

## АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

за Договором № Н/01-2020 від 21 вересня 2020 р.

### 1. Загальні відомості.

**1.1. Назва науково-дослідної роботи (далі – НДР):** “Метаболічна активність, фізіолого-біохімічна та молекулярно-генетична характеристика антарктичних металорезистентних штамів мікроорганізмів”. Код за Державним класифікатором видів науково-технічної діяльності ДК 015-97: I.1 03 Дослідження та розробки в галузі біологічних наук; ДК 021:2015: 73110000-6 Дослідницькі послуги.

**1.1.1. Категорія НДР:** прикладне дослідження.

**1.1.2. Номер державної реєстрації теми НДР:** 0120U104350.

**1.1.3. Номер облікової картки заключного звіту про виконання НДР:** \_\_\_\_\_.

**1.2. Замовник:** Державна установа Національний антарктичний науковий центр Міністерства освіти і науки України (далі – ДУ НАНЦ), бульвар Тараса Шевченка, 16, м. Київ, 01601.

**1.3. Організація-виконавець:** Львівський національний університет імені Івана Франка Міністерства освіти і науки України.

**1.4. Місце передачі результатів НДР:** бульвар Тараса Шевченка, 16, м. Київ, 01601.

### 1.5. Підстава для проведення НДР:

Постанова Кабінету Міністрів України від 3 листопада 2010 року № 1002 “Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011–2020 роки” {із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 88 від 18.01.2012; № 970 від 24.10.2012; № 488 від 11.07.2013; № 708 від 24.12.2014; № 397 від 23.05.2018} (далі – Програма).

План виконання фундаментальних та прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок Державної установи Національний антарктичний науковий центр МОН України на 2020 рік для реалізації завдань та заходів Державної цільової науково-технічної програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011–2020 роки, затверджений наказом ДУ НАНЦ від 20 лютого 2020 р. № 1-Н.

Наказ ДУ НАНЦ від 11.09.2020 р. № 6-Н “Про підсумки конкурсного відбору науково-дослідних робіт за Державною цільовою науково-технічною програмою проведення досліджень в Антарктиці на 2011–2020 роки, які виконуватимуться у 2020 році”.

**1.6. Назва бюджетної програми:** Наукова і науково-технічна діяльність на антарктичній станції “Академік Вернадський”, код програмної класифікації видатків 2201410.

**1.7. Термін виконання НДР:** початок – 21 вересня 2020 р., закінчення – 21 грудня 2020 р.

**1.8. Вартість НДР:** 190 тис. гривень; обсяг фактично отриманих коштів на виконання НДР: 190 тис. гривень.

**1.9. Керівник НДР:** Гнатуш Світлана Олексіївна, завідувач кафедри мікробіології Львівського національного університету імені Івана Франка, канд. біол. наук, професор.

**1.10. Виконавці НДР:** співробітники в рамках цивільно-правових договорів (кількість): 5, з них – кандидати наук: 4, доктори наук: 0.

## **2. Проблема, на вирішення якої спрямована НДР, об'єкт та предмет дослідження.**

### **2.1. Найменування завдання і заходу Програми, на виконання якого спрямовано науково-дослідну роботу.**

10. Проведення біорозвідки, пошуку та створення колекцій продуцентів біологічно активних речовин та технологічно перспективних штамів мікроорганізмів. 10.3. Вивчення та депонування металорезистентних мікроорганізмів для розроблення нових природоохоронних технологій.

### **2.2. Проблематика дослідження, стан та аналіз результатів попередніх досліджень.**

Мікробіота Антарктики зазнає впливу широкого спектру різних чинників, тому тут сформувався унікальний світ екстремофільних мікроорганізмів. Виділення із антарктичних субстратів штамів мікроорганізмів, дослідження їхніх властивостей, визначення стійкості до дії важких металів є важливими як з практичної, так і з теоретичної точок зору. Ці дослідження повинні бути системними і мати перспективу практичного використання для широкого кола дослідників. Для цього важливо зробити опис фізіолого-біохімічних властивостей виділених штамів, дослідити амплітуду їхньої метаболічної активності, зокрема, ензиматичної, за впливу сполук металів, визначити молекулярно-генетичні характеристики, ідентифікувати й задепонувати їх. Елімінація важких металів із довкілля за допомогою живих організмів дає змогу відновити ресурси із збереженням біологічної рівноваги в природі. Саме тому дослідження мікробіоти Антарктики є актуальною проблемою сучасності.

Виділенням перспективних штамів мікроорганізмів займаються дослідники з різних країн. Роботи, які проводять у відділі біології екстремофільних мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України під керівництвом докт. техн. наук О. Б. Таширева, стосуються дослідження екстремофільних мікроорганізмів: їх екології, фізіології, систематики, стійкості до екстремальних факторів. Ними створено колекцію мікроорганізмів з унікальними властивостями (Прекрасна Є. П. Стійкість мікроорганізмів природних екосистем за дії репрезентативних токсичних металів: дис. на здобуття наукового ступеня канд. біол. наук: 03.00.07. Київ, 2016. 169 с.; Говоруха В. М. Залізовідновлювальні мікроорганізми у біогеохімічних циклах вуглецю і заліза: дис. на здобуття наукового ступеня канд. біол. наук: 03.00.07. Київ, 2016. 181 с.). Група дослідників Київського національного університету імені Тараса Шевченка ізолювала культури мікроскопічних грибів і бактерій, які здатні синтезувати біологічно-активні речовини (Кондратюк та ін. (2016), Укр. антракт. журн., № 15). Науковці з Польщі ідентифікували низку генів стійкості до йонів важких металів у 62 штамів антарктичних бактерій, що дає змогу проаналізувати причини поширення фенотипів, стійких до йонів важких металів (Romaniuk K. et al. (2018), *Polar Biology*, Vol. 41). Бактерії, стійкі до високих концентрацій йонів важких металів, можуть бути використані для очищення стічних вод з одержанням цінних наноматеріалів. Вчені з Південної Америки дослідили здатність антарктичних бактерій видаляти As та Cd з розчинів і синтезувати флуоресцентні наночастинки CdS за низьких температур (Glatstein et al. (2018), *J. Environ. Eng.*, Vol. 144, № 3). Мікроорганізми використовують для синтезу флуоресцентних колоїдних наночастинок, які застосовують як біосенсори у сонячних батареях. У Центрі біоінформатики та інтегративної біології (Чилі) встановили здатність металорезистентних бактерій продукувати наночастинки, перспективні у процесах біоремедіації (Plaza D. O. et al. (2016),

Microbial Cell Factories, Vol. 15). Групою науковців з різних країн доведено ефективність використання антарктичних металорезистентних та металотолерантних психрофільних мікроорганізмів у деструкції вуглеводнів нафти у морській воді (Zakaria N. N. et al. (2020), Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 19, № 3). Мікроорганізми, високочутливі до кадмію, перспективні для розроблення біосенсорів для виявлення йонів металу в зразках з довкілля; психротолерантні штами мікроорганізмів є джерелом нових протимікробних сполук (Salwan & Sharma (2020), Physiological and Biotechnological Aspects of Extremophiles).

Пріоритетом колективу виконавців НДР вже понад 15 років є вивчення властивостей бактерій, виділених із різних біотопів, зокрема, визначення біологічних характеристик штамів мікроорганізмів, виділених з різних субстратів Антарктики, за впливу високих концентрацій сполук важких металів (Hnatysh et al. (2020), Ukrainian Antarctic Journal, Vol. 20, № 1; Komplikevych et al. (2020), Modern Problems of Biology, Biotechnology, Biomedicine). Виконані роботи з депонування антарктичних штамів *Arthrobacter* sp. IMB B-7860, *Pseudomonas* sp. IMB B-7866 та *Psychrobacter* sp. IMB B-7865. Забруднення середовищ важкими металами впливає на процеси, які здійснюють бактерії (Segin et al. (2018), Мікробіол. журн., Vol. 80, № 3; Hnatysh et al. (2018), Biosystems Diversity, Vol. 26, № 3; Segin et al. (2020), Ukr. Biochem. J., Vol. 92, № 1), тому важливо дослідити їхній метаболічний потенціал. Дослідження металорезистентних мікроорганізмів, виділених із різних зразків Антарктики, де вони піддавалися впливу екстремальних чинників середовища, та депонування їхніх штамів є актуальними і важливими для розроблення технологій очищення середовищ від різних поллютантів. Виконавці мають вітчизняний пріоритет, а також відомі у світі своїми роботами з генерування електричного струму бактеріями (Vasylyv et al. (2016), Mikrobiol. Biotechnol., № 4(36); Hnatysh & Maslovska (2018), The Development of Natural Sciences), розроблення технологій очищення стічних вод (Malovanyu et al. (2019), J. Ecol. Eng., Vol. 20, № 2; Hnatysh et al. (2020), Ecological Questions, Vol. 31, № 1; Moroz et al. (2020), Biosyst. Divers., Vol. 28, № 1), дослідження мікробоценозів (Чайка та ін. (2017), Агроекол. журн., № 1; Тарабас та ін. (2017), Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол., Вип. 76), про що свідчать близько 100 публікацій, які входять до наукометричних баз даних, 10 захищених кандидатських дисертацій, 13 охоронних документів.

### **2.3. Об'єкт та предмет дослідження.**

Об'єкт дослідження: металорезистентні штами мікроорганізмів, виділені з антарктичних зразків, відібраних під час українських антарктичних експедицій.

Предмет дослідження: фізіолого-біохімічні властивості, амплітуда ензиматичної активності за впливу сполук важких металів, молекулярно-генетична характеристика антарктичних мікроорганізмів.

### **3. Мета НДР.**

Метою роботи є виділення чистих культур металорезистентних мікроорганізмів з різних субстратів Антарктики для дослідження їхніх фізіолого-біохімічних властивостей та амплітуди метаболічної активності за впливу сполук важких металів, а також молекулярно-генетична характеристика, ідентифікація та депонування двох штамів.

### **4. Основні завдання.**

1. Виділити чисті культури металорезистентних мікроорганізмів з антарктичних зразків, отриманих під час українських антарктичних експедицій.

2. Визначити фізіолого-біохімічні властивості цих мікроорганізмів та амплітуду їхньої метаболічної активності, зокрема, глікозидазної, протеазної, ліпазної, амілазної, фосфатазної, за впливу сполук хрому, купруму, феруму, кадмію, мангану, кобальту.

3. З використанням молекулярно-генетичних методів охарактеризувати та ідентифікувати ізольовані культури мікроорганізмів.

4. Депонувати 2 штами мікроорганізмів у Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України.

5. Перевірити виділені штами на здатність метаболізувати органічні та неорганічні сполуки за росту на стічних водах промислового та муніципального походження та формувати електричний струм за цих умов.

## **5. Підхід, методи та засоби досліджень.**

### **5.1. Методологічні підходи та методи досліджень (у т.ч. нові або оновлені методи та засоби, методика та методологія досліджень, що створені авторами у ході виконання роботи).**

Новими є дослідження властивостей мікроорганізмів, ізольованих з антарктичних зразків, зокрема, особливостей їхньої морфології, метаболізму, адаптацій до впливу йонів важких металів, мультирезистентності до важких металів, що ґрунтуються на поєднанні міждисциплінарних методів, зокрема, ґрунтової мікробіології (для виділення нових штамів бактерій); фізіології і біохімії мікроорганізмів (для вивчення їх властивостей); біотехнології (для відбору штамів та оцінки можливості створення на їх основі технологій, спрямованих на очищення довкілля); біоінформатики (для обчислення статистичних параметрів даних, їхнього аналізу й оцінки достовірності). Вибрані методи доповнюють один одного і створюють цілісний ланцюг дослідження.

У роботі використано оновлені методи виділення, культивування та ідентифікації мікроорганізмів із антарктичних зразків із застосуванням диференціально-діагностичних середовищ, тест-систем і молекулярно-генетичних методів, які описані у працях: Гудзь С. П. Практикум з мікробіології : підручник : [для студ. вищ. навч. закл.] / С. П. Гудзь, С. О. Гнатуш, Г. В. Яворська, І. С. Білінська, Б. М. Борсукевич. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2014. – 436 с.; Определитель бактерий Берджи : в 2 т. Т 2. / ред. Дж. Хоулт, Н. Криг, П. Снит, Дж. Стейли, С. Уилльямс ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1997. – 368 с. Підібрано оптимальні умови для росту цих мікроорганізмів та синтезу ними біологічно-активних сполук. Застосування цих методів передбачає окремі модифікації, які враховують екстремальні умови, за яких ці мікроорганізми заселяли свій біотоп. У ході роботи оновлено існуючі методи визначення ензиматичних активностей мікроорганізмів, ізольованих з різних субстратів Антарктики, оптимізовано процес екзоелектрогенезу у мікробному паливному елементі та біоремедіації стічних вод за використання виділених бактерій (Malovanyu M. Perspective technologies of the treatment of the wastewaters with high content of organic pollutants and ammoniacal nitrogen / M. Malovanyu, O. Moroz, S. Hnatysh, O. Maslovska, V. Zhuk, I. Petrushka, V. Nykyforov, A. Sereda // J. Ecol. Eng. – 2019. – Vol. 20, № 2. – P. 8–15. doi: 10.12911/22998993/94917; Hnatysh S. Waste water treatment by exoelectrogenic bacteria, which were isolated from technogenically transformed territories / S. Hnatysh, O. Maslovska, T. Segin, O. Vasylyv, M. Kovalchuk, M. Malovanyu // Ecological Questions. – 2020. – Vol. 31, № 1. – P. 35–44. <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2020.005>).

Морфологічні властивості мікроорганізмів визначено із застосуванням біокулярного мікроскопа Axio Lab.A1 компанії Carl Zeiss та інвертованого мікроскопа Olympus IX73 з цифровою камерою DP-74.

Хромосомну ДНК виділяли методом м'якого лізису. Для штамів, зазначених як грам-позитивні, попередньо лізис клітинної стінки проводили лізоцимом в концентрації 1 мг на мл в TES буфері за температури 37 °С 20-30 хвилин. Для штамів, зазначених як грам-негативні, дана обробка не проводилась. Очистку від білків здійснювали висолюванням ацетатом калію. ДНК осаджували ізопропанолом з відмиванням 70% етанолом. ДНК розчиняли в MQ воді.

Ген 16S рРНК ампліфікували, використовуючи універсальні праймери: 27F AGAGTTTGATCCTGGCTCAG та 1492R GGTTACCTTGTTACGACTT. ПЛР реакцію здійснювали в об'ємі 50 мкл у 2 пробірках для кожного штаму з використанням Таq полімерази (NEB M0273X). Як матрицю для ПЛР реакції використовували хромосомну ДНК штамів. Продукти ПЛР реакції аналізували електрофорезом ДНК в агарозному гелі та візуалізували фарбуванням етидій бромідом. У випадку трьох штамів (17\_105, 89\_1T\_89 та 14\_101) ПЛР реакції не дали продуктів, тому хромосомну ДНК додатково попередньо фрагментували обробкою ендонуклеазою рестрикції *VamHI*.

ПЛР продукти очищали з гелю з використанням сіліка-колонок, аналізували щодо концентрації ДНК та якості очистки. Продукти секвенували з праймерів 27F AGAGTTTGATCCTGGCTCAG та 1492R GGTTACCTTGTTACGACTT, використовуючи BigDye terminators mix, та фрагменти аналізували на ABI Prism 3130 xl. Одержані нуклеотидні послідовності (дві для кожного зразка, що відповідають зчитуванню ДНК з 27F та 1492R праймерів) аналізували щодо якості даних, збирали в одну послідовність для кожного штаму, обрізали недостовірні кінці та аналізували з допомогою BLAST пошуку щодо SILVA бази даних.

Резистентність до сполук хрому, купруму, феруму, кадмію, мангану, кобальту визначено з використанням культуральних та біохімічних методів як це описано у працях: Дяків С. В. Фізіолого-біохімічні властивості *Desulfuromusa* sp. CB30, виділених із породних відвалів вугільних шахт / С. В. Дяків, С. О. Гнатуш, А. А. Галушка // Мікробіол. журн. – 2017. – Т. 79, № 5. – С. 80–90. <http://microbiolj.org.ua/ua/>; Kuzmishyna-Diakiv S. Microbiota of the Coal Pits Waste Heaps / S. Kuzmishyna-Diakiv, S. Hnatysh. – Lambert Academic Publishing, 2015. – 48 p. ISBN: 978-3-659-77404-1. Визначення фізіолого-біохімічних властивостей мікроорганізмів (Гудзь С. П. Практикум з мікробіології : підручник : [для студ. вищ. навч. закл.] / С. П. Гудзь, С. О. Гнатуш, Г. В. Яворська, І. С. Білінська, Б. М. Борсукевич. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2014. – 436 с.; Remel RapID™ ANA II [Electronic resource] : [Cited 2019, 19 December]. – Available from : [http://www.oxid.com/UK/blue/prod\\_detail/prod\\_detail.asp?pr=R8311002](http://www.oxid.com/UK/blue/prod_detail/prod_detail.asp?pr=R8311002)) проведено з використанням спектрофотометра DeNovix DS-11+ і вискоефективного рідинного хроматографа Agilent 7890A. Із використанням відповідних тест-систем визначено здатність ізольованих мікроорганізмів до синтезу низки ензимів (Elegado F. Screening, identification and optimization of extracellular lipase production of yeast (*Cryptococcus flavescens*) isolated from a tree canopy fern in the Mount Makiling Forest Reserve, Philippines / F. Elegado, C. L. Legaspi, J. M. Paet, F. Querubin, J. E. Tolentino, J. Vilela, J. Zarate // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2019 – Vol. 2155, No. 1. – P. 020029; Ottoni J. R. Characterization of amylase produced by cold-adapted bacteria from Antarctic samples / J. R. Ottoni, T. R. e Silva, V. M. de Oliveira, M. R. Z. Passarini // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. – 2020. – Vol. 23. – P. 101452). За використання сучасних біохімічних методів визначено метаболічний потенціал ізолятів за впливу сполук важких металів. Здатність до екзоелектрогенезу визначено з використанням однокамерного мікробного паливного елемента. Зміни вмісту органічних та неорганічних сполук у стічних водах досліджено шляхом визначення хімічного поглинання кисню у цих субстратах до та після культивування бактерій (Wang J.-P. Analysis and discussion on the calculation formula of the classical monitoring method of the permanganates index (IMn) / J.-P. Wang, Q.-H. Dong // Journal of Education and Practice. – 2018 . – Vol. 9, No. 22. – P. 1–4; Protocol for the Sampling and Analysis Of Industrial / Municipal Wastewater. Version: 2.0, 2016, Ontario Ministry of the Environment and Climate Change, Laboratory Services Branch, Ontario, 195 pp; ISO 17381:2003. Water quality. Selection and application of ready-to-use test kit methods in water analysis).

**5.2. Матеріально-технічне забезпечення робіт (у т.ч. вказати, які первинні дані, матеріали та/або зразки, отримані в українських антарктичних експедиціях, використані для досліджень).**

У Львівському національному університеті імені Івана Франка наявна матеріально-технічна база для виконання запланованих робіт по темі, зокрема, для досліджень використано наявні на кафедрі мікробіології електронні ваги АД-50 та AS-220R2 (акти повірки 10.12.2019–04.12.2020), ФЕК КФК-3, спектрофотометр СФ-46, рН-метр 150 М, стерилізатор паровий (акти повірки 12.12.2019–10.12.2020), 4 холодильники, 3 термостати, центрифуги ЦР-2, ОС-6М, ультразвуковий дезінтегратор, бінокулярний мікроскоп Axio Lab.A1 з цифровою камерою компанії Carl Zeiss. Роботи з мікроорганізмами проводились у 2 боксах, для їх культивування використано холодильники та термостатну кімнату. Для досліджень використано наявні у міжфакультетській навчальній лабораторії інструментальних методів дослідження, яка знаходиться на кафедрі мікробіології, електронний мікроскоп, високоефективний рідинний хроматограф Agilent 7890A. Для роботи використано наявні у Міжуніверситетському центрі колективного користування клітинної біології та біоенергетики, який знаходиться на біологічному факультеті, інвертований мікроскоп Olympus IX73 з цифровою камерою DP-74 та спектрофотометр DeNovix DS-11+.

Для досліджень використано зразки ґрунту та мохоґрунту, отримані в українських антарктичних експедиціях:

- 1; відібрано 1.02.2019, зразок – мохоґрунт, о. Бус, координати 65°04.043 064°01.427;
- 2; відібрано 11.02.2019, зразок – мохоґрунт, мис Туксен, Антарктичний півострів, координати 65°16.184, 064°07.141;
- 4; відібрано 18.02.2019, зразок – ґрунт, *Deschampsia*, мох, о. Дербокс, координати 65°23.711 064°12.912;
- 5; відібрано 18.02.2019, зразок – ґрунт, *Deschampsia*, мох, о. Барселот, координати 65°19.705, 064°08.060;
- 6; відібрано 18.02.2019, зразок – ґрунт, *Deschampsia*, мох, о. Барселот, координати 65°19.701, 064°08.603;
- 8; відібрано 22.02.2019, зразок – ґрунт, *Deschampsia*, мох, о. Великий Ялур, координати 65°14.020, 064°09.666;
- 9; відібрано 22.02.2019, зразок – ґрунт, мох, гриби, мис Расмусен, Антарктичний півострів, координати 65°14.848, 064°05.080;
- 10; відібрано 23.02.2019, зразок – мохоґрунт, о. Рока, координати 65.10.730, 064.29.534;
- 11; відібрано 26.02.2019, зразок – мохоґрунт, о. Скуа, координати 65.15.287, 064.16.417;
- 12; відібрано 2.03.2019, зразок – мохоґрунт, о. Велер, координати 65°26.947 065°24.103;
- 14; відібрано 2.03.2019, зразок – мохоґрунт, о. Велер, координати 65°26.947, 065°24.103;
- 17; відібрано 20.02.2019, зразок – мохоґрунт, о. Крулс, координати 65011.581 064032.634;
- 64; відібрано 20.03.2019, зразок – бентос, острови Рока, координати 65.10.443, 64.29.313;
- 79; відібрано 12.03.2019, зразок – ґрунт, *Deschampsia*, мох, о. Пітерман, координати 65°10.342, 064°08.317;
- 88; відібрано 30.03.2019, зразок – *Deschampsia antarctica*, о. Галіндез, координати 65°14.704, 064°15.160;
- 89; відібрано 30.03.2019, зразок – *Deschampsia antarctica*, о. Галіндез, координати 65°14.783, 064°14.788;
- 95; відібрано 1.04.2019, зразок – мохоґрунт, о. Ірізар, координати 65°13.183, 064°11.695;
- 96; відібрано 1.04.2019, зразок – мох, о. Форджі, координати 65°13.790, 064°16.700;

3; відібрано 11.02.2019, зразок – лишайник, координати 65<sup>0</sup>16.441 064<sup>0</sup>06.816, мис Туксен, Антарктичний півострів;

67; відібрано 28.02.2019, координати 65.14.910, 64.14.707;

68; водойма на острові Галіндез, зразок – бентос, відібрано 28.02.2019, координати 65.14.945, 64.14.785;

75; відібрано 9.03.2019, зразок – мохогрунт, о. Галіндез, координати 65<sup>0</sup>14.798, 064<sup>0</sup>14.930;

15; відібрано 18.02.2020, зразок Скеля Крапля – *Deschampsia antarctica*, о. Галіндез, координати 65.247023°, 64.243284°;

Д8; відібрано 18.02.2020, зразок – *Deschampsia antarctica*, о. Галіндез.

### **5.3. Особливі вимоги до техніки безпеки, охорони праці, захисту довкілля тощо.**

Проведення експериментів здійснено з урахуванням правил техніки безпеки та охорони праці. Реакційні суміші після виконання експериментальних робіт та миття посуду утилізовані з дотриманням вимог щодо захисту довкілля.

## **6. Основні результати НДР, їх наукова новизна.**

**6.1. Основні результати досліджень. Опис створеної наукової (науково-технічної) продукції, її якісні та кількісні (технічні) характеристики та (або) параметри (у т.ч. вказати відповідність отриманих результатів показників(ам) виконання відповідного(их) завдання(ь) та заходу(ів) згідно з Додатком 2 до Програми).**

Визначено чисельність мікроорганізмів різних груп (КУО/г сухої маси) зразків ґрунту, моху, мохогрунту. Із антарктичних зразків виділено 5 чистих культур металорезистентних мікроорганізмів, що характеризуються різними ензиматичними активностями. Проведено дослідження їхніх морфологічних, культуральних та фізіолого-біохімічних характеристик. Визначено стійкість антарктичних мікроорганізмів до впливу важких металів (Cd<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cr(VI), Mn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>). Визначено амплітуду метаболічної активності цих мікроорганізмів, зокрема, ліпазної та амілазної, за впливу сполук хрому, купруму, феруму, кадмію. Досліджено формування електричного струму у мікробному паливному елементі виділеними штамми антарктичних мікроорганізмів. Визначено здатність антарктичних мікроорганізмів до синтезу біологічно-активних речовин, зокрема, ферментів та екзополісахаридів, і екзоелектрогенезу. За результатами філогенетичного аналізу послідовності гена 16S рРНК бактерії ідентифіковано як представники родів *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*. Відповідні нуклеотидні послідовності гена 16S рРНК задепоновано в базі даних GenBank. Поповнено колекцію технологічно перспективних штамів мікроорганізмів 5-ма новими штамми металорезистентних бактерій, які можуть бути перспективними для використання у природоохоронних технологіях. Депоновано два штами мікроорганізмів у Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України. Отримано свідоцтва про депонування двох штамів мікроорганізмів: *Paenibacillus tundrae* ІМВ В-7915 та *Pseudomonas yamanorum* ІМВ В-7916, від 02.12.2020 р.

У ході виконання НДР отримано результати, які відповідають плановому показникові виконання заходу 3 завдання 10 Державної цільової науково-технічної програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011–2020 роки.

**6.2. Наукова новизна та оцінка рівня отриманих результатів на основі їх порівняння із існуючими аналогами у світовій науці з посиланням на конкретні публікації.**

Фізіолого-біохімічні властивості антарктичних мікроорганізмів досліджують з метою з'ясування їхньої здатності синтезувати біологічно-активні речовини як результат адаптації до

екстремальних умов існування, зокрема, низької температури, ультрафіолетового випромінювання, впливу сполук важких металів тощо (Кондратюк та ін. (2016), Укр. антракт. журн., № 15). За результатами проведених досліджень із антарктичних зразків, отриманих під час українських антарктичних експедицій, виділено нові чисті культури мікроорганізмів, досліджено їхні фізіологічні та біохімічні властивості, встановлено амплітуду метаболічної активності за впливу сполук важких металів. На основі проведених досліджень нами отримано базу даних питомих ензиматичних активностей антарктичних штамів мікроорганізмів за впливу сполук хрому, купруму, феруму, кадмію, мангану, кобальту, що дасть змогу ефективно підібрати штами для розроблення біотехнологій ремедіації забруднених субстратів. Виділені металорезистентні штами мікроорганізмів здатні синтезувати біологічно-активні речовини, зокрема, ензими. Вже відомо, що мікроорганізми, виділені з антарктичних зразків, характеризуються антибактеріальною й антифунгальною активністю. Встановлено, що метаболіти міцеліальних грибів Антарктики пригнічують ріст *Staphylococcus aureus* (Henriquez et al. (2013), Chilean Antarctic Bull., Vol. 13, № 1–2); з грибів *Penicillium nalgiovense* Laxa, ізольованих з антарктичних зразків, виділено амфотеріцин, який проявляє активність щодо *Candida albicans* (Svahn et al. (2015), Fungal Biol. & Biotechnol., Vol. 1); гриби роду *Penicillium*, виділені з екологічних ніш Арктики і Антарктики, синтезують ергоалкалоїди, які виявляють антибактеріальні, антифунгальні і протипухлинні властивості (Антипова Т. В. Штаммы-реликты грибов рода *Penicillium* как продуценты вторичных метаболитов: автореф. дисс. канд. биол. наук. 2009. 22 с.). Екзополісахариди антарктичних мікроорганізмів можна використовувати як біосурфактанти у процесах детоксикації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами (Poli et al. (2010), Mar Drugs, Vol. 8, № 6; Papa et al. (2013), Res. Microbiol., Vol. 164, № 5; Geraldine Asencio et al. (2014), Electron. J. Biotechnol., Vol. 17, № 1). Однак ензиматична активність антарктичних штамів за впливу важких металів досліджена мало. Антарктичні мікроорганізми стійкі до широкого спектру токсичних сполук важких металів і з високою ефективністю вилучають їх із розчинів. На основі цього явища розроблено біотехнології, які дають змогу одночасно знешкоджувати поліметалічні стічні води і утилізувати екологічно небезпечні органічні відходи, наслідком чого є одержання концентрату металів та екологічно чистої води. Природоохоронні біотехнології, розроблені для знешкодження органічних відходів та очищення стічних вод на українській антарктичній станції “Академік Вернадський”, можуть бути впроваджені в Україні для біоремедіації побутових звалищ та очищення фільтратів мегаполісів (Таширев (2013), Світогляд, № 1). Депонування двох штамів мікроорганізмів: *Paenibacillus tundrae* 5A–101 (*Paenibacillus tundrae* IMB B-7915), виділеного з ґрунту, відібраного з-під моху *Deschampsia antarctica*, о. Барселот, Антарктида (координати 65°19.705, 064°08.060), та *Pseudomonas yamanorum* 9.9\_102 (*Pseudomonas yamanorum* IMB B-7916), виділеного з ґрунту, відібраного з-під моху, мис Расмусен, Антарктичний півострів (координати 65014.848, 064005.080), поповнило колекцію технологічно перспективних штамів, і у подальшому дасть змогу активно здійснювати патентно-ліцензійну діяльність.

## **7. Практична цінність результатів НДР.**

### **7.1. Експлуатаційні та споживчі характеристики створеної науково-технічної продукції.**

За результатами проведених досліджень підготовлено науковий та анований звіти про виконання науково-дослідної роботи, депоновано два штами мікроорганізмів у Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України та отримано свідоцтва про їхнє депонування. Бактерії *Paenibacillus tundrae* IMB B-7915 як джерела карбону використовують лактозу, мальтозу, манозу, сахарозу і маніт, стійкі до 50 мкМ  $\text{Cd}^{2+}$ , 1 мМ  $\text{Fe}^{2+}$ , 2 мМ  $\text{Cu}^{2+}$ , 0,5 мМ  $\text{Cr(VI)}$ , 15 мМ  $\text{Mn}^{2+}$ , 10 мМ  $\text{Co}^{2+}$ . Характеризуються аргініндекарбоксілазною, орнітиндекарбоксілазною, лізиндекарбоксілазною,  $\beta$ -галактозидазною,



амілолітичною і ліполітичною активностями. Продукт, що синтезується штамом: амілаза, ліпаза, антибіотик. Бактерії *Pseudomonas yamanorum* IMB B-7916 як джерела карбону використовують сахарозу, мальтозу, манозу, лактозу, дульцит, інозит, маніт, сорбіт, стійкі до 0,1 мМ Cd<sup>2+</sup>, 1 мМ Fe<sup>2+</sup>, 1 мМ Cr(VI), 2 мМ Cu<sup>2+</sup>, 25 мМ Mn<sup>2+</sup>. Мають каталазу, оксидазу, ліполітичну, протеазну й амілолітичну активності. Продукт, що синтезується штамом: амілаза, ліпаза, протеаза, екзополісахариди. Досліджено формування електричного струму у мікробному паливному елементі виділеними штамми антарктичних мікроорганізмів за росту на триптон-соевому бульйоні. Найвище значення густини потужності (0,45±0,02 мВт/м<sup>2</sup>) було отримано упродовж другої доби культивування. Наведені характеристики відібраних металорезистентних штамів дозволяють вважати їх перспективними для використання у біотехнологіях очищення забруднених середовищ від органічних субстратів (джерел карбону) та важких металів (Cd<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cr(VI), Mn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>), а також для отримання амілолітичних, ліполітичних та протеолітичних ферментів.

## **7.2. Цінність отриманих результатів для потреб розвитку соціально-економічної системи країни та загальнолюдської спільноти; для конкретної галузі науки та суспільної практики; для світової та вітчизняної науки.**

Кінцева науково-технічна продукція, отримана в результаті виконання завдань НДР (технологічно перспективні штами антарктичних мікроорганізмів), має фундаментальне наукове і вагомим практичне значення та може бути використана в різних галузях біотехнологічних виробництв, промисловості, природоохоронних технологіях, зокрема, спрямованих на біоремедіацію ґрунтів, очищення побутових чи промислових стоків, забруднених токсичними металами тощо. Високий рівень рентабельності технологій з використанням мікроорганізмів може бути забезпечений за рахунок значної ефективності, стійкості у широкому діапазоні температури та рН, біологічної активності, а водночас біодеградабельності і низької токсичності продуктів мікробного синтезу, зокрема, ензимів, які можуть широко застосовуватися в різних галузях діяльності людини. Розвиток рентабельних промислових біотехнологій передбачає інтенсивний пошук активних штамів-продуцентів, місця існування яких пов'язані з екстремальними умовами, які мають високий адаптаційний потенціал і здатні синтезувати біологічно-активні сполуки на недорогій сировині. Використання металорезистентних мікроорганізмів в природоохоронних заходах (зокрема, для біоремедіації, очищення металовмісних стічних вод) є найефективнішим способом вирішення проблеми техногенних порушень, які призводять до передкризового або кризового стану екосистем.

Дослідження фізіологічних та біохімічних властивостей стійких до дії важких металів штамів мікроорганізмів, які виділені із різних антарктичних зразків, амплітуди метаболічної активності за впливу сполук важких металів суттєво доповнюють сучасне розуміння їх адаптаційних механізмів до умов існування та продукування біологічно-активних речовин, оскільки особливості метаболізму мікроорганізмів за дії різноманітних стресових чинників, зокрема, важких металів чи УФ-променів залишаються у багатьох випадках мало з'ясованими. Розвиток біотехнологій, що засновані на використанні потенціалу стійких до екстремальних умов мікроорганізмів у трансформуванні органічних та неорганічних забруднювачів докільця та в отриманні біологічно-активних сполук, зокрема, ензимів, є одним із стратегічних напрямків сучасної світової та вітчизняної науки.

Отримані результати роботи є цінними для удосконалення й оновлення розділу “Екологія мікроорганізмів” лекційного курсу “Мікробіологія” (для студентів бакалаврського рівня) та курсу “Регуляція метаболізму у прокариот” (для аспірантів), а також для розроблення нової лабораторної роботи з “Великого практикуму” на тему “Виділення чистих культур мікроорганізмів з різних природних субстратів”. Результати виконаної роботи стали основою для підготовки магістерської

роботи “Властивості металорезистентних ізолятів бактерій, виділених з різних субстратів Антарктики” (Груна І.), дипломної роботи бакалавра “Синтез екзополісахаридів металорезистентними штамми бактерій, виділених з антарктичних зразків, за різних умов культивування” (Замкова К.), 4 курсових робіт: “Властивості бактерій *Paenibacillus tundrae* ІМВ В-7915, виділених з субстратів Антарктики” (Канецька А.); “Властивості бактерій *Pseudomonas uataporum* ІМВ В-7916, виділених з субстратів Антарктики” (Мельник В.); “Синтез біологічно-активних сполук мікроорганізмами, виділеними з різних субстратів Антарктики” (Чуберкіс Х.); “Екзоелектрогенні властивості антарктичних мікроорганізмів” (Відсанко А.), та дисертаційної роботи Комплікевич С. Я. “Взаємозв’язки між прооксидантними і антиоксидантними показниками металорезистентних бактерій, виділених з різних біотопів”.

**7.3. Навести перелік інформаційно-аналітичних матеріалів, рекомендацій, розробок, пропозицій тощо, що можуть бути передані для використання поза межами організації-виконавця на підставі укладання господарчих договорів, грантових угод, продажу ліцензій тощо (Інформацію щодо результатів роботи, які впроваджено у 2020 році, навести за формою, що додається).**

Результати дослідження метаболічної активності мікроорганізмів за впливу сполук важких металів, виділених із субстратів Антарктики, здатних до перетворення різних політантів, зокрема, токсичних, можуть бути використані для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо способів захисту навколишнього середовища від наслідків потрапляння у нього різних забруднювачів. Штами мікроорганізмів *Paenibacillus tundrae* ІМВ В-7915 та *Pseudomonas uataporum* ІМВ В-7916, які зареєстровані у Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, можуть бути передані для використання поза межами організації-виконавця на підставі продажу ліцензій, укладання господарчих договорів чи грантових угод.

Науково-технічна продукція, отримана в результаті виконання проекту (штами антарктичних мікроорганізмів та їхня характеристика), може бути використана фахівцями установ Національної академії наук України, галузевих академій наук України, Міністерства освіти і науки України, в різних галузях біотехнологічних виробництв, промисловості, природоохоронних технологіях. Вона є інвестиційно привабливою для Міністерства екології та природних ресурсів України, низки промислових підприємств. Оскільки результати дослідження адаптаційних механізмів стійких до дії важких металів штамів мікроорганізмів, які виділені із різних антарктичних зразків, до умов існування та продукування біологічно-активних речовин мають вагоме фундаментальне наукове значення, вони можуть бути використані для підготовки фахівців у ЗВО Міністерства освіти і науки України.

## **8. Ступінь розкриття результатів НДР.**

**8.1. Перелік публікацій у фахових українських та зарубіжних виданнях, доповідей на конференціях та семінарах, захищених дисертацій, отриманих патентів, проданих ліцензій тощо).**

Статті в журналах і збірниках:

Статті у фахових виданнях України:

1. Hnatysh S. O. Morphological, physiological and biochemical characteristics of metal resistant isolates of bacteria obtained from different Antarctic substrates / S. O. Hnatysh, T. B. Peretyatko, O. D. Maslovska, O. M. Moroz, S. Ya. Komplikevych, T. O. Kondratiuk // Ukrainian Antarctic Journal. –

2020. – Vol. 1. – P. 82–92. doi: 10.33275/1727-7485.1.2020.381. <http://uaj.uac.gov.ua/> (**Google scholar**)

Статті в інших виданнях України:

1. Komplikevych S. Properties of Antarctic isolates that grow on waste waters / S. Komplikevych, O. Maslovska, S. Hnatush // International Summer School Conference “Biology, Biotechnology, Biomedicine”. Modern Problems of Biology, Biotechnology, Biomedicine, June 29 – July 10, 2020. – P. 44–51.

Підготовлено до друку 2 статті:

1. Комплікевич С. Властивості металорезистентних бактерій з ліполітичною, амілолітичною, протеолітичною активностями, виділених з біотопів Антарктики / С. Комплікевич, І. Груна, О. Масловська, Т. Перетятко, О. Мороз, С. Гнатуш // Укр. антаркт. журн. – 12 с. – 12.2020.
2. Hnatush S. Metal resistant bacteria of the genus *Pseudomonas* isolated from Antarctic substrates / S. Hnatush, O. Maslovska, S. Komplikevych, O. Moroz, T. Peretyatko // Polar biology. – 9 p. – 12.2020.

Тези та матеріали конференцій, інші публікації:

1. Komplikevych S. Ability of Antarctic microorganisms to synthesis of substances with antibiotic activity / S. Komplikevych, I. Bulka, L. Kashuba, O. Maslovska, T. Peretyatko, O. Moroz, S. Hnatush // XVI International Scientific Conference for Students and PhD students “Youth and progress of biology”, dedicated to the 75<sup>th</sup> anniversary of the faculty of biology of Ivan Franko National University of Lviv and 90<sup>th</sup> anniversary from the birthday of prof. M. P. Derkach, April 27–29, 2020 : abstract book. – Lviv, Ukraine, 2020. – P. 159.
2. Komplikevych S. Identification of psychrophilic microorganisms, isolated from Antarctic samples / S. Komplikevych, I. Bulka, L. Kashuba, O. Maslovska, T. Peretyatko, O. Moroz, S. Hnatush // XVI International Scientific Conference for Students and PhD Students “Youth and progress of biology”, dedicated to the 75<sup>th</sup> anniversary of the faculty of biology of Ivan Franko National University of Lviv and 90<sup>th</sup> anniversary from the birthday of prof. M. P. Derkach, April 27–29, 2020 : abstract book. – Lviv, Ukraine, 2020. – P. 159–160.
3. Komplikevych S. Metal resistant strains of microorganisms from different Antarctic substrates – morphological, physiological and biochemical properties / S. Komplikevych, I. Bulka, L. Kashuba, O. Maslovska, T. Peretyatko, O. Moroz, S. Hnatush // XVI International Scientific Conference for Students and PhD Students “Youth and progress of biology”, dedicated to the 75<sup>th</sup> anniversary of the faculty of biology of Ivan Franko National University of Lviv and 90<sup>th</sup> anniversary from the birthday of prof. M. P. Derkach, April 27–29, 2020 : abstract book. – Lviv, Ukraine, 2020. – P. 160–161.
4. Komplikevych S. Physiological and biochemical characteristics of metal-resistant strains of microorganisms from Antarctic biotopes / S. Komplikevych, I. Hruna, O. Maslovska // Young Scientists Conference “Youth and modern problems of microbiology and virology”, Danylo Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine, November 23–26, 2020 : abstract book. – Kyiv, Ukraine, 2020. – P. 21.
5. Груна І. Амілолітична активність мікроорганізмів, виділених із антарктичних біотопів / І. Груна, С. Комплікевич, О. Масловська, Т. Перетятко, О. Мороз, С. Гнатуш // XIX Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція молодих вчених “Молоді вчені у розв’язанні актуальних проблем біології, тваринництва та ветеринарної медицини”, присвячена 90-річчю від дня народження доктора біологічних наук, професора Яновича Вадима Георгійовича, 3–4 грудня 2020 р. : тези доп. – Львів, 2020.

Підготовлено до друку тези доповідей на XVII Міжнародній науковій конференції студентів і аспірантів “Молодь і поступ біології” (Львів, квітень 2021 р.) та X Міжнародній Антарктичній

Конференції, присвяченій 25-річчю підняття Державного прапора України на Українській антарктичній станції “Академік Вернадський” (Київ, 11–13 травня 2021 р.).

Перелік охоронних документів (патенти, свідоцтва про реєстрацію авторського права) на об'єкти права інтелектуальної власності:

1. Свідоцтво про депонування штаму бактерій *Paenibacillus tundrae* 5A–101 у Депозитарії Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України з наданням реєстраційного номеру *Paenibacillus tundrae* ІМВ В-7915 від 02 грудня 2020 року / С. О. Гнатуш, Т. Б. Перетятко, О. М. Мороз, О. Д. Масловська, С. Я. Комплікевич.
2. Свідоцтво про депонування штаму бактерій *Pseudomonas yamanorum* 9.9\_102 у Депозитарії Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України з наданням реєстраційного номеру *Pseudomonas yamanorum* ІМВ В-7916 від 02 грудня 2020 року / С. О. Гнатуш, О. М. Мороз, Т. Б. Перетятко, О. Д. Масловська, С. Я. Комплікевич.

**9. Висновки (у т.ч. навести оцінку одержаних результатів роботи з урахуванням світових тенденцій вирішення проблеми).**

1. Виділено 5 чистих культур металорезистентних мікроорганізмів з антарктичних зразків, отриманих під час 23-ї і 24-ї українських антарктичних експедицій.
2. Визначено морфологічні, культуральні та фізіолого-біохімічні характеристики виділених штамів мікроорганізмів.
3. За результатами філогенетичного аналізу послідовності гена 16S рРНК та з урахуванням фізіолого-біохімічних властивостей досліджувані штами ідентифіковано як представники родів *Paenibacillus*, *Rhodococcus* та *Pseudomonas*.
4. Визначено стійкість антарктичних мікроорганізмів до впливу важких металів ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr(VI)}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ). Встановлено, що бактерії *Paenibacillus tundrae* ІМВ В-7915 стійкі до 50 мкМ  $\text{Cd}^{2+}$ , 1 мМ  $\text{Fe}^{2+}$ , 2 мМ  $\text{Cu}^{2+}$ , 0,5 мМ  $\text{Cr(VI)}$ , 15 мМ  $\text{Mn}^{2+}$ , 10 мМ  $\text{Co}^{2+}$ ; *Pseudomonas yamanorum* ІМВ В-7916 – до 0,1 мМ  $\text{Cd}^{2+}$ , 1 мМ  $\text{Fe}^{2+}$ , 1 мМ  $\text{Cr(VI)}$ , 2 мМ  $\text{Cu}^{2+}$ , 25 мМ  $\text{Mn}^{2+}$ .
5. Визначено амплітуду метаболічної активності *Paenibacillus tundrae* ІМВ В-7915, *Pseudomonas yamanorum* ІМВ В-7916, штамів 17\_105 та 79\_102, зокрема, ліпазної та амілазної активностей, за впливу сполук хрому, купруму, феруму, кадмію.
6. Встановлено, що виділені з антарктичних зразків металорезистентні штами використовують широкий спектр органічних сполук як джерела карбону. Бактерії *Paenibacillus tundrae* ІМВ В-7915 як джерела карбону використовують лактозу, мальтозу, манозу, сахарозу і маніт; *Pseudomonas yamanorum* ІМВ В-7916 – сахарозу, мальтозу, манозу, лактозу, дульцит, інозит, маніт, сорбіт.
7. Визначено здатність антарктичних мікроорганізмів до синтезу біологічно-активних речовин, зокрема, ферментів та екзополісахаридів, і екзоелектрогенезу. Бактерії *Paenibacillus tundrae* ІМВ В-7915 характеризуються аргініндекарбоксилазною, орнітиндекарбоксилазною, лізиндекарбоксилазною,  $\beta$ -галактозидазною, амілолітичною і ліполітичною активностями. Бактерії *Pseudomonas yamanorum* ІМВ В-7916 характеризуються аргініндекарбоксилазною, орнітиндекарбоксилазною,  $\gamma$ -глутамілтранспептидазною, каталазою, ліпазою, амілазною активностями, синтезують екзополісахариди і здатні до екзоелектрогенезу.
8. Поповнено колекцію технологічно перспективних штамів мікроорганізмів 5-ма новими штамми металорезистентних бактерій, які можуть бути використані у природоохоронних технологіях.
9. Депоновано два штами мікроорганізмів у Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України. Отримано свідоцтва про депонування двох

штамів мікроорганізмів: *Paenibacillus tundrae* ІМВ В-7915 та *Pseudomonas yamanorum* ІМВ В-7916, від 02.12.2020 р. Депоновані штами є перспективними для використання у біотехнологіях очищення забруднених середовищ від органічних субстратів (джерел карбону) та важких металів ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr(VI)}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ), а також для отримання амілолітичних, ліполітичних та протеолітичних ферментів.

**10. Обґрунтування доцільності подальшого проведення наукових досліджень із даної тематики:**

Мікробіота Антарктики зазнає впливу широкого спектру різних чинників, тому тут сформувався унікальний світ екстремофільних мікроорганізмів. Стратегія розвитку сучасної світової науки пов'язана з біотехнологіями, які ґрунтуються на використанні потенціалу мікроорганізмів екстремальних місцеснувань, зокрема, стійких до дії важких металів. Тому пошук штамів серед різноманіття антарктичних мікроорганізмів, які можуть широко застосовуватися в промисловості, природоохоронних заходах тощо, та встановлення їхніх біологічних особливостей, є надзвичайно перспективним завданням.

**11. Рішення Вченої ради біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка від 11 листопада 2020 року (протокол № 4 (6)) про відповідність та завершеність науково-дослідної роботи, впровадження її результатів тощо.**

Вважати, що запланований обсяг робіт по темі “Метаболічна активність, фізіолого-біохімічна та молекулярно-генетична характеристика антарктичних металорезистентних штамів мікроорганізмів” виконано повністю відповідно до умов Договору, календарного плану та технічного завдання. Науковий та анований звіти про виконання НДР по темі Н/01-2020 за Договором № Н/01-2020 від 21 вересня 2020 р. затвердити.

Науковий керівник роботи

Ректор Львівського національного  
Університету імені Івана Франка

\_\_\_\_\_ С. О. Гнатуш

\_\_\_\_\_ В. П. Мельник

МП