (odpady roślinne *Ambrosia artemisiifolia* L., *Solidago canadensis* L., *Pistia stratiotes* L.) redukują Cr(VI) i Cu(II) nawet przy stężeniach  $500 \text{ mg/dm}^3$ , a także umożliwiają pozyskiwanie metanu do  $68,0 \pm 11,1 \text{ L/kg}$  substancji stałych;
- pokazałam, że aktywność metaboliczna mikroorganizmów glebowych i roślin też zapewnia detoksykację toksycznych metali i oczyszczenie gleby poprzez prawdopodobnie immobilizację metali ciężkich poprzez mikroorganizmy, które później są wchłaniane przez rośliny.

Opracowana koncepcja bazująca na termodynamicznym przewidywaniu oddziaływania mikroorganizmów ze związkami toksycznymi jest wkładem w rozwój uniwersalnej technologii fermentacji wieloskładnikowych odpadów organicznych i usuwania metali ciężkich z wytworzeniem cennych produktów: wodoru cząsteczkowego, metanu, paliwa stałego, bionawozu, koncentratu metalu i czystej wody.

Zaproponowane obliczenia termodynamiczne były potwierdzone eksperymentalnie, badając szczepy, jak i społeczności mikroorganizmów. Granulowany preparat mikrobiologiczny wykazał wysoką wydajność fermentacji odpadów organicznych i syntezy wodoru. Stworzenie optymalnych warunków w oparciu o obliczenia termodynamiczne

zapewniło wysoką efektywność fermentacji odpadów organicznych, a także usuwanie metali ciężkich (Cr(VI), Cu(II) itp.).

Dalszy rozwój badań pozwoli na skalowanie procesu w celu stworzenia skutecznych technologii ochrony środowiska i pozyskiwania energii. Opracowane podejście do pozyskiwania ekologicznie czystego nośnika energii (wodór cząsteczkowy) jest szczególnie istotne w warunkach obecnego kryzysu energetycznego. W połączeniu z fermentacją niebezpiecznych dla środowiska odpadów organicznych rozwój takiej technologii pozwoli jednocześnie oczyścić środowisko i zyskać alternatywne źródło energii. Podejście to można zastosować zarówno w przypadku małych instalacji w prywatnych gospodarstwach domowych, jak i w przypadku produkcji na dużą skalę, w których codziennie powstają duże ilości odpadów organicznych wymagających utylizacji. Opracowany granulowany preparat mikrobiologiczny jest obiecujący do zastosowania zarówno w małych, jak i dużych fermentorach. Obiecujące jest wykorzystanie instalacji autonomicznych w gospodarstwach prywatnych do usuwania odpadów organicznych nagromadzonych podczas konsumpcji produktów, a także do niszczenia odpadów organicznych z roślin rolniczych, odchodów zwierzęcych itp. Ponadto możliwe jest wykorzystanie preparatu i podejście do regulacji metabolizmu drobnoustrojów w celu przyspieszenia fermentacji frakcji organicznej składowisk odpadów komunalnych przy zwiększonej produkcji biogazu. Zaproponowane podejście do oczyszczania środowiska z toksycznych związków metali jest możliwe w przypadku oczyszczania zarówno ścieków przemysłowych zawierających metale, jak i gleb zanieczyszczonych metalami.

Obiecujące jest wykorzystanie podejścia do tworzenia instalacji z granulowanym preparatem mikrobiologicznym, które zapewnią fermentację związków organicznych i jednocześnie usuwanie metali z roztworu na skutek wytrącania – redukcji do związków nierozpuszczalnych.

## Literatura

- [1] A. Pires, G. Martinho, and N.-B. Chang, 'Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques', *Journal of Environmental Management*, vol. 92, no. 4, pp. 1033–1050, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.jenvman.2010.11.024.



- [2] L. A. Guerrero, G. Maas, and W. Hogland, 'Solid waste management challenges for cities in developing countries', *Waste Management*, vol. 33, no. 1, pp. 220–232, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.wasman.2012.09.008.
- [3] N. H. M. Yasin, T. Mumtaz, M. A. Hassan, and N. Abd Rahman, 'Food waste and food processing waste for biohydrogen production: A review', *Journal of Environmental Management*, vol. 130, pp. 375–385, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.jenvman.2013.09.009.
- [4] K. Paritosh, S. K. Kushwaha, M. Yadav, N. Pareek, A. Chawade, and V. Vivekanand, 'Food Waste to Energy: An Overview of Sustainable Approaches for Food Waste Management and Nutrient Recycling', *BioMed Research International*, vol. 2017, pp. 1–19, 2017, doi: 10.1155/2017/2370927.
- [5] E. Uçkun Kiran, A. P. Trzcinski, W. J. Ng, and Y. Liu, 'Bioconversion of food waste to energy: A review', *Fuel*, vol. 134, pp. 389–399, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.fuel.2014.05.074.
- [6] G. Gottschalk, *Bacterial metabolism*, 2nd Edition. New York: Springer-Verlag, 1986.
- [7] R. Thauer, 'Biochemistry of methanogenesis: a tribute to Marjory Stephenson', no. 144, pp. 2377–2406, 1998.
- [8] T. Noike and O. Mizuno, 'Hydrogen fermentation of organic municipal wastes', *Water Sci Technol*, vol. 42, no. 12, pp. 155–162, Dec. 2000, doi: 10.2166/wst.2000.0261.
- [9] W. Chen, S. Chen, S. Kumarkhanal, and S. Sung, 'Kinetic study of biological hydrogen production by anaerobic fermentation', *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 31, no. 15, pp. 2170–2178, Dec. 2006, doi: 10.1016/j.ijhydene.2006.02.020.
- [10] G. D. Saratale, S.-D. Chen, Y.-C. Lo, R. G. Saratale, and J.-S. Chang, 'Outlook of biohydrogen production from lignocellulosic feedstock using dark fermentation – a review', *JSIR Vol.67(11) [November 2008]*, Nov. 2008, Accessed: Nov. 11, 2019. [Online]. Available: <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/2424>
- [11] A. Ghimire *et al.*, 'Effects of operational parameters on dark fermentative hydrogen production from biodegradable complex waste biomass', *Waste Management*, vol. 50, pp. 55–64, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2016.01.044.
- [12] A. Ghimire *et al.*, 'A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products', *Applied Energy*, vol. 144, pp. 73–95, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.045.
- [13] I. Moreno-Andrade and G. Buitrón, 'Evaluation of particle size and initial concentration of total solids on biohydrogen production from food waste', *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 24, no. 7, p. 8, 2015.



- [14] O. Tashyrev, V. Govorukha, and O. Havryliuk, 'The effect of mixing modes on biohydrogen yield and spatial pH gradient at dark fermentation of solid food waste', *Ecological Engineering and Environment Protection*, pp. 53–62, Jun. 2017, doi: 10.32006/eeep.2017.2.5362.
- [15] R. Dixit *et al.*, 'Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes', *Sustainability*, vol. 7, no. 2, pp. 2189–2212, Feb. 2015, doi: 10.3390/su7022189.
- [16] V. M. Hovorukha *et al.*, 'Integrated Approach for Development of Environmental Biotechnologies for Treatment of Solid Organic Waste and Obtaining of Biohydrogen and Lignocellulosic Substrate', *EREM*, vol. 74, no. 4, pp. 31–42, Feb. 2019, doi: 10.5755/j01.erem.74.4.20723.
- [17] K. H. Cheung and J.-D. Gu, 'Mechanism of hexavalent chromium detoxification by microorganisms and bioremediation application potential: A review', *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 59, no. 1, pp. 8–15, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.ibiod.2006.05.002.
- [18] S. Congeevaram, S. Dhanarani, J. Park, M. Dexilin, and K. Thamaraiselvi, 'Biosorption of chromium and nickel by heavy metal resistant fungal and bacterial isolates', *Journal of Hazardous Materials*, vol. 146, no. 1, pp. 270–277, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.12.017.
- [19] E. L. Cavalcante de Amorim, A. R. Barros, M. H. Rissato Zamariolli Damianovic, and E. L. Silva, 'Anaerobic fluidized bed reactor with expanded clay as support for hydrogen production through dark fermentation of glucose', *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 2, pp. 783–790, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.11.007.
- [20] J. Boyle, 'Lehninger principles of biochemistry (4th ed.): Nelson, D., and Cox, M.', *Biochemistry and Molecular Biology Education*, vol. 33, no. 1, pp. 74–75, 2005, doi: 10.1002/bmb.2005.494033010419.
- [21] J. P. Amend and E. L. Shock, 'Energetics of overall metabolic reactions of thermophilic and hyperthermophilic Archaea and Bacteria', *FEMS Microbiology Reviews*, vol. 25, no. 2, pp. 175–243, Apr. 2001, doi: 10.1016/S0168-6445(00)00062-0.
- [22] O. Tashyrev *et al.*, 'Obtaining of fermentation parameters of experimental-industrial technology for synthesis of biohydrogen', in *Монографія. Водневі технології. Зберігання енергії: стан та перспективи розвитку під редакцією В. А. Яртися, Ю. М. Солоніна та І. Ю. Завалія*, Львів: Простір-М, 2021, p. 268 с.

- [23] S. I. Mussatto and J. A. Teixeira, *Lignocellulose as raw material in fermentation processes*. Formatex Research Center, 2010. Accessed: May 09, 2020. [Online]. Available: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>
- [24] M. Pourbaix, 'Thermodynamics of Dilute Aqueous Solutions: Graphical Representation of the Role of pH and Potential', Delft Institute of Technology, Delft, 1945.
- [25] M. Pourbaix, 'Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solution', *NACE*, vol. 307, p. 648, 1974.
- [26] V. Novorukha and O. Tashyrev, 'Thermodynamic prognosis of the efficiency of toxic metals extraction from solution by microorganisms and their genetic potential', *Збірник наукових праць «Фактори експериментальної еволюції організмів»*, vol. 23, pp. 357–363, 2018.
- [27] А. Б. Таширев, Э. В. Галингер, and Е. И. Андреюк, 'Термодинамическое прогнозирование редокс-взаимодействия микроорганизмов с металлами-окислителями ( $Hg^{2+}$ ,  $CrO_2^-$  и  $Cu^{2+}$ )', *Доповіді НАН України*, no. 4, pp. 166–172, 2008.
- [28] Ю. Лурье, *Справочник по аналитической химии*. Москва: Химия, 1979.
- [29] H. G. Schlegel and C. Zaborosch, *General Microbiology*. Cambridge University Press, 1993.
- [30] D. Sanchis *et al.*, 'Spatial and temporal heterogeneity in succession of cyanobacterial blooms in a Spanish reservoir', *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, vol. 38, no. 3, Art. no. 3, Sep. 2002, doi: 10.1051/limn/2002015.
- [31] W. Zhang and W. Wei, 'Spatial succession modeling of biological communities: a multi-model approach', *Environmental monitoring and assessment*, vol. 158, pp. 213–30, Nov. 2008, doi: 10.1007/s10661-008-0574-1.

#### 4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

W 2013 r., po uzyskaniu tytułu magistra mikrobiologii, podjęłam prace na Instytucie Mikrobiologii i Wirusologii im D.K. Zabolotnego Narodowej Akademii Nauk Ukrainy, gdzie prowadziłam badania mikroorganizmów redukujących żelazo i sposobów ich oddziaływania ze związkami żelaza. Moją rozprawę doktorską, w zakresie mikrobiologii uzyskałam w Instytucie Mikrobiologii i Wirusologii im D.K. Zabolotnego Narodowej Akademii Nauk Ukrainy w 2016 r. Promotorem mojej rozprawy doktorskiej pt.: *Rola mikroorganizmów*

*redukcją żelaza w cyklach biogeochemicznych węgla i żelaza* był prof., dr hab. Oleksandr Tashyrev, kierownik działu Instytutu Mikrobiologii i Wirusologii im D.K. Zabolotnego Narodowej Akademii Nauk Ukrainy. Recenzentami pracy byli dr Svitlana Hnatysh, prof. Lwowskiego Uniwersytetu Narodowego Iwana Franki, dr hab. Andriy Piliashenko-Novochatny, prof. Otwartego Międzynarodowego Uniwersytetu Rozwoju Człowieka „Ukraina”.

Wyniki badań prowadzonych w tym okresie opublikowałam w 1 artykule z bazy JCR i w 7 artykułach w czasopismach o zasięgu krajowym i międzynarodowym. W publikacjach zaprezentowałam wyniki dotyczące badań szlaków interakcji mikroorganizmów ze związkami żelaza. Na podstawie danych termodynamicznych pokazałam możliwe szlaki interakcji i potwierdziłam to eksperymentalnie. W tym okresie uczestniczyłam w pracach zespołu realizującego systematyczne badania ekosystemów sześciu regionów geograficznych pod kątem obecności mikroorganizmów redukujących żelazo: Antarktyki, Arktyki, Morza Martwego i Czarnego, średnich szerokości geograficznych (Ukraina, Abchazja) oraz strefy równikowej (Ekwador). Sumaryczny *IF* publikacji będących w bazie JCR, a opublikowanych do roku 2016 wynosi 0,0 według wartości *IF* z daty publikacji, natomiast zgodnie z kryteriami MNiSW, dorobek ten wynosi łącznie 28 punktów.

Artykuły, które zostały opublikowane po 2016 r. i nie weszły w skład jednotematycznego cyklu publikacji to dorobek, w którym zamieszczone wyniki badań są efektem, m.in. współpracy z ośrodkami w Polsce, Indiach i Stanach Zjednoczonych, a także wspólnych badań prowadzonych ze studentami i doktorantami.

Jednymi z badań nie ujętych w przedstawionym do oceny cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych były badania wzorców fermentacji odpadów oraz skalowania procesu. Badano skład substratów i sposoby ich niszczenia. Opracowano i zbadano modyfikacje granulowanego preparatu mikrobiologicznego stosowanego w celu przyspieszenia fermentacji. Zawierał on zróżnicowaną społeczność mikroorganizmów *Bacillus* i *Clostridium*, substraty wyjściowe i regulatory metabolizmu mikroorganizmów. Opracowano podejście do ekspresowej regulacji procesu z wykorzystaniem wskaźnika metabolizmu mikroorganizmów – błękitu bromotymolowego. W rezultacie zoptymalizowano proces fermentacji w fermentorze laboratoryjnym o pojemności 20 dm<sup>3</sup> i badawczo-przemysłowym o pojemności 240 dm<sup>3</sup>. Określono m. in. skład odpadów, stosunek fazy stałej (odpady) do fazy ciekłej (woda) oraz optymalne sposoby przenoszenia masy mieszaniny fermentacyjnej. Umożliwiło to opracowanie zaleceń technologicznych dotyczących regulacji

procesu w celu zwiększenia efektywności fermentacji odpadów organicznych z produkcją wodoru.

Dodatkowo zbadano procesy dalszego oczyszczania filtratu powstałego po fermentacji stałych odpadów organicznych, zawierających rozpuszczalne związki organiczne w wysokim stężeniu. Badano proces oczyszczania podczas okresowej hodowli. Proces utleniania tlenowego, który 19-krotnie zmniejszył stężenie rozpuszczonych związków organicznych oraz utleniania beztlenowego, który pozwolił na zmniejszenie stężenia 10-krotnie, ale jednocześnie zapewnił syntezę metanu będącego nośnikiem energii w ilości 1 L CH<sub>4</sub> na 1 dm<sup>3</sup> filtratu. Badano także skuteczność oczyszczania ścieków w instalacjach przepływowych z wykorzystaniem nośników naturalnych i syntetycznych do immobilizacji mikroorganizmów utleniających związki organiczne.

Wnioski z tych badań zostały przedstawione w publikacjach:

1. Таширев О.Б., **Говоруха В.М.**, Гаврилюк О.А., Сиома І.Б., Матвєєва Н.А., Таширева Г.О., Ястремська Л.С., Белікова О.Ю.: *Розробка біотехнології отримання молекулярного водню при максимальній деструкції харчових відходів*, розділ w: *Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої енергетики і паливно-комірчанних технологій*, Скороход В. і Солонін Ю. (red.), КИМ, Київ 2018, Str. 15-25.
2. Singh N., Devi A., Bishnoi M.B., Jaryal R., Dahiya A., Tashyrev O., **Govorukha V.**: *Overview of the Process of Enzymatic Transformation of Biomass*, rozділ w: *Elements of Bioeconomy* Edited by Krzysztof Biernat, IntechOpen Limited, London 2019, Str. 1-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.85036>.
3. Tashyrev O., **Hovorukha V.**, Havryliuk O., Gladka G., Bida I., Danko Ya., Shabliy O.: *Obtaining of fermentation parameters of experimental-industrial technology for synthesis of biohydrogen*, rozділ w: *Водневі технології. Зберігання енергії: стан та перспективи розвитку*, Яртісь В.А., Солонін Ю.М., Завалій І. Ю. (red.), Простір-М, Львів 2021, Str. 107-113.
4. Tashyreva H., Tashyrev O., **Govorukha V.**, Havryliuk O.: *The effect of mixing modes on biohydrogen yield and spatial pH gradient at dark fermentation of solid food waste*, *Ecological Engineering and Environment Protection*, 2017, **X**, 53-62. DOI: [10.32006/eeep.2017.2.5362](https://doi.org/10.32006/eeep.2017.2.5362).
5. Tashyrev O.B., Sioma I.B., Tashyreva G.O., **Hovorukha V.M.**: *Natural and synthetic solid carriers in flow module for microbial sewage filtrate purification*, *Biotechnologia Acta*, 2018, **11(6)**, 73-81. <https://doi.org/10.15407/biotech11.06.073>.
6. Tashyrev O.B., Sioma I.B., Tashyreva G.O., **Hovorukha V.M.**: *Bromthymol blau as the universal indicator for determining the stereometric allocation of pH and Eh in the medium in heterophase microorganisms cultivation*, *Mikrob.Z.*, 2019, **81(2)**, 14-24. doi: <https://doi.org/10.15407/microbiolj81.02.014>.
7. **Hovorukha V.**, Tashyrev O., Tashyreva H., Havryliuk O., Bielikova O., Iastremska L.: *Increase in efficiency of hydrogen production by optimization of food waste fermentation parameters*, *Energetika*, 2019, **65(1)**, 1-10. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v65i1.3977>.
8. **Hovorukha V.M.**, Havryliuk O.A., Bida I.O., Danko, Ya.P., Shabliy O.V., Gladka G.V., Yastremska L.S., Tashyrev O.B.: *Two-stage degradation of solid organic waste and*

*liquid filtrate*, *Biotechnologia Acta*, 2021, **14(4)**, 70-79.  
<https://doi.org/10.15407.biotech14.04.070>.

Chociaż fermentacja odpadów zmniejsza ich masę 90-95 razy, pozostają niesfermentowane pozostałości lignocelulozowe, które są produktem fermentacji. Można je suszyć, brykietować i później wykorzystać jako paliwo stałe. Kolejnym aspektem jest ich zastosowanie jako bionawozów po dodatkowym przetworzeniu. Wykazano, że zastosowanie pozostałości lignocelulozowych w stężeniu 33 g na m<sup>3</sup> piasku zwiększało odporność roślin rzodkwi zwyczajnej (*Raphanus sativus* L.) na stres suszy, stymulowało wzrost i zapewniało plon zbliżony do gleby czarnoziemnej.

Wyniki badań zostały opublikowane w artykułach:

1. **Hovorukha V.M.** [et al.] *Integrated Approach for Development of Environmental Biotechnologies for Treatment of Solid Organic Waste and Obtaining of Biohydrogen and Lignocellulosic Substrate*, *Environmental Research, Engineering and Management*, 2018, **74(4)**, 31-42. DOI:[10.5755/j01.arem.74.4.20723](https://doi.org/10.5755/j01.arem.74.4.20723).
2. Tashyrev O.B., Matvieieva N.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyreva H.O., Bielikova O.Iu., Havryliuk O.A., Duplij V.P.: *Application of lignocellulosic substrate obtained after hydrogen dark fermentation of food waste as biofertilizer*, *Industrial biotechnology*, 2018, **14(6)**, 315-322. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.0008>.

Rozważano również możliwość niszczenia stałych odpadów organicznych, nie tylko poprzez fermentację wodorową, ale także poprzez fermentację metanową. Badano wzorce fermentacji mieszaniny odpadów symulującej odpady ze składowisk komunalnych. Optymalizację procesu przeprowadzono stosując granulowany preparat mikrobiologiczny i regulację metabolizmu mikroorganizmów. Pozwoliło to uzyskać metan na poziomie 12 L na kg odpadów, skracając czas niszczenia stałych odpadów organicznych 5-krotnie w porównaniu z procesem nieuregulowanym. Ponadto wykazano, że regulacja fermentacji pozwala na 14-krotne zwiększenie uzysku metanu podczas fermentacji jednego z najpowszechniejszych odpadów rolniczych, jakim jest obornik krowi. Dodatkowo zbadano podejście do bioremediacji środowiska poprzez fermentację odpadów organicznych bezpośrednio w zanieczyszczonej glebie.

Badania te zostały omówione w publikacjach:

1. **Hovorukha V.**, Havryliuk O., Gładka G., Bida I., Danko Ya., Shabliy O., Tashyrev O. *Gaseous fuel obtaining via fermentation of organic landfill waste*, *Ecological Engineering and Environment Protection*, 2021, **1**, 36-48. [doi.org/10.32006/eeep.2021.1.3648](https://doi.org/10.32006/eeep.2021.1.3648).

2. **Говоруха В.М.**, Гаврилюк О.А., Біда І.О., Гладка Г.В., Таширев О.Б.: *Оптимізація метанового зброджування сільськогосподарських відходів*, Agroecological Journal, 2022, **3**, 26-34. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266407>.
3. Havryliuk O., Bida I., **Hovorukha V.**, Bielaieva Y., Liubinska A., Gladka G., Kalinichenko A., Zaimenko N., Tashyrev O., Dziuba O.: *Application of Granular Microbial Preparation and Silicon Dioxide Analcime for Bioremediation of Ecocide Areas*, Sustainability 2024, **16**, 1097. <https://doi.org/10.3390/su16031097>.

Badanie mikroorganizmów metaloopornych, ich rozpowszechniania się, cech metabolicznych i sposobów detoksykacji metali ciężkich jest niezbędne dla rozwoju skutecznych biotechnologii ochrony środowiska. Badania przeprowadzono na mikroorganizmach odpornych na metale, które zostały wyizolowane z różnych ekosystemów ekstremalnych: Antarktyki, gleb subtropikalnych (Izrael), jaskiń krasowych i gleb regionów umiarkowanych (Ukraina, Bułgaria), mułu hipersalinowych jezior Krymu (Ukraina) i Morza Martwego (Izrael), wysokogórskich regionów Andów (Ekwador). Wykazano wysoką odporność mikroorganizmów gleb czarnoziemnych na związki Cu(II) w stężeniu do 10 000 mg/dm<sup>3</sup>, mikroorganizmów antarktycznych – do Hg(II) 500 mg/dm<sup>3</sup> i Cu(II) 15 500 mg/dm<sup>3</sup> itp.

Zbadano wyizolowane mikroorganizmy odporne na metale pod kątem opracowania metod immobilizacji metali i oczyszczania zbiorników wodnych oraz gleby. Badano czynniki oporności mikroorganizmów na metale oraz sposoby ich detoksykacji. Opracowano metody umożliwiające immobilizację metali w roztworach zarówno przy pomocy czystych kultur (np. *Clostridium butyricum* GMP1), jak i zbiorowisk mikroorganizmów. Zatem szczep *Clostridium butyricum* GMP1 całkowicie usunął Cr(VI) o stężeniu 100 mg/dm<sup>3</sup> po 10 godzinach hodowli. Związki Mo(VI) usunięto metodą redukcji przez 6 dni z wydajnością 25%. Społeczności mikroorganizmów fermentacji wodorowej i metanowej zapewniły szybkie usuwanie Cr(VI), Cu(II) i innych metali oraz oczyszczanie roztworu.

Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do dalszej optymalizacji i rozwoju biotechnologii ekologicznego oczyszczania ścieków z jednoczesnym niszczeniem stałych odpadów organicznych i syntezą wodoru.

Wyżej wymienione zagadnienia opublikowano w pracach:

1. Tashyrev O., Romanovskaya V., Rokitko P., Tashyreva H., Prytula I., Suslova O., **Govorukha V.**, Prekrasna Ie., Gladka G.: *Autecology and taxonomy of bacteria isolated from extreme environments*, Mikrobiol. Z., 2017, **79(1)**, 100-113. doi: <https://doi.org/10.15407/microbiolj79.01.100>.
2. Гаврилюк О.А., **Говоруха В.М.**, Таширев О.Б.: *Стійкість мікроорганізмів чорноземного ґрунту до розчинних сполук міді*, Збірник наукових праць «Фактори



- експериментальної еволюції організмів», 2018, **23**, 273-279. DOI: <https://doi.org/10.7124/FEEO.v23.1027>.
3. Сиома І.Б., **Говоруха В.М.**, Таширеві О.Б.: Ртуть-резистентні бактерії у екосистемах Антарктики, Збірник наукових праць «Фактори експериментальної еволюції організмів», 2018, **23**, 381-387. DOI: <https://doi.org/10.7124/FEEO.v23.1045>.
  4. Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Sachko A.V., Gladka G.V., Tashyrev O.B.: *Quantitative indicators of copper-resistant microorganisms distribution in natural ecosystems*, Biotechnologia Acta, 2021, **14(1)**, 69-80. <https://doi.org/10.15407/biotech14.01.69>.
  5. Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Patrauchan M., Youssef N., Tashyrev O.: *Draft whole genome sequence for four highly copper resistant soil isolates Pseudomonas lactis strain UKR1, Pseudomonas panacis strain UKR2, and Pseudomonas veronii strains UKR3 and UKR4*, Current Research in Microbial Sciences, 2020, **1**, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2020.06.002>.
  6. **Hovorukha V.** [et al.]: *Draft genome sequences of six strains isolated from the rhizosphere of wheat grown in cadmium-contaminated soil*, Microbiol. Resour. Announc., 2020, **9(34)**, 00676-20 <https://doi.org/10.1128/MRA.00676-20>.
  7. **Hovorukha V.M.**, Havryliuk O.A., Gladka G.V., Bida I.B., Tashyrev O.B.: *Interaction of obligate anaerobic destroyer of solid organic waste Clostridium butyricum GMP1 with soluble compounds of toxic metals Cr(VI), Mo(VI) and W(VI)*, Biotechnologia Acta, 2020, **13(5)**, 73-86. <https://doi.org/10.15407/biotech13.05.073>.
  8. **Hovorukha V.M.** *Universal biotechnology for treatment of toxic organic waste and metals with obtaining of valuable products*, Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr, 2023, **2**, 85-90. <https://doi.org/10.15407/visn2023.02.085>. (in Ukrainian).
  9. Bida I., Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Gladka G., Tashyrev O.: *Microbial bioremoval of divalent toxic metals*, Ecological Engineering and Environment Protection, 2023, **1**, 27-35. [doi.org/10.32006/eeep.2023.1.2735](https://doi.org/10.32006/eeep.2023.1.2735).
  10. Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Gladka G., Tashyrev O.: *Bioremoval of Copper(II) via hydrogen fermentation of ecologically hazardous multicomponent food waste*, Ecological Engineering and Environment Protection, 2020, **2**, 5-14. <https://doi.org/10.32006/eeep.2020.2.0514>.
  11. **Hovorukha V.M.**, Havryliuk O.A., Gladka G.V., Tashyrev O.B.: *The bioremoval of toxic Chromium(VI) via dark hydrogen fermentation of multicomponent organic waste*, Biotechnologia Acta, 2020, **13(4)**, 49-59. <https://doi.org/10.15407/biotech13.04.049>.
  12. Tashyrev O., **Hovorukha V.**, Shevel V., Havryliuk O., Sioma I.: *Development of novel universal biotechnologies for obtaining valuable products from a wide range of wastes*, Ecological Engineering and Environment Protection, 2020, **1**, 5-17. [doi.org/10.32006/eeep.2020.1.0517](https://doi.org/10.32006/eeep.2020.1.0517).
  13. **Hovorukha V.**, Tashyrev O., Shevel V.: *Novel biotechnologies for purification of radioactive wastewater*, Journal of condensed matter nuclear science, 2019, **28**, 53-55.
  14. Tashyrev O., **Hovorukha V.**, Matvieieva N., Havryliuk O.: *Thermodynamic prognosis for novel environmental biotechnologies of radioactive waste water purification*, Journal of condensed matter nuclear science, 2019, **28**, 50-52.
  15. Sioma I.B., Tashyrev A.B., **Hovorukha V.M.**, Prekrasna Y.P.: *Toxic metals extraction during potato fermentation*, Ecological Engineering and Environment Protection, 2017, **VIII**, 62-67. <http://ecoleng.org/archive/2017/1/62-67.pdf>.
  16. Tashyrev O., **Hovorukha V.**, Suslova O., Tashyreva H.: *Thermodynamic prediction for development of novel environmental biotechnologies and valuable products from waste obtaining*, Ecological Engineering and Environment Protection, 2018, **1**, 24-35. [doi.org/10.32006/eeep.2018.1.2435](https://doi.org/10.32006/eeep.2018.1.2435).

17. **Hovorukha V.**, Havryliuk O., Tashyreva H., Tashyrev O., Sioma I.: *Thermodynamic substantiation of integral mechanisms of microbial interaction with metals*, Ecological Engineering and Environment Protection, 2018, **2**, 55-63. doi.org/10.32006/eeep.2018.2.5563.
18. **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B.: *Thermodynamic prognosis of the efficiency of toxic metals extraction from the solution by microorganisms and their genetic potential*, Збірник наукових праць «Фактори експериментальної еволюції організмів», 2018, **23**, 357-363.

Dodatkowe aspekty badań obejmowały badanie odporności mikroorganizmów na promieniowanie UV, związki nitrochloroaromatyczne, a także aktywność enzymatyczną psychrotolerancyjnych bakterii antarktycznych, aktywność hydrolityczną bakterii chemoorganotroficznych, reakcji *Rhizoctonia solani* AG 2-2IIIIB na czynniki ekstremalne, kontroli *Caenorhabditis elegans* N2.

Badania te zostały opisane w publikacjach:

1. Gladka G., **Hovorukha V.**, Romanovskaya V., Tashyrev O.: *Correlation Between Resistance to UV Irradiation and the Taxonomic Position of Microorganisms*. Environmental Research, Engineering and Management. 2021, **77(1)**, 67-75. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.77.1.23832>.
2. Iungin O., **Govorukha V.**, Tashyrev O.: *Rhizospheric bacteria for destruction of nitrochloroaromatic compounds*, Journal of Environmental Research, Engineering and Management, 2018; **74(3)**, 80-86. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.74.3.21069>.
3. Borzova N.V., Gladka G.V., Gudzenko O.V., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B.: *Enzymatic activity of psychrotolerant antarctic bacteria*, Mikrobiol. Zhurnal, 2021, **83(2)**, 3-11. <https://doi.org/10.15407/microbiolj83.02.003>.
4. Gladka G.V., Borzova N.V., Gudzenko O.V., **Hovorukha V.M.**, Havryliuk O.A., Shablii O.V., Yastremska L.S., Tashyrev O.B.: *Ecophysiological Properties and Hydrolytic Activity of Chemoorganotrophic Bacteria from Holesiivskyi National Nature Park*, Mikrobiol. Z., 2022, **84(4)**, 48-58. doi: <https://doi.org/10.15407/microbiolj84.04.048>.
5. **Hovorukha V.**, Tashyrev O., Kalinichenko A., Moliszewska E.: *Preservation of food sugar beet via the control of Rhizoctonia solani AG 2-2IIIIB by extreme factors*, Appl. Sci., 2023, **13**, 6362. <https://doi.org/10.3390/app13116362>.
6. Tashyrev O., **Hovorukha V.**, Kudrys P., Khokhlenkova N., Moliszewska E.: *An Approach for the Control of Caenorhabditis elegans N2 via the Regulation of Growth Conditions and Pleurotus ostreatus Po4*, Resources, 2023, **12**, 141. <https://doi.org/10.3390/resources12120141>.



## 5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

### 5.1. Granty badawcze

Od 2016 r., tj. po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, brałam/biorę czynny udział w 12 projektach badawczych, w 5 byłam głównym wykonawcą, a w 7 – wykonawcą.

#### Projekty zrealizowane:

1. **Wykonawca** (2015-2017 r.) wspólnego ukraińsko-indyjskiego projektu badawczego na lata 2015-2017 pt: „*Development of microbial technology for accelerated multi-component municipal organic waste recycling*”, No M/82-2015 (22.10.2015), M/79-2016 (25.07.2016), M/173-2017 (08.09.2017).
2. **Wykonawca** (2015-2017 r.) grantu badawczego współfinansowanego ze środków U.S. Civilian Research and Development Foundation (CRDF Global) i Ministerstwa Edukacji i Nauki Ukrainy pt: „*Organization of industrial microbial preparation to obtain energy sources from organic waste*”, No M/83-2015 (22.10.2015), M/80-2016 (25.07.2016), M/216-2017 (27.11.2017).
3. **Główny wykonawca** (2016-2018) grantu badawczego ukierunkowanego kompleksowego programu badań podstawowych Narodowej Akademii Nauk Ukrainy „Podstawowe aspekty odnawialnych źródeł energii wodorowej i technologii ogniw paliwowych” pt: „*Development of regime molecular hydrogen obtaining with maximum destruction of food waste, national project*”, No 2–16 (10.06.2016), 2–17 (01.03.2017), 2–18 (01.03.2018).
4. **Główny wykonawca** (2017-2018) grantu badawczego finansowanego ze środków U.S. Civilian Research and Development Foundation (CRDF Global) pt: „*Transcriptomic responses of beneficial rhizobacteria to root exudates and environmental pollutants*”, No OISE-16-62773-0 (22.12.2016).
5. **Główny wykonawca** (2018) grantu badawczego ukierunkowanego kompleksowego programu badań podstawowych Narodowej Akademii Nauk Ukrainy „Podstawowe aspekty odnawialnych źródeł energii wodorowej i technologii ogniw paliwowych” pt: „*Development of a universal installation for the production of biohydrogen from multicomponent organic waste*”, No 2–18 (03.09.2018).

6. **Główny wykonawca** (2019-2020) grantu badawczego finansowanego ze środków U.S. Civilian Research and Development Foundation (CRDF Global) pt: „*Characterization and optimization of microbial preparation for the production of hydrogen gas from ecologically hazardous food waste*”, No FSA3-19-65807-0 (07.11.2019).
7. **Wykonawca** (2020) projektu naukowo-technicznego instytucji Narodowej Akademii Nauk Ukrainy w roku 2020 pt: „*Development of the method of accelerated bioremediation of landfills of household organic waste with the production of biofuel*”, No 06.28 (03.02.2020).
8. **Główny wykonawca** (2019-2021) grantu badawczego ukierunkowanego kompleksowego programu badań podstawowych Narodowej Akademii Nauk Ukrainy „*Opracowanie naukowych zasad pozyskiwania, magazynowania i wykorzystania wodoru w autonomicznych systemach zasilania energią*” pt: „*Obtaining of engineering and technological indicators of experimental-industrial technology of biohydrogen synthesis*”, No 1–19 (03.06.2019), 1–20 (10.03.20), 1–21 (09.03.21).
9. **Wykonawca** (2022) grantu badawczego finansowanego ze środków Programu Fundacji Kościuszkowskiej “Freedom starts with your mind” rok 2022 pt: „*Treatment of solid and liquid organic waste with obtaining of energy and valuable products*”, No 2022/04/06.
10. **Wykonawca** (2022-2023) grantu badawczego finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki pt: „*Application of abiotic and biotic extreme factors for the isolation of microorganisms for the control of pathogenic fungus *Rhizoctonia solani* AG 2-2IIIB*” No UOM-2022/01/3/NZ9/00101.
11. **Wykonawca** (2023-2024) grantu badawczego finansowanego ze środków Programu EMBO Solidarity Grants pt: „*Antibiotic and metal resistance of bacteria. If there is a hazard to human health?*”, No SLG 5434-2023 (12.05.2023).

**Projekty w realizacji:**

1. **Wykonawca** (2024-2025) grantu badawczego finansowanego ze środków Programu Wspólne projekty badawcze NAWA pomiędzy Rzeczpospolitą Polską a Słowacją pt: „*Reakcja mikroorganizmów na fitosyntetyzowane nanocząstki metali*”, No BPN/BSK/2023/1/00027/U/00001.

**Badania realizowane w ramach grantów były finansowane, m.in.:**

- ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki Ukrainy;
- ze środków U.S. Civilian Research and Development Foundation (CRDF Global);
- ze środków Narodowej Akademii Nauk Ukrainy;
- ze środków ukierunkowanego kompleksowego programu badań podstawowych Narodowej Akademii Nauk Ukrainy „Podstawowe aspekty odnawialnych źródeł energii wodorowej i technologii ogni w paliwowych”;
- ze środków ukierunkowanego kompleksowego programu badań podstawowych Narodowej Akademii Nauk Ukrainy „Opracowanie naukowych zasad pozyskiwania, magazynowania i wykorzystania wodoru w autonomicznych systemach zasilania energią”;
- ze środków Programu Fundacji Kościuszkowskiej “Freedom starts with your mind” rok 2022;
- ze środków Narodowego Centrum Nauki;
- ze środków Programu EMBO Solidarity Grants;
- ze środków Programu Wspólne projekty badawcze NAWA pomiędzy Rzeczpospolitą Polską a Słowacją.

W ramach realizowanych grantów współpracowałam, m.in. z naukowcami z Instytutu Gazowego Narodowej Akademii Nauk Ukrainy (Ukraina), Instytutu Mikrobiologii i Wirologii im. D.K. Zabołotnego Narodowej Akademii Nauk Ukrainy (Ukraina), Uniwersytetu Południowego Mississipi (USA), Uniwersytetu Opolskiego (Polska), Uniwersytetu Preszowskiego w Preszowie (Słowacja).

## **5.2. Wystąpienia na konferencjach**

Mój dorobek naukowy zaprezentowano na konferencjach międzynarodowych i krajowych przed uzyskaniem stopnia doktora w formie referatów – **6 razy** i posterów – **5 razy**, a po uzyskaniu stopnia doktora w formie referatów – **52 razy** i posterów – **11 razy**. Łącznie osobiście prezentowałam **11** doniesień naukowych i **6** posterów oraz brałam udział w **37** konferencjach naukowych:

1. Third national conference with international participation “Ecological engineering and environmental protection”, Sofia, Bulgaria, 13-14.06.2013.

2. II International scientific and practical conference "Newest achievements of biotechnology", Kyiv, Ukraine, 24-25.10.2013.
3. XIV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Polit. Modern problems of science", Kyiv, Ukraine, 2-3.04.2014.
4. International scientific conference "Microbiology and immunology - development prospects in the 21st century. Immunology and Allergology: Science and Practice", Kyiv, Ukraine, 10-11.04.2014.
5. XVIII International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Ecology. Human. Society", Kyiv, Ukraine.
6. III International Scientific and Practical Conference dedicated to the 10th anniversary of the Department of Biotechnology of the National Aviation University and the 175th anniversary of the Department of Pharmacology of the National Medical University named after O.O. Bogomolets "The latest achievements of biotechnology and nanopharmacology", 22-23.10.2015, Kyiv, Ukraine.
7. V International Conference of Young Scientists "Biology: from the molecule to the biosphere", Kharkiv, Ukraine, 22-25.11.2010.
8. VII International Conference of Young Scientists "Biology: from the molecule to the biosphere", Kharkiv, Ukraine, 20-23.11.2012.
9. VIII International Conference of Young Scientists "Biology: from the molecule to the biosphere", Kharkiv, Ukraine, 3-6.12.2013.
10. IX International Conference of Young Scientists "Biology: from the molecule to the biosphere", Kharkiv, Ukraine, 18-20.11.2014.
11. Reporting session of the Targeted Comprehensive Program of Scientific Research of the National Academy of Sciences of Ukraine "Fundamental aspects of renewable hydrogen energy and fuel cell technologies", Kyiv, Ukraine, 2016, 2017.
12. Fifth International Conference "Ecological Engineering and Environment Protection" (EEEP'2017), Plovdiv, Bulgaria, June 5-7, 2017.
13. 7th International Weigl conference, Lviv, Ukraine, September 26-29th, 2017.
14. International Conference "Advances in Microbiology and Biotechnology", Lviv, Ukraine, October 29-31, 2018.
15. International Symposium on the Application of Microorganisms for the Radioactive Waste Treatment, Busan, Korea, May 18, 2018.
16. 2nd International Conference „Smart Bio“, Kaunas, Lithuania, May 3-5, 2018.

17. The Fourth China-Ukraine Forum on Science and Technology, Harbin, China, September 14-20, 2018.
18. 3rd International Conference „Smart Bio“, Kaunas, Lithuania, May 2-4, 2019.
19. Sixth International Conference with Youth Scientific Session “Ecological engineering and environment protection” (EEEP'2019), Burgas, Bulgaria, June 5-7, 2019.
20. V All-Polish scientific-practical conference "Renewable energy sources - theory and practice", Opole, Poland, October 9-12, 2019.
21. IV International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 15th Anniversary of the Department of Biotechnology of the National Aviation University, Kyiv, Ukraine, September 23, 2020.
22. XXI International Science Conference «Ecology. Human. Society», Kyiv, Ukraine, May 21-22, 2020.
23. 2nd young scientists conference “Youth and modern problems of microbiology and virology”, Kyiv, Ukraine, November 23-26, 2020.
24. Seventh International Conference with Youth Scientific Session “Ecological engineering and environment protection” (EEEP'2021), Varna, Bulgaria 30 September - 3 October, 2021.
25. International Forum on Climate Change and Sustainable Development: New Challenges of the Century, Mykolaiv, Ukraine, September 9-11, 2021.
26. III Scientific and practical Conference of young researchers “Youth and Modern Problems of Microbiology and Virology“, Kyiv, Ukraine, November 9-11, 2021.
27. International Conference “Trends in education & DidMatTech”, Olomouc, Czech Republic, May 4-6, 2022.
28. All-Ukrainian Conference on Molecular and Cell Biology with international participation, dedicated to the heroic struggle of the Ukrainian people against the Russian invaders, Kyiv, Ukraine, June 15-16, 2022.
29. IV International Scientific Conference "Microbiology and Immunology - the development outlook in the 21 century", Kyiv, Ukraine, September 22-23, 2022.
30. VI International Scientific Conference "Latest Achievements of Biotechnology", September 23-24, 2022, Kyiv, Ukraine.
31. IV Young scientists conference “Youth and modern problems of microbiology and virology” Kyiv, Ukraine, November 15-17, 2022.
32. International Conference “Trends in education: STEAM as a Challenge for Innovations in Education, Olomouc, Czech Republic 26-28 April, 2023.

33. II Konferencja Naukowo-Techniczna „Nauka-Technologia-Środowisko”, 27-29.09.2023, Wisła, Polska.
34. VII International Scientific Conference "Latest Achievements of Biotechnology", 21-22.09.2023, Kyiv, Ukraine.
35. International Scientific and Practical Conference “Modern aspects of microbiology, virology and biotechnology in wartime and post-war period”, 15-16.11.2023, Kyiv, Ukraine.
36. XXIII International Science Conference «Ecology. Human. Society», 07.12.2023, Kyiv, Ukraine.
37. International Conference “Trends in Education 2024”, 22-24.04.2024, Ołomuniec, Czechy.

### 5.3. Recenzje artykułów naukowych

Byłam recenzentką 12 artykułów naukowych dla czasopism: *Mikrobiologichnyi Zhurnal*, *Journal of Marine Science and Engineering*, *Agriculture, Sustainability*, *Microorganisms*, *Applied Sciences*, *Forests*.

### 5.4. Staże naukowe

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora odbyłam dwa kilkutygodniowe staże naukowe:

- Pięćtygodniowy staż w The University of Southern Mississippi, Hattiesburg, USA w ramach projektu pt: „*Transcriptomic responses of beneficial rhizobacteria to root exudates and environmental pollutants*”, No OISE-16-62773-0 (październik-listopad 2017).
- Czterytygodniowy staż w The University of Southern Mississippi, Hattiesburg, USA w ramach projektu pt: „*Characterization and optimization of microbial preparation for the production of hydrogen gas from ecologically hazardous food waste*”, No FSA3-19-65807-0 (styczeń-luty 2020).

Potwierdzenia odbycia staży naukowych zostały zamieszczone w załączniku nr 7.

Ponadto byłam członkiem zespołu badawczego realizującego współpracę z przedsiębiorstwem УНІВЕРСАЛІАБ (Umowa No 128-2019 zawarta w dniu 26.09.2019) w

zakresie opracowania metod selekcji czystych kultur i sposobów laboratoryjno-przemysłowej hodowli wyspecjalizowanych mikroorganizmów z substratu biogazowni, a w 2020 r. uczestniczyłam w warsztatach z metodologii Lean Startup - „GIST Innovates Ukraine 2020”, zorganizowanych przez Departament Stanu Stanów Zjednoczonych (załącznik 8). Celem tego szkolenia było omówienie czynności umożliwiających wdrożenie bioreaktorów małopojemnościowych w celu unieszkodliwiania odpadów w gospodarstwach domowych.

### **5.5. Nagrody i wyróżnienia**

W 2018 roku otrzymałam Nagrodę Narodowej Akademii Nauk Ukrainy dla młodych naukowców „Talent, inspiracja, praca”, a w 2021 roku – Nagrodę Rady Najwyższej Ukrainy dla młodych naukowców za rok 2020 za znaczące osiągnięcia naukowe (załącznik 8).

W latach 2017-2019 otrzymałam Stypendium Narodowej Akademii Nauk Ukrainy dla młodych naukowców, a w latach 2019-2021 – Stypendium Prezydenta Ukrainy za aktywność naukowo-badawczą.

## **6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.**

Po uzyskaniu stopnia doktora w 2016 r. w ramach działalności dydaktycznej prowadziłam zajęcia na Państwowym Uniwersytecie Lotniczym w Kijowie, z przedmiotów: „Mikrobiologia molekularna”, „Nowe trendy w biotechnologiach środowiskowych”, „Ekologia mikroorganizmów”, „Życie bez tlenu: fizjologia mikroorganizmów beztlenowych”, „Mikroorganizmy ekstremofilne w biotechnologii”. Do wyżej wymienionych przedmiotów opracowałam sylabusy.

W 2018 roku uczestniczyłam w programie Global Initiative of Academic Networks (GIAN) jako współautor kursu lekcyjnego *“Application of thermodynamic prediction for development of microbial biotechnological approaches”* realizując część wykładów i zajęć laboratoryjnych na Guru Jambheshwar University of Sc. & Tech. (Hisar, India).

Pełniłam obowiązki tutora praktyki zawodowej 5 studentów oraz 5 licencjatskich i 5 magisterskich prac studentów Państwowego Uniwersytetu Lotniczego (Kijów, Ukraina), Kijowskiego Uniwersytetu Narodowego im. Tarasa Szewczenki (Kijów, Ukraina),



Narodowego Uniwersytetu Technicznego Ukrainy „Ihor Sikorsky Kijowski Instytut Politechniczny” (Kijów, Ukraina).

Byłam współorganizatorem kształcenia naukowo-metodologicznego w Uniwersytecie Opolskim "Methods of analysis and treatment of drinking water in urbanized areas", 12-16.02.2024. Projekt realizowany był w ramach Programu Stypendialnego im. Lane'a Kirklanda, administrowanego przez Fundację Liderzy Przemian i finansowanego przez Polsko-Amerykańską Fundację Wolności. Brałam również udział w przygotowaniu wykładów na kursach: „Przedmiot w języku obcym nowożytnym”, „Kurs w języku nowożytnym”, „Inżynieria bioreaktorów”, „Biotechnologia w przemyśle”, oraz w organizacji laboratorium z przedmiotu „Biotechnologia w przemyśle”.

Uczestniczyłam w organizacji 21 Opolskiego festiwalu nauki. Brałam udział w wydarzeniach popularyzujących naukę: Noc Nauki (17.05.2024) oraz Opolskim Piknikiem Naukowym (08.06.2024), gdzie popularyzowałam zagadnienia związane z wykorzystaniem mikroorganizmów w procesach unieszkodliwiania odpadów organicznych.

Byłam również opiekunką naukową doktorantki Olesi Havryliuk (praca doktorska pt.: *Spread of copper-resistant microorganisms and prospects of their application for environmental protection*), której obrona odbyła się 17.11.2022 r. Obecnie jestem opiekunką naukową doktorantki Iryny Bidy (praca doktorska pt.: *Microbial removal of divalent ions of toxic metals*).

Jestem członkiem Towarzystwa Mikrobiologów Ukrainy imienia S. M. Vinogradskiego, które zajmuje się rozwojem nauki, popularyzacją nauki w społeczeństwie i wspieraniem młodych naukowców.

## 7. Inne informacje – wskaźniki bibliometryczne

**Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora** mój dorobek naukowy wynosił: **8** publikacji w recenzowanych czasopismach naukowych, w tym **1** artykuł w czasopiśmie indeksowanym w bazie JCR, oraz **11** streszczeń w materiałach konferencyjnych. Według punktacji MNiSW, przypisanej zgodnie z rokiem opublikowania poszczególnych prac, suma punktów MNiSW wynosi **28**,  $IF = 0$ .

**Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora** byłam autorem lub współautorem **97** publikacji w tym **15** publikacji indeksowanych w bazie JCR, **29** publikacji w innych

recenzowanych czasopismach naukowych, 3 rozdziały w monografiach, oraz 50 streszczeń w materiałach konferencyjnych.

Zestawienie dorobku przedstawiłam w tabeli 3.

**Tabela 3. Zestawienie dorobku naukowego wg wskaźników bibliometrycznych; w nawiasach podano liczbę publikacji**

Dorobek naukowy	Publikacje zgłoszone do osiągnięcia naukowego		Pozostałe publikacje				Razem	
	Po uzyskaniu stopnia doktora		Przed uzyskaniem stopnia doktora		Po uzyskaniu stopnia doktora			
	IF	Pkt.	IF	pkt.	IF	pkt.	IF	pkt.
Publikacje opublikowane w czasopismach z bazy JCR	27,004 (9)	850 (9)	0,0 (1)	4 (1)	9,9 (6)	320 (6)	36,904 (16)	1174 (16)
Publikacje opublikowane w czasopismach o zasięgu krajowym i międzynarodowym	-	40 (1)	-	24 (7)	-	153 (28)	-	217 (36)
Rozdziały w monografiach	-	-	-	-	-	15 (3)	-	15 (3)
Streszczenia konferencyjne	-	-	-	- (11)	-	- (50)	-	- (61)
<b>Podsumowanie</b>	<b>27,004 (9)</b>	<b>890 (10)</b>	<b>0,0 (1)</b>	<b>28 (19)</b>	<b>9,9 (6)</b>	<b>488 (87)</b>	<b>36,904 (16)</b>	<b>1406 (116)</b>
	<b>IF = 27,004 (9) MNiSW 890 (10)</b>		<b>IF = 9,9 (7) MNiSW 516 (103)</b>					

\* Impact Factor (IF) przyznany za rok publikacji albo są najnowszym spośród dostępnych w chwili pisania

\*\*Wartość punktacji wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (pkt. MNiSW). Punkty przyznane za rok publikacji, w nawiasach podano liczbę publikacji

Łączna punktacja za publikacje przed i po uzyskaniu stopnia doktora wynosi: **IF = 36,904, punkty MNiSW = 1406.**

Index Hirscha według bazy Web of Science wynosi **5** (na dzień 21.10.2024). Liczba cytowań według bazy Web of Science wynosi **62** (na dzień 21.10.2024), a z pominięciem autocytowań – **33** (na dzień 21.10.2024). Index Hirscha na podstawie bazy Scopus wynosi **6** (na dzień 21.10.2024), liczba cytowań wynosi **113** (na dzień 21.10.2024), z pominięciem autocytowań – **65** (na dzień 21.10.2024).



PODPIS ZAUFANY

VIRA  
HOVORUKHA  
26.10.2024 16:51:48 [GMT+2]  
Dokument podpisany elektronicznie  
podpisem zaufanym

.....  
(podpis wnioskodawcy)

## **Załącznik 4**

# **Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny**

**dr Vira Hovorukha**

Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii

Wydział Przyrodniczo-Techniczny

Uniwersytet Opolski

ul. Kardynała Bolesława Kominka 6a,

46-020 Opole

Opole 2024

**I. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH,  
O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY**

**Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1.  
pkt 2b ustawy**

Tytuł osiągnięcia naukowego:

**ZASTOSOWANIE METOD MIKROBIOLOGICZNYCH DO UTYLIZACJI  
ODPADÓW ORGANICZNYCH Z RÓWNOCZESNĄ PRODUKCJĄ WODORU  
I UNIECZYNNIANIEM AKTYWNYCH FORM METALI CIĘŻKICH**

Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

L.p.	Wyszczególnienie	Wskaźniki naukometryczne
No1	<b>Hovorukha V.:</b> <i>The effect of fermentation modes on the efficiency of organic waste treatment in batch bioreactors</i> , Archives of Environmental Protection, 2024, <b>50(1)</b> , 80-86. <a href="https://doi.org/10.24425/aep.2024.149434">https://doi.org/10.24425/aep.2024.149434</a> .	IF 2022* = <b>1,5</b> Pkt. MNiSW** <b>100</b>
	<i>Artykuł napisany przez jednego autora, który przeprowadził badania, przeanalizował wyniki i literaturę, napisał i zredagował artykuł.</i>	
No2	Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b> , Gładka G., Tymoshenko A.; Kyrylov S.; Shabliy O., Bida I., Mariychuk R., Tashyrev O.: <i>A noxious weed <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. (ragweed) as sustainable feedstock for methane production and metals immobilization</i> , Sustainability, 2023, <b>15</b> , 6696. <a href="https://doi.org/10.3390/su15086696">https://doi.org/10.3390/su15086696</a> .	IF 2022 = <b>3,9</b> Pkt. MNiSW <b>100</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Udział w analizie literatury, prowadzeniu badań dynamiki fermentacji biomasy roślinnej, analizie wyników badań, sformułowaniu treści pracy, przygotowaniu tekstu do publikacji.</i>	
No3	Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b> , Bida I., Gładka G., Tymoshenko A., Kyrylov S., Mariychuk R., Tashyrev, O.: <i>Anaerobic degradation of the invasive weed <i>Solidago canadensis</i> L. (goldenrod) and copper immobilization by a community of sulfate-reducing and methane-producing bacteria</i> , Plants, 2023, <b>12</b> , 198. <a href="https://doi.org/10.3390/plants12010198">https://doi.org/10.3390/plants12010198</a> .	IF 2022 = <b>4,5</b> Pkt. MNiSW <b>70</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Udział w projektowaniu eksperymentu, analizie wyników badań, obliczanie wydajności fermentacji substratu, wykreślanie dynamiki parametrów fermentacji, udział w przygotowaniu materiałów do publikacji.</i>	

No4	<p><b>Hovorukha V.</b>, Havryliuk O., Gladka G., Kalinichenko A., Sporek M., Stebila J., Mavrodi D., Mariychuk R., Tashyrev O.: <i>Detoxification of copper and chromium via dark hydrogen fermentation of potato waste by Clostridium butyricum strain 92</i>, Processes, 2022, <b>10</b>, 170. <a href="https://doi.org/10.3390/pr10010170">https://doi.org/10.3390/pr10010170</a>.</p>	IF 2022 = <b>3,5</b> Pkt. MNiSW <b>70</b>
	<p><i>Mój wkład w powstanie pracy:</i>  <i>Udział w stworzeniu koncepcji pracy, projektowaniu i prowadzeniu eksperymentu, w badaniach dynamiki oddziaływania Clostridium butyricum szczep 92 ze związkami miedzi i chromu, analizie wyników badań oraz napisaniu manuskryptu.</i></p>	
No5	<p>Tashyrev O., <b>Hovorukha V.</b>, Havryliuk O., Sioma I., Gladka G., Kalinichenko O., Włodarczyk P., Suszanowicz D., Zhuk H., Ivanov Y.: <i>Spatial succession for degradation of solid multicomponent food waste and purification of toxic leachate with the obtaining of biohydrogen and biomethane</i>, Energies, 2022, <b>15</b>, 911. <a href="https://doi.org/10.3390/en15030911">https://doi.org/10.3390/en15030911</a>.</p>	IF 2022 = <b>3,2</b> Pkt. MNiSW <b>140</b>
	<p><i>Mój wkład w powstanie pracy:</i>  <i>Udział w stworzeniu koncepcji pracy, analizie literatury, projektowaniu i prowadzeniu eksperymentu, badanie dynamiki fermentacji wodorowej odpadów organicznych i efektywności procesu, udział w analizie wyników badań oraz napisaniu i edycji manuskryptu.</i></p>	
No6	<p>Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b>, Bida I., Danko Y., Gladka G., Zakutevsky O., Mariychuk R., Tashyrev O.: <i>Bioremediation of copper- and chromium- contaminated soils using Agrostis capillaris L., Festuca pratensis Huds., and Poa pratensis L. mixture of lawn grasses</i>, Land, 2022, <b>11</b>, 623. <a href="https://doi.org/10.3390/land11050623">https://doi.org/10.3390/land11050623</a>.</p>	IF 2022 = <b>3,9</b> Pkt. MNiSW <b>70</b>
	<p><i>Mój wkład w powstanie pracy:</i>  <i>Udział w projektowaniu i zarządzaniu eksperymentem, analizie materiałów i literatury, skuteczności akumulacji metali toksycznych w trawie, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu publikacji do druku.</i></p>	
No7	<p>Havryliuk O.A., <b>Hovorukha V.M.</b>, Sachko A.V., Gladka G.V., Bida I.O., Tashyrev O.B.: <i>Bioremoval of hazardous cobalt, nickel, chromium, copper and cadmium compounds from contaminated soil by Nicotiana tabacum plants and associated microbiome</i>, Biosyst. Divers., 2021, <b>29(2)</b>, 88–93. <a href="https://doi.org/10.15421/012112">https://doi.org/10.15421/012112</a>.</p>	IF 2021 = <b>0</b> Pkt. MNiSW <b>20</b>
	<p><i>Mój wkład w powstanie pracy:</i>  <i>Współautor koncepcji pracy, udział w badaniach skuteczności akumulacji metali w roślinach oraz oporności mikroorganizmów glebowych na metale, analizie wyników, edytowaniu manuskryptu.</i></p>	

No8	Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b> , Savitsky O., Trilis V., Kalinichenko A., Dołhańczuk-Śródka A., Janecki D., Tashyrev O.: <i>Anaerobic degradation of environmentally hazardous aquatic plant Pistia stratiotes and soluble Cu(II) detoxification by methanogenic granular microbial preparation</i> , Energies, 2021, <b>14 (13)</b> , 3849. <a href="https://doi.org/10.3390/en14133849">https://doi.org/10.3390/en14133849</a> .	IF 2021 = <b>3,252</b>  Pkt. MNiSW <b>140</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w projektowaniu i prowadzeniu eksperymentu, analizie wyników, badaniu wydajności fermentacji Pistia stratiotes, sformułowaniu wniosków, napisaniu, edytowaniu i przygotowaniu publikacji do druku.</i>	
No9	<b>Hovorukha V.</b> , Havryliuk O., Gładka G., Tashyrev O., Kalinichenko A., Sporek M., Dołhańczuk-Śródka A.: <i>Hydrogen dark fermentation for degradation of solid and liquid food waste</i> , Energies, 2021, <b>14(7)</b> , 1831. <a href="https://doi.org/10.3390/en14071831">https://doi.org/10.3390/en14071831</a> .	IF = <b>3,252</b>  Pkt. MNiSW <b>140</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, prowadzenie badań, przygotowanie granulowanego preparatu mikrobiologicznego, badanie dynamiki fermentacji płynnych odpadów spożywczych, udział w analizie wyników efektywności fermentacji stałych odpadów spożywczych, sformułowanie wniosków, analiza literatury, napisanie i edytowanie manuskryptu.</i>	
No10	<b>Hovorukha V.</b> , Tashyrev O., Havryliuk O., Iastremska L. <i>High efficiency of food waste fermentation and biohydrogen production in experimental-industrial anaerobic batch reactor</i> , The Open Agriculture Journal, 2020, 14, 174-186. DOI: <a href="https://doi.org/10.2174/1874331502014010174">10.2174/1874331502014010174</a> .	IF = <b>brak</b>  Pkt. MNiSW <b>40</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w projektowaniu i prowadzeniu eksperymentu, analizie wyników, obliczanie efektywności fermentacji substratu, sformułowanie wniosków, analiza literatury, napisanie oraz edytowanie manuskryptu.</i>	

\* Impact Factor (IF) przyznany za rok publikacji albo najnowszy spośród dostępnych w chwili pisania

\*\*Wartość punktacji wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (pkt. MNiSW). Punkty przyznane za rok publikacji

Sumaryczny IF według bazy Journal Citation Reports (JCR) powyższych prac wynosi: **27,004**.

Sumaryczna liczba punktów MEiN wynosi: **890**.

## II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ

### 1. Wykaz opublikowanych monografii naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.1).

-

### 2. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.

L.p.	Wyszczególnienie	Punkty*
1.	Таширев О.Б., <b>Говоруха В.М.</b> , Гаврилюк О.А., Сіома І.Б., Матвеева Н.А., Таширева Г.О., Ястремська Л.С., Белікова О.Ю.: <i>Розробка біотехнології отримання молекулярного водню при максимальній деструкції харчових відходів</i> , rozdział w: <i>Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої енергетики і паливно-комірчаних технологій</i> , Скороход В. і Солонін Ю. (red.), КІМ, Кіjów 2018, Str. 15-25.	5
	<i>Мій wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w zebraniu próbek i wykonaniu pomiarów, przygotowanie tekstu do publikacji.</i>	
2.	Singh N., Devi A., Bishnoi M.B., Jaryal R., Dahiya A., Tashyrev O., <b>Govorukha V.</b> : <i>Overview of the Process of Enzymatic Transformation of Biomass</i> , rozdział w: <i>Elements of Bioeconomy</i> Edited by Krzysztof Biernat, IntechOpen Limited, London 2019, Str. 1-30. DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.85036">http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.85036</a> .	5
	<i>Мій wkład w powstanie pracy:</i> <i>Udział w analizie literatury, przygotowaniu tekstu do publikacji.</i>	
3.	Tashyrev O., <b>Hovorukha V.</b> , Havryliuk O., Gladka G., Bida I., Danko Ya., Shabliy O.: <i>Obtaining of fermentation parameters of experimental-industrial technology for synthesis of biohydrogen</i> , rozdział w: <i>Водневі технології. Зберігання енергії: стан та перспективи розвитку</i> , Яртись В.А., Солонін Ю.М., Завалій І. Ю. (red.), Простір-М, Lwów 2021, Str. 107-113.	5
	<i>Мій wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w zebraniu próbek i wykonaniu pomiarów, sformułowanie treści pracy, przygotowanie tekstu do publikacji.</i>	
<b>Punktacja razem:</b>		<b>15</b>

\* Wartość punktacji wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (pkt. MNiSW). Punkty przyznane za rok publikacji

### 3. Wykaz członkostwa w redakcjach naukowych monografii.

-

### 4. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.2).



**WYKAZ PRAC OPUBLIKOWANYCH PRZED UZYSKANIEM STOPNIA  
DOKTORA**

(przed 29.09.2016)

**Publikacje opublikowane w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR)**

<b>L.p.</b>	<b>Wyszczególnienie</b>	<b>Punkty*</b>	<b>IF**</b>
1.	Suslova O., <b>Govorukha V.</b> , Brovarskaya O., Matveeva N., Tashyreva H., Tashyrev O.: <i>Method for Determining Organic Compound Concentration in Biological Systems by Permanganate Redox Titration</i> , Int.J. Bioautomation 2014, <b>18(1)</b> , 45-52.	4	0,0
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, prowadzenie badań, udział w analizie wyników i sformulowaniu wniosków, napisaniu manuskryptu.</i>		
<b>Punktacja razem:</b>		<b>4</b>	<b>0,0</b>

\* Wartość punktacji wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (pkt. MNiSW). Punkty przyznane za rok publikacji

\*\* Impact Factor (IF) przyznany za rok publikacji albo najnowszy spośród dostępnych w chwili pisania

**Publikacje opublikowane w czasopismach o zasięgu krajowym i międzynarodowym**

<b>L.p.</b>	<b>Wyszczególnienie</b>	<b>Punkty*</b>
1.	<b>Govorukha V.</b> , Tashyrev O.: <i>Thermodynamic prognosis for assessing the role of Fe(III)-reducing bacteria in biogeochemical cycles of iron and carbon</i> , Ecological Engineering and Environment Protection 2014, <b>3-4</b> , 45-54.	4
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Udział w projektowaniu eksperymentu, prowadzenie badań, udział w analizie wyników i sformulowaniu wniosków, napisanie manuskryptu i przygotowanie do druku.</i>	
2.	<b>Govorukha V.</b> , Radchenko O., Tashyrev O.: <i>Thermodynamic prognosis of microbial interaction with iron compounds</i> , Ecological Engineering and Environment Protection 2015, <b>1</b> , 12-23.	4
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, prowadzenie obliczeń termodynamicznych, udział w analizie wyników i sformulowaniu wniosków, napisanie manuskryptu i przygotowanie do druku.</i>	
3.	<b>Говоруха В.М.</b> , Таширеві О.Б.: <i>Динаміка взаємодії асоціації спороутворюючих ґрунтових мікроорганізмів з Fe(III)</i> , Вісник аграрної науки 2015, <b>9</b> , 59-62.	0
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, prowadzenie badań, analiza wyników, udział w sformulowaniu wniosków, przygotowanie manuskryptu.</i>	
4.	Tashyrev O.B., <b>Govorukha V.M.</b> : <i>The widespread of Fe(III)-reducing bacteria in natural ecosystems of Ecuador</i> , Mikrobiol. Zh. 2015, <b>77(4)</b> , 62-68.	4
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i>	

	<i>Analiza próbek, prowadzenie eksperymentu, udział w analizie wyników i sformulowaniu wniosków, napisanie manuskryptu i przygotowanie do druku.</i>	
5.	Govorukha V.M., Havryliuk O.A., Tashyrev O.B.: <i>Regularities of quantitative distribution for Fe(III)-reducing bacteria in natural ecosystems</i> , Biotechnologia Acta 2015, <b>8(3)</b> , 123-128. DOI: 10.15407/biotech8.03.123.	4
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w poberaniu i analizie próbek, prowadzenie eksperymentu, udział w analizie wyników i sformulowaniu wniosków, napisanie manuskryptu.</i>	
6.	<b>Govorukha V.M.</b> , Tashyrev O.B.: <i>Regulation of interaction of the strain Citrobacter freundii Ml-31.1/1 with iron compounds</i> , Biotechnologia Acta 2015, <b>8(5)</b> , 103-111.	4
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, prowadzenie badań i analiza wyników, przygotowanie publikacji.</i>	
7.	<b>Govorukha V.M.</b> , Tashyrev O.B.: <i>The regularities of iron compounds transformation by the strain Citrobacter freundii</i> , Mikrobiol. Zh. 2016, <b>78(1)</b> , 41-51.	4
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Udział w stworzeniu koncepcji pracy i projektowaniu eksperymentu, prowadzenie badań, udział w analizie wyników badań oraz napisaniu i edycji manuskryptu.</i>	
<b>Punktacja razem:</b>		<b>24</b>

\* Wartość punktacji wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (pkt. MNiSW). Punkty przyznane za rok publikacji

**Łączna punktacja za publikacje opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora:**

suma IF: 0,0

suma punktów MNiSW: 28

#### WYKAZ PRAC OPUBLIKOWANYCH PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA (po 29.09.2016)

Publikacje opublikowane w czasopismach z bazy JCR

L.p.	Wyszczególnienie	Punkty*	IF**
1.	<b>Govorukha V.</b> , Tashyrev O., Shevel V.: <i>Novel biotechnologies for purification of radioactive wastewater</i> , Journal of condensed matter nuclear science, 2019, <b>28</b> , 53-55.	0	0,0
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w analizie wyników badań, przygotowaniu publikacji.</i>		
2.	Tashyrev O., <b>Govorukha V.</b> , Matvieieva N., Havryliuk O.: <i>Thermodynamic prognosis for novel environmental biotechnologies of radioactive waste water purification</i> , Journal of condensed matter nuclear science, 2019, <b>28</b> , 50-52.	0	0,0

	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, udział w analizie wyników badań, przygotowaniu tekstu publikacji.</i>		
3.	<b>Hovorukha V.</b> [et al.]: <i>Draft genome sequences of six strains isolated from the rhizosphere of wheat grown in cadmium-contaminated soil</i> , <i>Microbiol. Resour. Announc.</i> , 2020, <b>9(34)</b> , 00676-20 <a href="https://doi.org/10.1128/MRA.00676-20">https://doi.org/10.1128/MRA.00676-20</a> .	<b>20</b>	<b>0,0</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, udział w zebraniu próbek, wykonaniu pomiarów, przygotowaniu manuskryptu do druku.</i>		
4.	<b>Hovorukha V., Tashyrev O., Kalinichenko A., Moliszewska E.</b> : <i>Preservation of food sugar beet via the control of Rhizoctonia solani AG 2-2IIIB by extreme factors</i> , <i>Appl. Sci.</i> , 2023, <b>13</b> , 6362. <a href="https://doi.org/10.3390/app13116362">https://doi.org/10.3390/app13116362</a> .	<b>100</b>	<b>2,7</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, udział w wykonaniu pomiarów, przygotowaniu manuskryptu do publikacji.</i>		
5.	Tashyrev O., Hovorukha V., Kudrys P., Khokhlenkova N., Moliszewska E.: <i>An Approach for the Control of Caenorhabditis elegans N2 via the Regulation of Growth Conditions and Pleurotus ostreatus Po4</i> , <i>Resources</i> , 2023, <b>12</b> , 141. <a href="https://doi.org/10.3390/resources12120141">https://doi.org/10.3390/resources12120141</a> .	<b>100</b>	<b>3,3</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Udział w analizie wyników badań, przygotowaniu tekstu publikacji.</i>		
6.	Havryliuk O., Bida I., Hovorukha V., Bielaieva Y., Liubinska A., Gładka G., Kalinichenko A., Zaimenko N., Tashyrev O., Dziuba O.: <i>Application of Granular Microbial Preparation and Silicon Dioxide Analcime for Bioremediation of Ecocide Areas</i> , <i>Sustainability</i> 2024, <b>16</b> , 1097. <a href="https://doi.org/10.3390/su16031097">https://doi.org/10.3390/su16031097</a> .	<b>100</b>	<b>3,9</b>
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Udział w w analizie wyników badań, przygotowaniu manuskryptu do druku.</i>		
<b>Punktacja razem:</b>		<b>320</b>	<b>9,9</b>

\* Wartość punktacji wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (pkt. MNiSW).  
Punkty przyznane za rok publikacji

\*\* Impact Factor (IF) przyznany za rok publikacji albo najnowszy spośród dostępnych w chwili pisania

## Publikacje opublikowane w czasopismach o zasięgu krajowym i międzynarodowym

L.p.	Wyszczególnienie	Punkty*
1.	Tashyreva H., Tashyrev O., <b>Govorukha V.</b> , Havryliuk O.: <i>The effect of mixing modes on biohydrogen yield and spatial pH gradient at dark fermentation of solid food waste</i> , Ecological Engineering and Environment Protection, 2017, <b>X</b> , 53-62. DOI: <a href="https://doi.org/10.32006/eeep.2017.2.5362">10.32006/eeep.2017.2.5362</a> .	1
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> Współautor koncepcji pracy, udział w wykonaniu pomiarów i analizie wyników, przygotowanie do publikacji.	
2.	Tashyrev O., Romanovskaya V., Rokitko P., Tashyreva H., Prytula I., Suslova O., <b>Govorukha V.</b> , Prekrasna Ie., Gladka G.: <i>Autecology and taxonomy of bacteria isolated from extreme environments</i> , Mikrobiol. Z., 2017, <b>79(1)</b> , 100-113. doi: <a href="https://doi.org/10.15407/microbiolj79.01.100">https://doi.org/10.15407/microbiolj79.01.100</a> .	15
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> Udział w eksperymencie, zebraniu próbek, wykonaniu pomiarów i przygotowaniu tekstu do publikacji.	
3.	Sioma I.B., Tashyrev A.B., <b>Govorukha V.M.</b> , Prekrasna Y.P.: <i>Toxic metals extraction during potato fermentation</i> , Ecological Engineering and Environment Protection, 2017, <b>VIII</b> , 62-67. <a href="http://ecoleng.org/archive/2017/1/62-67.pdf">http://ecoleng.org/archive/2017/1/62-67.pdf</a> .	1
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> Współautor koncepcji pracy, udział w wykonaniu pomiarów i analizie wyników, przygotowanie tekstu do publikacji.	
4.	Tashyrev O., <b>Hovorukha V.</b> , Suslova O., Tashyreva H.: <i>Thermodynamic prediction for development of novel environmental biotechnologies and valuable products from waste obtaining</i> , Ecological Engineering and Environment Protection, 2018, <b>1</b> , 24-35. doi.org/10.32006/eeep.2018.1.2435.	1
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> Współautor koncepcji pracy, udział w wykonaniu pomiarów i analizie wyników, udział w sformułowaniu wniosków, przygotowanie do publikacji.	
5.	<b>Hovorukha V.</b> , Havryliuk O., Tashyreva H., Tashyrev O., Sioma I.: <i>Thermodynamic substantiation of integral mechanisms of microbial interaction with metals</i> , Ecological Engineering and Environment Protection, 2018, <b>2</b> , 55-63. doi.org/10.32006/eeep.2018.2.5563.	1
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> Współautor koncepcji pracy, udział w wykonaniu pomiarów i analizie wyników, zebranie literatury, przygotowanie do publikacji.	
6.	<b>Hovorukha V.M.</b> [et al.] <i>Integrated Approach for Development of Environmental Biotechnologies for Treatment of Solid Organic Waste and Obtaining of Biohydrogen and Lignocellulosic Substrate</i> , Environmental Research, Engineering and Management, 2018, <b>74(4)</b> , 31-42. DOI: <a href="https://doi.org/10.5755/j01.erem.74.4.20723">10.5755/j01.erem.74.4.20723</a> .	15

	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, udział w wykonaniu pomiarów i analizie wyników, przygotowanie manuskryptu do publikacji.</i>	
7.	<b>Hovorukha V.M.</b> , Tashyrev O.B.: <i>Thermodynamic prognosis of the efficiency of toxic metals extraction from the solution by microorganisms and their genetic potential</i> , Збірник наукових праць «Фактори експериментальної еволюції організмів», 2018, <b>23</b> , 357-363.	1
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, zebranie literatury, udział w analizie danych, sformułowaniu wniosków, przygotowanie do publikacji.</i>	
8.	Iungin O., <b>Govorukha V.</b> , Tashyrev O.: <i>Rhizospheric bacteria for destruction of nitrochloroaromatic compounds</i> , Journal of Environmental Research, Engineering and Management, 2018; <b>74(3)</b> , 80-86. <a href="https://doi.org/10.5755/j01.arem.74.3.21069">https://doi.org/10.5755/j01.arem.74.3.21069</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Udział analizie wyników i literatury oraz przygotowaniu do publikacji.</i>	
9.	Tashyrev O.B., Matvieieva N.A., <b>Hovorukha V.M.</b> , Tashyreva H.O., Bielikova O.Iu., Havryliuk O.A., Duplij V.P.: <i>Application of lignocellulosic substrate obtained after hydrogen dark fermentation of food waste as biofertilizer</i> , Industrial biotechnology, 2018, <b>14(6)</b> , 315-322. <a href="https://doi.org/10.1089/ind.2018.0008">https://doi.org/10.1089/ind.2018.0008</a> .	15
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Współautor koncepcji pracy, udział w zebraniu literatury, wykonaniu pomiarów i analizie wyników, przygotowanie do publikacji.</i>	
10.	Гаврилюк О.А., <b>Говоруха В.М.</b> , Таширев О.Б.: <i>Стійкість мікроорганізмів чорноземного ґрунту до розчинних сполук міді</i> , Збірник наукових праць «Фактори експериментальної еволюції організмів», 2018, <b>23</b> , 273-279. DOI: <a href="https://doi.org/10.7124/FEEO.v23.1027">https://doi.org/10.7124/FEEO.v23.1027</a> .	1
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Udział w analizie wyników, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu do publikacji.</i>	
11.	Сіома І.Б., <b>Говоруха В.М.</b> , Таширев О.Б.: <i>Ртуть-резистентні бактерії у екосистемах Антарктики</i> , Збірник наукових праць «Фактори експериментальної еволюції організмів», 2018, <b>23</b> , 381-387. DOI: <a href="https://doi.org/10.7124/FEEO.v23.1045">https://doi.org/10.7124/FEEO.v23.1045</a> .	1
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Udział w analizie wyników, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu do publikacji.</i>	
12.	Tashyrev O.B., Sioma I.B., Tashyreva G.O., <b>Hovorukha V.M.</b> : <i>Natural and synthetic solid carriers in flow module for microbial sewage filtrate purification</i> , Biotechnologia Acta, 2018, <b>11(6)</b> , 73-81. <a href="https://doi.org/10.15407/biotech11.06.073">https://doi.org/10.15407/biotech11.06.073</a> .	1
	<i>Mój wkład w powstanie pracy: Udział w zebraniu próbek, analizie wyników badań, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu do publikacji.</i>	

13.	Tashyrev O.B., Sioma I.B., Tashyreva G.O., <b>Hovorukha V.M.</b> : <i>Bromthymol blau as the universal indicator for determining the stereometric allocation of pH and Eh in the medium in heterophase microorganisms cultivation</i> , Mikrob.Z, 2019, <b>81(2)</b> , 14-24. doi: <a href="https://doi.org/10.15407/microbiolj81.02.014">https://doi.org/10.15407/microbiolj81.02.014</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w analizie wyników, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu do publikacji.</i>	
14.	<b>Hovorukha V.</b> , Tashyrev O., Tashyreva H., Havryliuk O., Bielikova O., Iastremska L.: <i>Increase in efficiency of hydrogen production by optimization of food waste fermentation parameters</i> , Energetika, 2019, <b>65(1)</b> , 1-10. DOI: <a href="https://doi.org/10.6001/energetika.v65i1.3977">https://doi.org/10.6001/energetika.v65i1.3977</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w badaniach i analizie wyników, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu do publikacji.</i>	
15.	Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b> , Patrauchan M., Youssef N., Tashyrev O.: <i>Draft whole genome sequence for four highly copper resistant soil isolates Pseudomonas lactis strain UKR1, Pseudomonas panacis strain UKR2, and Pseudomonas veronii strains UKR3 and UKR4</i> , Current Research in Microbial Sciences, 2020, <b>1</b> , 44-52. <a href="https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2020.06.002">https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2020.06.002</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w analizie wyników badań, sformułowaniu wniosków.</i>	
16.	Tashyrev O., <b>Hovorukha V.</b> , Shevel V., Havryliuk O., Sioma I.: <i>Development of novel universal biotechnologies for obtaining valuable products from a wide range of wastes</i> , Ecological Engineering and Environment Protection, 2020, <b>1</b> , 5-17. doi.org/10.32006/eeep.2020.1.0517.	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w analizie wyników, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu do publikacji.</i>	
17.	<b>Hovorukha V.M.</b> , Havryliuk O.A., Gladka G.V., Bida I.B., Tashyrev O.B.: <i>Interaction of obligate anaerobic destroyer of solid organic waste Clostridium butyricum GMP1 with soluble compounds of toxic metals Cr(VI), Mo(VI) and W(VI)</i> , Biotechnologia Acta, 2020, <b>13(5)</b> , 73-86. <a href="https://doi.org/10.15407/biotech13.05.073">https://doi.org/10.15407/biotech13.05.073</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w zebraniu próbek, analizie wyników, przygotowanie do publikacji.</i>	
18.	<b>Hovorukha V.M.</b> , Havryliuk O.A., Gladka G.V., Tashyrev O.B.: <i>The bioremoval of toxic Chromium(VI) via dark hydrogen fermentation of multicomponent organic waste</i> , Biotechnologia Acta, 2020, <b>13(4)</b> , 49-59. <a href="https://doi.org/10.15407/biotech13.04.049">https://doi.org/10.15407/biotech13.04.049</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i>	



	<i>Współautor koncepcji pracy, udział w zebraniu próbek, analiza wyników, przygotowanie do publikacji.</i>	
19.	Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b> , Gladka G., Tashyrev O.: <i>Bioremoval of Copper(II) via hydrogen fermentation of ecologically hazardous multicomponent food waste</i> , Ecological Engineering and Environment Protection, 2020, <b>2</b> , 5-14. <a href="https://doi.org/10.32006/eeep.2020.2.0514">https://doi.org/10.32006/eeep.2020.2.0514</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w analizie wyników, przygotowaniu do publikacji.</i>	
20.	<b>Hovorukha V.</b> , Havryliuk O., Gladka G., Bida I., Danko Ya., Shabliy O., Tashyrev O. <i>Gaseous fuel obtaining via fermentation of organic landfill waste</i> , Ecological Engineering and Environment Protection, 2021, <b>1</b> , 36-48. <a href="https://doi.org/10.32006/eeep.2021.1.3648">doi.org/10.32006/eeep.2021.1.3648</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w zebraniu próbek, analizie wyników, sformułowaniu wniosków, przygotowanie tekstu do publikacji.</i>	
21.	<b>Hovorukha V.M.</b> , Havryliuk O.A., Bida I.O., Danko, Ya.P., Shabliy O.V., Gladka G.V., Yastremska L.S., Tashyrev O.B.: <i>Two-stage degradation of solid organic waste and liquid filtrate</i> , Biotechnologia Acta, 2021, <b>14(4)</b> , 70-79. <a href="https://doi.org/10.15407/biotech14.04.070">https://doi.org/10.15407/biotech14.04.070</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w zebraniu próbek, analizie wyników, analiza literatury, przygotowanie do publikacji.</i>	
22.	Havryliuk O.A., <b>Hovorukha V.M.</b> , Sachko A.V., Gladka G.V., Tashyrev O.B.: <i>Quantitative indicators of copper-resistant microorganisms distribution in natural ecosystems</i> , Biotechnologia Acta, 2021, <b>14(1)</b> , 69-80. <a href="https://doi.org/10.15407/biotech14.01.69">https://doi.org/10.15407/biotech14.01.69</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Udział w analizie wyników, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu publikacji do druku.</i>	
23.	Borzova N.V., Gladka G.V., Gudzenko O.V., <b>Hovorukha V.M.</b> , Tashyrev O.B.: <i>Enzymatic activity of psychrotolerant antarctic bacteria</i> , Mikrobiol. Zhurnal, 2021, <b>83(2)</b> , 3-11. <a href="https://doi.org/10.15407/microbiolj83.02.003">https://doi.org/10.15407/microbiolj83.02.003</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Udział w analizie wyników, przygotowaniu publikacji do druku.</i>	
24.	Gladka G., <b>Hovorukha V.</b> , Romanovskaya V., Tashyrev O.: <i>Correlation Between Resistance to UV Irradiation and the Taxonomic Position of Microorganisms</i> . Environmental Research, Engineering and Management. 2021, <b>77(1)</b> , 67-75. <a href="https://doi.org/10.5755/j01.erep.77.1.23832">https://doi.org/10.5755/j01.erep.77.1.23832</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Udział w analizie wyników, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu publikacji do druku.</i>	



25.	<b>Говоруха В.М.</b> , Гаврилюк О.А., Біда І.О., Гладка Г.В., Таширев О.Б.: <i>Оптимізація метанового зброджування сільськогосподарських відходів</i> , Agroecological Journal, 2022, <b>3</b> , 26-34. DOI: <a href="https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266407">https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266407</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w badaniach, analizie wyników, przygotowaniu publikacji do druku.</i>	
26.	Gładka G.V., Borzova N.V., Gudzenko O.V., <b>Hovorukha V.M.</b> , Havryliuk O.A., Shablii O.V., Yastremska L.S., Tashyrev O.B.: <i>Ecophysiological Properties and Hydrolytic Activity of Chemoorganotrophic Bacteria from Holosiivskyi National Nature Park</i> , Mikrobiol. Z., 2022, <b>84(4)</b> , 48-58. doi: <a href="https://doi.org/10.15407/microbiolj84.04.048">https://doi.org/10.15407/microbiolj84.04.048</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Udział w analizie wyników, sformułowaniu wniosków, przygotowaniu publikacji do druku.</i>	
27.	<b>Hovorukha V.M.</b> <i>Universal biotechnology for treatment of toxic organic waste and metals with obtaining of valuable products</i> , Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr, 2023, <b>2</b> , 85-90. <a href="https://doi.org/10.15407/visn2023.02.085">https://doi.org/10.15407/visn2023.02.085</a> . (in Ukrainian).	20
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Autor koncepcji pracy, analiza materiałów, sformułowanie wniosków, przygotowanie publikacji do druku.</i>	
28.	Bida I., Havryliuk O., <b>Hovorukha V.</b> , Gładka G., Tashyrev O.: <i>Microbial bioremoval of divalent toxic metals</i> , Ecological Engineering and Environment Protection, 2023, <b>1</b> , 27-35. <a href="https://doi.org/10.32006/eeep.2023.1.2735">doi.org/10.32006/eeep.2023.1.2735</a> .	5
	<i>Mój wkład w powstanie pracy:</i> <i>Współautor koncepcji pracy, udział w badaniach i analizie wyników, przygotowaniu publikacji.</i>	
<b>Punktacja razem:</b>		<b>153</b>

\* Wartość punktacji wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (pkt. MNiSW). Punkty przyznane za rok publikacji

5. Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3).

-

6. Wykaz publicznych realizacji dzieł artystycznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3).

-

7. Wykaz wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych.

Mój dorobek naukowy zaprezentowano na konferencjach międzynarodowych i krajowych przed uzyskaniem stopnia doktora w formie referatów – **6 raz** i posterów – **5 raz**; po uzyskaniu stopnia doktora w formie referatów – **46 razy** i posterów – **6 raz**. Łącznie osobiście prezentowałam **11** doniesień naukowych i **6** posterów oraz brałam udział w **37** konferencjach naukowych. Nazwisko osoby prezentującej dane doniesienie naukowe zostało wyróżnione podkreśleniem.

#### ***Doniesienia na konferencjach naukowych przed uzyskaniem stopnia doktora***

1. **Govorukha V.M.**, Tashyrev O.B.: *Thermodynamic prognosis of regulation of microbial transformation of iron compounds*, Third national conference with international participation “Ecological engineering and environmental protection”, 13-14.06.2013, Sofia, Bulgaria, Str. 19-20.
2. **Havryliuk O.A.**, **Hovorukha V.M.**, Iastremska L.S.: *Use of iron-reducing bacteria in biotechnology* (in Ukrainian), II International scientific and practical conference "Newest achievements of biotechnology", 24-25.10.2013, Kyiv, Ukraine, Str. 33-34.
3. **Havryliuk O.A.**, **Hovorukha V.M.**: *The acidity of salivary bacteria in the ecosystems of the Dead and Black Seas* (in Ukrainian), XIV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Polit. Modern problems of science", 2-3.04.2014, Kyiv, Ukraine.
4. **Hovorukha V.M.**: *Quantitative assessment of iron-reducing bacteria of natural ecosystems* (in Russian), // International scientific conference "Microbiology and immunology - development prospects in the 21st century. Immunology and Allergology: Science and Practice", 10-11.04.2014, Kyiv, Ukraine.
5. **Hovorukha V.M.**: *Resistance of microbial communities of natural ecosystems to Fe(III) compounds as a basis for the development of environmental biotechnologies* (in Russian), XVIII International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Ecology. Human. Society", Kyiv, Ukraine, Str. 26-27.
6. **Havryliuk O.A.**, **Hovorukha V.M.**, Iastremska L.S., Bielikova O.Iu.: *Isolation of anaerobic iron-reducing bacteria from extreme ecosystems* (in Ukrainian), III International Scientific and Practical Conference dedicated to the 10th anniversary of the Department of Biotechnology of the National Aviation University and the 175th anniversary of the Department of Pharmacology of the National Medical University named after O.O. Bogomolets “The latest achievements of biotechnology and nanopharmacology”, 22-23.10.2015, Kyiv, Ukraine, Str. 166.

#### ***Postery***

1. **Hovorukha V.M.**, Levishko A.S.: *Anaerobic microorganisms of deep sediments of the Black Sea* (in Ukrainian), V International Conference of Young Scientists “Biology: from the molecule to the biosphere”, 22-25.11.2010, Kharkiv, Ukraine, Str. 183-184.
2. **Hovorukha V.M.**: *The role of iron-reducing bacteria in biogeochemical cycles of carbon and energy in natural ecosystems* (in Ukrainian), VII International Conference of Young Scientists “Biology: from the molecule to the biosphere”, 20-23.11.2012, Kharkiv, Ukraine, Str. 164.

3. Suslova O.S., **Hovorukha V.M.**: *Biodiversity of microbial cenoses in cave ecosystems of Western Ukraine and their resistance to extreme factors* (in Russian), VII International Conference of Young Scientists "Biology: from the molecule to the biosphere", 20-23.11.2012, Kharkiv, Ukraine, Str. 182.
4. **Hovorukha V.M.**: *Efficiency of microbial iron reduction in natural ecosystems* (in Russian), VIII International Conference of Young Scientists "Biology: from the molecule to the biosphere", 3-6.12.2013, Kharkiv, Ukraine, Str. 113-114.
5. **Hovorukha V.M.**, Havryliuk O.A.: *Dynamics of Fe(III) reduction by a culture of microorganisms isolated from river silt (Ukraine)* (in Ukrainian), IX International Conference of Young Scientists "Biology: from the molecule to the biosphere", 18-20.11.2014, Kharkiv, Ukraine, Str. 63-64.

#### ***Doniesienia na konferencjach naukowych po uzyskaniu stopnia doktora***

1. Tashyrev O., **Hovorukha V.**: *Development of the optimal mass transfer regime for a horizontal fermenter* (in Ukrainian), kompleksowy program badań podstawowych Narodowej Akademii Nauk Ukrainy „Podstawowe aspekty odnawialnych źródeł energii wodorowej i technologii ogni w paliwowych”, 07.12.2016, Kijów, Ukraina.
2. **Govorukha V.**: *Optimization of mass transfer mode for hydrogen obtaining with maximum destruction of food waste*, Fifth International Conference "Ecological Engineering and Environment Protection" (EEEP'2017), 05-07.06.2017, Płowdiw, Bułgaria. Str. 35-36.
3. Tarabas O., Hnatush S., **Govorukha V.**, Tashyrev O., Moroz O.: *Production of molecular hydrogen by purple non-sulfur bacteria Rhodospseudomonas yavorovii YA-2016*, 7th International Weigl conference, 26-29.09.2017, Lwów, Ukraina.
4. Tashyrev O., **Hovorukha V.**, Tashyreva H., Havryliuk O., Bielikova O., Yastremska L.: *Optimization of the efficiency of the process of destruction of solid waste particles and the formation of molecular hydrogen by changing the ratio of volumes of solid and liquid phases in a horizontal fermenter* (in Ukrainian), kompleksowy program badań podstawowych Narodowej Akademii Nauk Ukrainy „Podstawowe aspekty odnawialnych źródeł energii wodorowej i technologii ogni w paliwowych”, 07.12.2017, Kijów, Ukraina.
5. **Hovorukha V.**, Tashyrev O., Matvieieva N., Tashyreva H., Havryliuk O., Bielikova O., Sioma I.: *Development of universal biotechnologies for simultaneous treatment of organic waste and valuable products obtaining on the base of thermodynamic prediction*, International Conference Advances in Microbiology and Biotechnology, 29-31.10.2018, Lwów, Ukraina. Str. 22.
6. Tashyrev O.B., **Hovorukha V.M.**, Havryliuk O.A., Sioma I.B., Shevel V.M.: *Thermodynamic background for novel biotechnologies for treatment of ecologically hazardous waste and valuable products obtaining*, International Conference Advances in Microbiology and Biotechnology, 29-31.10.2018, Lwów, Ukraina.
7. **Govorukha V.**, Tashyrev O., Shevel V., Tashyreva H.: *Novel biotechnologies for purification of radioactive wastewater*, International Symposium on the Utilization of Microorganisms for the Treatment of Nuclear Waste, 18.05.2018, Busan, Korea.
8. Tashyrev O., **Govorukha V.**, Matvieieva N., Havryliuk O.: *Biotechnologies for bioremediation of ecosystems contaminated with radionuclides and toxic metals on the base of thermodynamic prognosis*, International Symposium on the Utilization of Microorganisms for the Treatment of Nuclear Waste, 18.05.2018, Busan, Korea.
9. Tashyrev O.B., **Hovorukha V.M.**, Matvieieva N.A., Tashyreva H.O., Shevel V.M., Iungin O.S.: *Development of novel universal biotechnologies for obtaining valuable*

- products from a wide range of wastes*, 2nd International Conference „Smart Bio“, 03-05.05.2018, Kowno, Litwa.
10. **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B., Matvieieva N.A., Tashyreva H.O., Havryliuk O.A., Bielikova O.Iu., Sioma I.B.: *Integrated approach for development of environmental biotechnologies for treatment of solid organic waste and obtaining of biohydrogen and lignocellulosic substrate*, 2nd International Conference „Smart Bio“, 03-05.05.2018, Kowno, Litwa. Str. 53.
  11. **Iungin O.**, Tashyrev O., **Govorukha V.**: *Theoretical bases development of versatile biotechnologies of chloronitroaromatic compounds destruction*, 2nd International Conference „Smart Bio“, 03-05.05.2018, Kowno, Litwa.
  12. **Havryliuk O.**, **Hovorukha V.**, Tashyrev O.: *"Conversion" succession of microorganisms for increase in efficiency of cattle manure methane fermentation*, 2nd International Conference „Smart Bio“, 03-05.05.2018, Kowno, Litwa. Str. 296.
  13. **Govorukha V.M.**, Tashyrev O.B., Matvieieva N.A., Havryliuk O.A., Sioma I.B.: *Thermodynamic Prediction for Development of Effective Biotechnologies for Accelerated Treatment of Multi Component Food Waste*, The Fourth China-Ukraine Forum on Science and Technology, Wrzeszeń 2018, Harbin, Chiny. Str. 69.
  14. **Tashyrev O.B.**, **Govorukha V.M.**, Havryliuk O.A., Sioma I.B., Shevel V.M.: *Novel Comprehensive Biotechnologies for Treatment of Ecologically Hazardous Waste and Valuable Products Obtaining*, The Fourth China-Ukraine Forum on Science and Technology, Wrzeszeń 2018, Harbin, Chiny.
  15. **Hovorukha V.**, Tashyrev O.: *Thermodynamic Prognosis for Optimization of Biotechnologies of Biohydrogen Obtaining and Toxic Metals Removal via Fermentation of Multi Component Organic Waste*, 3rd International Conference „Smart Bio“, 02-04.05.2019, Kowno, Litwa. Str. 242.
  16. **Tashyrev O.**, **Hovorukha V.**, Havryliuk O.: *Thermodynamic Prognosis Method for Development of Novel Environmental Biotechnologies*, 3rd International Conference „Smart Bio“, 02-04.05.2019, Kowno, Litwa.
  17. **Havryliuk O.**, **Hovorukha V.**, Tashyrev O.: *Novel Methodological Approach To Discover Super Resistant To Copper(II) Microorganisms As The Base For Environmental Biotechnologies*, 3rd International Conference „Smart Bio“, 02-04.05.2019, Kowno, Litwa. Str. 57.
  18. **Tashyrev O.**, Matvieieva N., **Hovorukha V.**, Havryliuk O., Sachko A., Gladka G.: *Modern biotechnologies for phytobacterial bioremediation of environment*, Sixth International Conference with Youth Scientific Session “Ecological engineering and environment protection” (EEEEP'2019), 05-07.06.2019, Burgas, Bułgaria. Str. 20.
  19. **Hovorukha V.**, Tashyrev O., Havryliuk O.: *Microbial Obtaining of Green Energy (H<sub>2</sub>) from Toxic Multi Component Organic Waste*, V All-Polish scientific-practical conference "Renewable energy sources - theory and practice", Opole, Polska, 2019.
  20. **Havryliuk O.**, **Hovorukha V.**, Tashyrev O.: *Thermodynamic prognosis to search for super resistant to Copper(II) microorganisms as the basis for environmental biotechnologies*, Scientific and practical Conference of young researchers “Youth and Modern Problems of Microbiology and Virology“, 12-14.11.2019, Kijów, Ukraina. Str. 18.
  21. Tashyrev O.B., **Hovorukha V.M.**, Havryliuk O.A., Gladka G.V., Yastremska L.S.: *The prospects of multicomponent organic waste treatment via hydrogen dark fermentation*, IV International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 15th Anniversary of the Department of Biotechnology of the National Aviation University, 23.09.2020, Kijów, Ukraina. Str. 15-16.



22. Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Gladka G.V., Yastremska L.S., Tashyrev O.B.: *Bioremoval of toxic soluble Copper(II) compounds by strict anaerobic bacterial strain Clostridium butyricum GMPI*, IV International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 15th Anniversary of the Department of Biotechnology of the National Aviation University, 23.09.2020, Kijów, Ukraina. Str. 6-7.
23. Danko Y., Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Iastremska L., Tashyrev O.: *Comparison of methods of aerobic and anaerobic treatment of toxic leachate after hydrogen fermentation of multicomponent food waste* (in Ukrainian), XXI International Science Conference «Ecology. Human. Society», 21-22.05.2020, Kijów, Ukraina. Str. 44-47.
24. Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Tashyrev O., Sachko A.: *Patterns of quantitative distribution of copper-resistant microorganisms in natural ecosystems* (in Ukrainian), XXI International Science Conference «Ecology. Human. Society», 21-22.05.2020, Kijów, Ukraina. Str. 35-39.
25. Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Yastremska L.S., Tashyrev O.B.: *The prospects to apply chromium-resistant microorganisms in the environmental biotechnologies*, (in Ukrainian), XXI International Science Conference «Ecology. Human. Society», 21-22.05.2020, Kijów, Ukraina.
26. **Hovorukha V.**, Havryliuk O., Bida I., Danko Y., Shabliy O., Tashyrev O.: *Degradation of solid organic waste and purification of liquid filtrate with obtaining of hydrogen and methane*, Seventh International Conference with Youth Scientific Session “Ecological engineering and environment protection” (EEEP'2021), 30.09-03.10.2021, Warna, Bułgaria. Str. 24.
27. Havryliuk O., Bida I., Danko Y., Gladka G., **Hovorukha V.**, Mariychuk R., Tashyrev O.: *Accumulation of Copper by Lawn Grass*, the International Forum on Climate Change and Sustainable Development: New Challenges of the Century, 09-11.09.2021, Mykolajów, Ukraina. Str. 29.
28. Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Gladka G., Tashyrev O.: *Taxonomic position of copper-resistant microorganisms of the extreme ecosystems*, III Scientific and practical Conference of young researchers “Youth and Modern Problems of Microbiology and Virology“, 09-11.11.2021, Kijów, Ukraina. Str. 13.
29. Shabliy O.; **Hovorukha V.**; Tashyrev O.: *Purification of toxic leachate by methanogenic microorganisms*, III Scientific and practical Conference of young researchers “Youth and Modern Problems of Microbiology and Virology“, 09-11.11.2021, Kijów, Ukraina. Str. 30.
30. Bida I., Havryliuk O, **Hovorukha V.**, Tashyrev O.: *Biotechnology of multicomponent organic waste degradation with the use of GMP-bioreactor*, III Scientific and practical Conference of young researchers “Youth and Modern Problems of Microbiology and Virology“, 09-11.11.2021, Kijów, Ukraina.
31. Bąk M., Kalinichenko A., Tashyrev O., **Hovorukha V.**: *Development of multidisciplinary approaches to improve the awareness and education in the field of environment protection*, Trends in education & DidMatTech 2022, 04-06.05.2022, Ołomuniec, Czechy. Str. 48.
32. Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B.: *The reduction of sulfate of gypsum by sulfidogenic microbiome for the precipitation of toxic metals*, All-Ukrainian Conference on Molecular and Cell Biology with international participation, dedicated to the heroic struggle of the Ukrainian people against the Russian invaders, 15-16.06.2022, Kijów, Ukraina.
33. Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O. B.: *Treatment of polymetallic wastewater based on sulfidogenic microbiomes*, IV International

- Scientific Conference "Microbiology and Immunology - the development outlook in the 21 century", 22-23.09.2022, Kijów, Ukraina.
34. Kyrylov S.K., Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O. B.: *The detoxification of Cr(VI) by methanogens during the fermentation of environmentally hazardous Solidago canadensis plant*, VI International Scientific Conference "Latest Achievements of Biotechnology", 23-24.09.2022, Kijów, Ukraina.
  35. Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B.: *The prospects of the microbial sulfate reduction for polymetallic wastewater treatment*, VI International Scientific Conference "Latest Achievements of Biotechnology", 23-24.09.2022, Kijów, Ukraina.
  36. Kyrylov S., Tymoshenko A., Bida I., Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Tashyrev O., Mariychuk R.: *Iron immobilization via methane fermentation of Solidago canadensis invasive plant*, IV Young scientists conference "Youth and modern problems of microbiology and virology", 15-17.11.2022, Kijów, Ukraina. Str. 14.
  37. Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B. *The precipitation of bivalent toxic metals via the dissimilatory sulfate reduction*, IV Young scientists conference "Youth and modern problems of microbiology and virology", 15-17.11.2022, Kijów, Ukraina, Str. 7.
  38. Tashyrev O., **Hovorukha V.**: *New knowledge on environmental biotechnologies to enhance ecological education and thinking*, Trendy ve vzdělávání 2023, 26-28.04.2023, Olomuniec, Czechy.
  39. Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B. *Bioremoval of toxic metals by the microbiome of biogas waste*, VII International Scientific Conference "Latest Achievements of Biotechnology", 21-22.09.2023, Kijów, Ukraina, Str. 7-8.
  40. Kyrylov S.K., Tymoshenko A.D., Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B. *The detoxification of Cu(II) by methanogens during the fermentation of environmentally hazardous Solidago canadensis plant*, VII International Scientific Conference "Latest Achievements of Biotechnology", 21-22.09.2023, Kijów, Ukraina, Str. 13-14.
  41. Tymoshenko A.D., Kyrylov S.K., Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B. *Microbial precipitation of Cr(VI) during methane fermentation of the ecologically hazardous plant Ambrosia artemisiifolia*, VII International Scientific Conference "Latest Achievements of Biotechnology", 21-22.09.2023, Kijów, Ukraina, Str. 18-19.
  42. Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B. *Precipitation of cobalt and nickel soluble compounds by sulfidogenic bacteria of biohumus*, International Scientific and Practical Conference "Modern aspects of microbiology, virology and biotechnology in wartime and post-war period", 15-16.11.2023, Kijów, Ukraina, Str. 27-28.
  43. Kyrylov S.K., Tymoshenko A.D., Bida I.O., Havryliuk O.A., **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B. *Anaerobic degradation of Artemisia absinthium to produce biomethane and detoxify toxic copper compounds*, International Scientific and Practical Conference "Modern aspects of microbiology, virology and biotechnology in wartime and post-war period", 15-16.11.2023, Kijów, Ukraina, Str. 120-121.
  44. Tashyrev O., **Hovorukha V.**, Havryliuk O., Bida I., Gladka G., Yastremskaya L., *Biotechnology for the degradation the of environmentally hazardous organic waste and production of valuable products*, XXIII International Science Conference «Ecology. Human. Society», 07.12.2023, Kijów, Ukraina, Str. 54-56.
  45. Shabliy O., Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Tashyrev O. *Noxious weed Ambrosia artemisiifolia L. as a sustainable feedstock for methane production and metals*

*immobilization*, XXIII International Science Conference «Ecology. Human. Society», 07.12.2023, Kijów, Ukraina, Str. 178-182.

46. Tashyrev O., **Hovorukha V.**, Kalinichenko A. *Interdisciplinary cooperation to improve the level of education and increase the effectiveness of environmental biotechnologies*, Trends in Education 2024, 22-24.04.2024, Ołomuniec, Czechy. Str. 42-43.

### **Postery**

1. Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Tashyrev O, Gladka G.: *Bioremoval of toxic copper(II) in strict aerobic and anaerobic conditions by two environmentally promising microbial strain Pseudomonas lactis ukr1 and Clostridium butyricum GMP1*, The 2nd young scientists conference “Youth and modern problems of microbiology and virology”, 23-26.11.2020, Kijów, Ukraina. Str. 17.
2. Danko Y., Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Tashyrev O., Yastremska L.: *Microbial destruction of Arthropoda tissues to obtain chitin*, The 2nd young scientists conference “Youth and modern problems of microbiology and virology”, 23-26.11.2020, Kijów, Ukraina. Str. 12.
3. Bida I., Havryliuk O., **Hovorukha V.**, Tashyrev O., Yastremska L.: *Bioremoval of chromates by strict anaerobe Clostridium butyricum GMP1 during anaerobic destruction of starch-containing substrate*, The 2nd young scientists conference “Youth and modern problems of microbiology and virology”, 23-26.11.2020, Kijów, Ukraina. Str. 7.
4. **Hovorukha V.**, Havryliuk O., Tashyrev O.: *The patterns of hazardous organic waste destruction with obtaining of energy in the installations modeling landfill sites*, The 2nd young scientists conference “Youth and modern problems of microbiology and virology”, 23-26.11.2020, Kijów, Ukraina. Str. 19.
5. **Hovorukha V.M.**, Tashyrev O.B., Havryliuk O.A.: *Microbial succession for purification of sewage from concentrated soluble organic compounds*, II Konferencji Naukowo-Technicznej „Nauka-Technologia-Środowisko”, 27-29.09.2023, Wisła, Polska.
6. Tashyrev O.B., **Hovorukha V.M.**, Bida I.O., Gladka G.V.: *The biotechnological approach for the removal of toxic metals and radionuclides from sewage*, II Konferencji Naukowo-Technicznej „Nauka-Technologia-Środowisko”, 27-29.09.2023, Wisła, Polska.

### **8. Wykaz udziału w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji.**

W 2023 r. członek komitetu organizacyjnego Seminarium „Biogaz jako element współczesnej gospodarki”, 23-24 marca 2023 roku, Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Uniwersytet Opolski, Opole, Polska. Pełniłam funkcje komunikacji z uczestnikami.



**9. Wykaz uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów.**

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, brałam czynny udział w 12 projektach badawczych, w 5 byłam głównym wykonawcą, a w 7 – wykonawcą.

***Projekty zrealizowane***

1. **Wykonawca** (2015-2017 r.) wspólnego ukraińsko-indyjskiego projektu badawczego na lata 2015-2017 pt: „*Development of microbial technology for accelerated multi-component municipal organic waste recycling*”, No M/82-2015 (22.10.2015), M/79-2016 (25.07.2016), M/173-2017 (08.09.2017).
2. **Wykonawca** (2015-2017 r.) grantu badawczego współfinansowanego ze środków U.S. Civilian Research and Development Foundation (CRDF Global) i Ministerstwa Edukacji i Nauki Ukrainy pt: „*Organization of industrial microbial preparation to obtain energy sources from organic waste*”, No M/83-2015 (22.10.2015), M/80-2016 (25.07.2016), M/216-2017 (27.11.2017).
3. **Główny wykonawca** (2016-2018) grantu badawczego ukierunkowanego kompleksowego programu badań podstawowych Narodowej Akademii Nauk Ukrainy „Podstawowe aspekty odnawialnych źródeł energii wodorowej i technologii ogni w paliwowych” pt: „*Development of regime molecular hydrogen obtaining with maximum destruction of food waste, national project*”, No 2–16 (10.06.2016), 2–17 (01.03.2017), 2–18 (01.03.2018).
4. **Główny wykonawca** (2017-2018) grantu badawczego finansowanego ze środków U.S. Civilian Research and Development Foundation (CRDF Global) pt: „*Transcriptomic responses of beneficial rhizobacteria to root exudates and environmental pollutants*”, No OISE-16-62773-0 (22.12.2016).
5. **Główny wykonawca** (2018) grantu badawczego ukierunkowanego kompleksowego programu badań podstawowych Narodowej Akademii Nauk Ukrainy „Podstawowe aspekty odnawialnych źródeł energii wodorowej i technologii ogni w paliwowych” pt: „*Development of a universal installation for the production of biohydrogen from multicomponent organic waste*”, No 2–18 (03.09.2018).
6. **Główny wykonawca** (2019-2020) grantu badawczego finansowanego ze środków U.S. Civilian Research and Development Foundation (CRDF Global) pt: „*Characterization and optimization of microbial preparation for the production of hydrogen gas from ecologically hazardous food waste*”, No FSA3-19-65807-0 (07.11.2019).
7. **Wykonawca** (2020) projektu naukowo-technicznego instytucji Narodowej Akademii Nauk Ukrainy w roku 2020 pt: „*Development of the method of accelerated bioremediation of landfills of household organic waste with the production of biofuel*”, No 06.28 (03.02.2020).
8. **Główny wykonawca** (2019-2021) grantu badawczego ukierunkowanego kompleksowego programu badań podstawowych Narodowej Akademii Nauk Ukrainy „Opracowanie naukowych zasad pozyskiwania, magazynowania i wykorzystania wodoru w autonomicznych systemach zasilania energią” pt: „*Obtaining of engineering*”

*and technological indicators of experimental-industrial technology of biohydrogen synthesis*”, No 1–19 (03.06.2019), 1–20 (10.03.20), 1–21 (09.03.21).

9. **Wykonawca** (2022) grantu badawczego finansowanego ze środków Programu Fundacji Kościuszkowskiej “Freedom starts with your mind” rok 2022 pt: *„Treatment of solid and liquid organic waste with obtaining of energy and valuable products”*, No 2022/04/06.
10. **Wykonawca** (2022-2023) grantu badawczego finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki pt: *„Application of abiotic and biotic extreme factors for the isolation of microorganisms for the control of pathogenic fungus Rhizoctonia solani AG 2-IIIB”* No UOM-2022/01/3/NZ9/00101.
11. **Wykonawca** (2023-2024) grantu badawczego finansowanego ze środków Programu EMBO Solidarity Grants pt: *„Antibiotic and metal resistance of bacteria. If there is a hazard to human health?”*, No SLG 5434-2023 (12.05.2023).

#### **Projekty w toku realizacji**

1. **Wykonawca** (2024-2025) grantu badawczego finansowanego ze środków Programu Wspólne projekty badawcze NAWA pomiędzy Rzeczpospolitą Polską a Słowacją pt: *„Reakcja mikroorganizmów na fitosyntetyzowane nanocząstki metali”*, No BPN/BSK/2023/1/00027/U/00001.

#### **10. Wykaz członkostwa w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach.**

Od 2012 r. jestem członkiem Towarzystwa Mikrobiologów Ukrainy imienia S. M. Vinogradskiego. Pełniłam funkcje komunikacji z uczestnikami.

#### **11. Wykaz staży w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru.**

Odbyłam:

- Pięcioletniowy staż w The University of Southern Mississippi, Hattiesburg, USA w ramach projektu pt: *„Transcriptomic responses of beneficial rhizobacteria to root exudates and environmental pollutants”*, No OISE-16-62773-0 (październik-listopad 2017), gdzie zajmowała się genetyką i metabolizmem mikroorganizmów glebowych.
- Czterytygodniowy staż w The University of Southern Mississippi, Hattiesburg, USA w ramach projektu pt: *„Characterization and optimization of microbial preparation for the production of hydrogen gas from ecologically hazardous food waste”*, No FSA3-19-65807-0 (styczeń-luty 2020), gdzie zajmowała się badaniami składu preparatu mikrobiologicznego metodami genetycznymi.

#### **12. Wykaz członkostwa w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.).**

-

**13. Wykaz recenzowanych prac naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych.**

Recenowałam 12 artykułów naukowych w czasopismach:

Mikrobiologichnyi Zhurnal – 1 artykuł,  
Journal of Marine Science and Engineering – 1 artykuł,  
Agriculture – 1 artykuł,  
Sustainability – 6 artykułów,  
Forests – 1 artykuł,  
Microorganisms – 1 artykuł,  
Applied sciences – 1 artykuł.

**14. Wykaz uczestnictwa w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych.**

W 2018 roku – uczestnik programu Global Initiative of Academic Networks (GIAN) – współprowadzenie kursu lekcyjnego *“Application of thermodynamic prediction for development of microbial biotechnological approaches”*, Guru Jambheshwar University of Sc. & Tech., Hisar, India.

W 2020 roku uczestniczyłam w warsztatach z metodologii Lean Startup, do przećwiczenia procesu odkrywania klienta i przyjrzenia się bliżej modelowi biznesowemu „GIST Innovates Ukraine 2020” zorganizowanych przez Departament Stanu Stanów Zjednoczonych. Celem tego szkolenia było opracowanie wdrożenia podejścia biotechnologicznego do wykorzystania bioreaktorów małopojemnościowych do unieszkodliwiania odpadów w gospodarstwach prywatnych.

**15. Wykaz udziału w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.9.**

-

**16. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny.**

-

**III. WSPÓLPRA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM**

**1. Wykaz dorobku technologicznego.**

-

**2. Współpraca z sektorem gospodarczym.**

-  
3. **Wykaz uzyskanych praw własności przemysłowej, w tym uzyskanych patentów krajowych lub międzynarodowych.**

-  
4. **Wykaz wdrożonych technologii.**

-  
5. **Wykaz wykonanych ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców.**

Wykonałam opracowania na zamówienie Spółki z ograniczoną odpowiedzialnością „УНІВЕРСАЛ ЛІАБ” (Umowa No 128-2019 zawarta w dniu 26.09.2019) w zakresie opracowania metod selekcji czystych kultur i sposobów laboratoryjno-przemysłowej hodowli wyspecjalizowanych mikroorganizmów z substratu biogazowni.

6. **Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych.**

-  
7. **Wykaz projektów artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi.**

#### IV. DANE NAUKOMETRYCZNE

1. **Impact Factor (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny).**

Moj dorobek naukowy przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora wynosi **8** artykułów w rezensowanych czasopismach (w tym **1** artykuł w czasopiśmie z bazy Journal Citation Reports (JCR)) oraz **11** streszczeniami w materiałach konferencyjnych.

Według punktacji MNiSW, przypisanej zgodnie z rokiem opublikowania poszczególnych prac dorobek wynosi **28** punktów. Impact Factor publikacji wynosi **0,0**.

Moją działalność naukową po uzyskaniu stopnia naukowego doktora można podsumować **97** publikacjami; w tym **15** artykułami w czasopismach z bazy JCR, **3** rozdziałami w monografiach, **29** publikacjami w rezensowanych czasopismach oraz **50** streszczeniami w materiałach konferencyjnych.

Sumaryczny IF publikacji wynosi **36,904**. Zgodnie z kryteriami MNiSW, dorobek ten ocenia się na **1378** punktów.

Łączna punktacja za publikacje przed i po uzyskaniu stopnia doktora wynosi: sumaryczny IF = **36,904**, suma punktów MNiSW = **1406**.

Zestawienie dorobku naukowego według liczby publikacji, wartości IF i punktów MNiSW, przed i po uzyskaniu stopnia doktora:

Tabela 1. Zestawienie dorobku naukowego według wskaźników naukometrycznych

Dorobek naukowy	Publikacje w składzie osiągnięcia naukowego				Pozostałe publikacje				Podsumowanie	
	Przed uzyskaniem stopnia doktora		Po uzyskaniu stopnia doktora		Przed uzyskaniem stopnia doktora		Po uzyskaniu stopnia doktora			
	IF*	pkt.**	IF	pkt.	IF	pkt.	IF	pkt.	IF	pkt.
Publikacje opublikowane w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR)	-	-	27,004 (9)	850 (9)	0,0 (1)	4 (1)	9,9 (6)	320 (6)	36,904 (16)	1174 (16)
Publikacje opublikowane w czasopismach o zasięgu krajowym i międzynarodowym	-	-	-	40 (1)	-	24 (7)	-	153 (28)	-	217 (36)
Rodziały w monografiach	-	-	-	-	-	-	-	15 (3)	-	15 (3)
Streszczenia konferencyjne	-	-	-	-	-	(11)	-	(50)	-	(61)
<b>Podsumowanie</b>	-	-	27,004 (9)	890 (10)	0,0 (1)	28 (19)	9,9 (6)	488 (87)	36,904 (16)	1406 (116)
	<b>IF = 27,004 (9) MNiSW 890 (10)</b>				<b>IF = 9,9 (7) MNiSW 516 (103)</b>					

\* Impact Factor (IF) przyznany za rok publikacji albo są najnowszym spośród dostępnych w chwili pisania

\*\* Wartość punktacji wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (pkt. MNiSW). Punkty przyznane za rok publikacji, w nawiasach podano liczbę publikacji

**2. Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań.**

Liczba cytowań według bazy Web of Science wynosi **62** (na dzień 21.10.2024), a z pominięciem autocytowań – **33** (na dzień 21.10.2024). Na podstawie bazy bibliograficznej Scopus liczba cytowań wynosi **113** (na dzień 21.10.2024), z pominięciem autocytowań – **65** (na dzień 21.10.2024).

**3. Indeks Hirscha.**

Index Hirscha według bazy Web of Science wyniósł **5** (na dzień 21.10.2024).

Index Hirscha na podstawie bazy Scopus wyniósł **6** (na dzień 21.10.2024).



.....  
(podpis wnioskodawcy)