

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка
46023, м. Тернопіль, вул. М. Кривоноса, 2; тел. (0352) 43 59 01

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. ректора Тернопільського національного
педагогічного університету імені
Володимира Гнатюка,
д. пед. наук, проф.

_____ Володимир КРАВЕЦЬ
23.12.2024 р.

**Проміжний звіт
про результати виконання 4-го етапу завдань перспективного плану
розвитку наукового напрямку «Біологія та охорона здоров'я» у
Тернопільському національному педагогічному університеті
імені Володимира Гнатюка**

**ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ І ПРОДУКТИВНОСТІ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ОРГАНІЗМІВ ТА ЇХ УГРУПОВАНЬ ЗА ВПЛИВУ
ІСНУЮЧИХ І МОДЕЛЬНИХ ФАКТОРІВ, У ТОМУ ЧИСЛІ БОЙОВИХ ДІЙ, НА
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ УГІДДЯ ТА ВОДНІ РЕСУРСИ**

Науковий керівник
д. біол. наук, проф

_____ Надія ДРОБИК

2024

Підготовку звіту завершено 23 грудня 2024 р.

1. Номер державної реєстрації роботи: 0121U111540.

2. Номер договору, за яким надається фінансування: Додаткова угода № БФ/3-2024 від 01.06.2024 р. до Договору № БФ/2-2021 від 01.06.2021 р.

3. Науковий напрям, до якого відноситься робота, відповідно до додатку до України від 19 липня 2017 року № 540: Біологія та охорона здоров'я.

4. Найменування організації-виконавця роботи: Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка.

5. Власне ім'я та прізвище наукового керівника наукової (науково-технічної) роботи: Надія ДРОБИК.

6. Місце основної роботи наукового керівника: перший проректор, професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка.

7. Терміни та тривалість виконання роботи:

Тривалість роботи 32 місяці

Початок – 01.06.2021.

Закінчення – 31.12.2025

Тривалість звітнього етапу – 9 місяців

Початок – 01.04.2024

Закінчення – 30.12.2024

8. Обсяги фінансування роботи:

Загальний обсяг фінансування:

за запитом (заявкою) 480,5 тис. грн

фактичний 683,4 тис. грн

Обсяг фінансування звітнього етапу:

за запитом (заявкою) 96,1 тис. грн

фактичний 435,6 тис. грн

9. Перелік виконавців з оплатою праці (прізвище, ім'я та по батькові (за наявності), посада за основним місцем роботи, або посада за цивільно-правовим договором), окремо зазначаються молоді вчені, студенти, аспіранти (за наявності): додаток 1.

10. Стислий зміст роботи в цілому (актуальність, мета, основні завдання, ідеї, гіпотези тощо) (до 40 рядків):

Завдання, яке передбачалося для виконання у 2024 році, було комплексним і багатовекторним, та включало вирішення таких актуальних питань, як з'ясування впливу пошкоджуючих чинників на рослинні і тваринні організми та їх угруповання, так і використання досліджуваних об'єктів для вирішення проблем, спричинених військовими діями, а саме: контроль хімічного забруднення ґрунтів та збереження фіторізноманіття; контроль фізичного та хімічного забруднення водойм шляхом біоіндикації та збереження біорізноманіття гідробіоценозів; використання біологічно активних речовин на основі рослин для оптимізації функціонального стану організмів.

Водні екосистеми України зазнають на сьогоднішній день значного техногенного навантаження, включно із чинниками мілітарного походження. Прогнозується різке зростання

забруднення рідкоземельними металами (РЗЕ) гідроекосистем. Тому актуальним є дослідження впливу РЗЕ на водні екосистеми, а також визначення способу експрес-діагностики біологічної відповіді на забруднення водного середовища РЗЕ. Нині немає достатньої кількості даних, які стосуються комплексного вивчення протизапальних нестероїдних препаратів та органофосфатних пестицидів в екологічно реальних концентраціях у водному середовищі на метаболічні процеси енергозабезпечення клітини, цитотоксичності на субклітинному рівні та ступінь окисної модифікації протеїнів як потенційної дисфункції тканин і органів. Оцінка ступеня впливу агентів мілітарного забруднення на водні організми в лабораторних умовах дозволить передбачити потенційні небезпеки у природних екосистемах та, в подальшому, дозволить розробити превентивні заходи для їх подолання.

Важливе значення має також аналіз та оцінка функціональної активності елемент-вмісних субстанцій з водоростей на метаболічні процеси організму; доцільності використання фармацевтичних препаратів та біологічно активних добавок рослинного походження щодо потенційного використання їх як коригуючих засобів для лікування посттравматичних станів та метаболічних порушень, спричинених дією екстремальних чинників навколишнього середовища, включно наслідками воєнних дій. Одним із завдань є оптимізація мінерального складу живильного середовища для росту біотехнологічних рослин в умовах *ex vitro*; розробка технології культивування лікарських рідкісних рослин в умовах *ex vitro*, що забезпечить отримання рослинного матеріалу із високим адаптивним потенціалом до умов *in situ* та здатністю синтезувати біологічно активні речовини. Отримана рослинна сировина може бути використана, у тому числі для сучасного лікування та реабілітації пацієнтів в умовах воєнного часу.

Внаслідок військових дій змінилися фізико-хімічні характеристики ґрунту, що включає зміну кислотно-основного балансу, кількості органічного карбону, забруднення ґрунтів металами тощо. Метою дослідження було запропонувати підхід до прогнозування якості ґрунту за розробленим алгоритмом та математичною моделлю, отриманою за допомогою регресійного аналізу; визначити вміст важких металів у ґрунтах, з'ясувати їх придатність за цим показником для вирощування сільськогосподарської продукції, а також провести аналіз умов латеральної міграції важких металів у ґрунтах. У цьому контексті зростає актуальність використання біочару як перспективного засобу покращення якості ґрунтів та стану агрооекосистем. Вивчення впливу двох видів біочару, отриманих із різної сировини, та їх концентрацій у субстраті на фотосинтетичні процеси рослин. Особлива увага приділялась аналізу маркерних параметрів, що дозволяють оцінити чутливість рослин до дії добрив та визначити оптимальні умови їх використання.

11. Основні результати виконання попереднього (за наявності) етапу (до 20 рядків):

- I.** Оцінено стійкість імунної системи та стресові реактивності в популяціях корінних та інвазивних двостулкових молюсків для з'ясування впливу адаптації у природному біотопі;
- II.** Встановлено фізіологічні, біохімічні і молекулярні особливості відповіді водних організмів (на прикладі корошових риб) *in vitro* та *in vivo* на вплив екологічно релевантних концентрацій пестицидів і фармацевтиків;
- III.** Обґрунтовано залежність морфотипу, ростових параметрів, динаміки вмісту фотосинтетичних пігментів та перебігу первинних процесів фотосинтезу рослин *in vitro* від світлових умов культивування і відбір на цій основі критеріїв-маркерів для оцінки габітусу,

морфо-фізіологічного стану рослин *in vitro*; оцінено можливості використання люмінесцентних ламп з різними технічними характеристиками для корекції світлових умов культивування рослин *in vitro*;

IV. Досліджено фізіолого-біохімічних змін у водних рослин за умов підвищеного вмісту нітрогену, фосфору і металів та обґрунтовано перспективи їх використання у біоремедіаційних заходах;

V. Встановлено загальні закономірності регіональних особливостей змін ґрунтів в умовах інтенсивного землеробства; визначено шляхи ефективного використання ґрунтів; оцінено ефективність застосування інструментарію економіко-математичного моделювання для проведення моніторингу та покращення екологічної ситуації водних ресурсів шляхом створення моделей оцінювання рівня їх комплексного використання та охорони.

12. Номер та назва звітнього етапу (за наявності): 4-й етап – Перевірка ефективності функціонування і продуктивності експериментальних організмів та їх угруповань за впливу існуючих і модельних факторів, у тому числі бойових дій, на сільськогосподарські угіддя та водні ресурси.

13. Опис процесу реалізації (хід виконання, які дослідження проводились, які методики використовувались тощо) роботи за звітним етапом (до 50 рядків тексту):

Для оцінки біохімічних реакцій на вплив РЗЕ було проведено модельний експеримент з використанням двостулкового молюска перлівниці *Unio tumidus* Philipsson, 1788. Для експозицій було обрано РЗЕ гадоліній (Gd (III), 30 нМ), ітрій (Yt (III), 30 нМ) у вигляді хлоридів та суміш цих солей з блокатором кальцієвих каналів лікарським препаратом ніфедипіном (Nfd, 10 мкМ), для якого очікувався синергізм дії з РЗЕ. Обрані концентрації відповідають їх рівню у забруднених водоймах, проте на 100–1000 порядків нижче тих, що використовуються традиційно у лабораторних експериментах. Експозиція тривала 14 діб. Використовували спектрофотометричні, хімічні та хроматографічні методи дослідження.

II. Для досліджень використовували коропа рибу *Danio rerio* та ізольовані гепатоцити коропа звичайного (*Cyprinus carpio*). Для вивчення наслідків впливу сумішей пестицидів на нецільові організми досліджували дію орґанофосфатних (раундап: 15 мкг/л та 500 мкг/л; хлорпірифос: 0,1 мкг/л та 3,0 мкг/л; малатіон: 5,0 мкг/л та 50,0 мкг/л) та триазинового (тербутилазин: 2,0 мкг/л та 30,0 мкг/л) гербіцидів та пестицидів. Для перевірки токсичності екологічно реальних для водойм у зонах бойових дій концентрацій металів була використана експериментальна модель *in vitro* з використанням гепатоцитів та гомогенату мозку коропа. Гепатоцити коропа (~107 клітин/мл) витримували протягом 24 годин в присутності йонів: Cu (51 мкг/л), Sr (3977 мкг/л), Zn (55,5 мкг/л), їх суміші в аналогічних концентраціях та в суміші, доповненій Cd (1,9 мкг/л), Sb (7,4 мкг/л), та Li (43,1 мкг/л). Групи контролю не піддавалися дії ніяких додаткових чинників. Після експозиції оцінювали стан системи антиоксидантного захисту, цито- та нейротоксичність, інтенсивність процесів апоптозу/автофагії та метаболічний стан.

III. Проведено ступінчасту адаптацію посадкового матеріалу з умов *in vitro* до *ex vitro* та розроблено 2-етапну технологію. На *першому етапі* було стабілізовано водний баланс рослин, мінімізовано біотичний стрес та розпочато адаптацію рослин до показників рН_{вод} і хімічного складу ґрунту з природних місць їх росту; на *другому* – відновлено здатність кореневої системи рослин до функціонування та росту у ґрунті з природних місць росту. Як субстрат для культивування рослин *in vitro* у перші 30 діб росту в умовах *ex vitro* використовували криничну воду та оптимізоване живильне середовище, яке відрізняється від середовища МС/2 за

складом макросолей та їх концентрацією і відповідає усередненим даним макро- та мікроелементного складу ґрунтів оселища штучної популяції видів у високогір'ї Українських Карпат. У наступні 30 діб рослини *in vitro* укорінювали у ґрунтовому субстраті із природних місць росту видів.

Використано *методи*: спектрофотометричний, біофізичні (індукції флуоресценції хлорофілу), біометричні, анатомічних досліджень, статистичні.

IV. Дослідження проводилися як у природних (на прикладі Тернопільського ставу), так і в лабораторних умовах. Для вивчення ензиматичної активності амонійфіксації використовували альгологічно чисту культуру зелених одноклітинних водоростей (*Chlorella vulgaris* Beijer.). Водорості культивували у середовищі Фітцджеральда в модифікації Цендера і Горхема №11 при температурі 22–25°C та освітленні лампами денного світла (інтенсивністю 2500 лк) протягом 16 год/добу. Для визначення активності ферментів, що зв'язують амонійний азот, готували гомогенати біомаси водоростей, у яких визначали активність глутамінсінтетази та глутаматдегідрогенази відповідно до загальноприйнятих біохімічних методик. Аналіз зразків води проводився за допомогою Іономіру AI-123 та КФК-2-УХЛ 4.2. Фізико-хімічними показниками для моніторингу забрудненості води було обрано кислотність, наявність фосфатів та йонів амонію. Спостереження охопило два сезони – літо і осінь.

V. Було досліджено фізико-хімічні показники ґрунтів сільськогосподарського призначення, (органічний карбон, рН, фосфор, калій, азот, кальцій, важкі метали); встановлено зміни агрохімічних та токсикологічних показників ґрунтів згідно сезонності; виявлено на основі кореляційного аналізу силу та напрямок зв'язків між концентраціями речовин у ґрунтах; удосконалено методи моделювання та прогнозування стану об'єкту природокористування (ґрунтів) для прийняття ефективних рішень при керуванні ними; проведена статистична обробка результатів дослідження забруднення агроєкосистем з використанням кореляційного, багатофакторного та дисперсного аналізу; запропоновано алгоритм і математичну модель для встановлення коефіцієнта якості ґрунту (КЯГ).

Досліди з двома видами біочару проводили за наступною схемою:



14. Результати виконання звітнього етапу відповідно до технічного завдання/календарного плану:

14.1 Заплановані завдання роботи (звітнього етапу):

Метою виконання 4-го етапу завдань Перспективного плану розвитку наукового напрямку «Біологія та охорона здоров'я» була реалізація прикладного дослідження «Перевірка ефективності функціонування і продуктивності експериментальних організмів та їх угруповань за впливу існуючих і модельних факторів, у тому числі бойових дій, на сільськогосподарські угіддя та водні ресурси», яке проводилося за 5 затвердженими пріоритетними тематичними напрямками (Додаток А Додаткової угоди № БФ/3-2024 до Договору № БФ/2-2021 від 01.06.2021 року).

У ході реалізації поставленої мети були вирішені наступні завдання:

I. визначення способу експрес-діагностики біологічної відповіді на забруднення водного середовища рідкоземельними металами, що потрапляють у водойми унаслідок військових дій на підставі аналізу вмісту есенціальних металів у тканинах двостулкового молюска;

II. встановлення закономірностей реакцій нетаргетних організмів на дію екологічно релевантних концентрацій водних поллютантів (у тому числі мілітарного походження) та визначення основних стратегій адаптацій до їх впливів;

III. дослідження структурно-функціональної перебудови лікарських рослин (зміни морфотипу, ростових параметрів, динаміки вмісту фотосинтетичних пігментів та перебігу первинних процесів фотосинтезу, зміни параметрів водного режиму рослин *in vitro*) у процесі адаптації до *ex vitro*; з'ясування перспектив використання адаптованих рослин як потенційного джерела сировини для отримання біологічно активних речовин;

IV. аналіз доцільності використання фармацевтичних препаратів та біологічно активних добавок рослинного походження щодо потенційного використання їх як коригуючих засобів для лікування посттравматичних станів та метаболічних порушень, спричинених дією екстремальних чинників навколишнього середовища, включно наслідками воєнних дій;

V. створення підходу до прогнозування якості ґрунту за розробленим алгоритмом та математичною моделлю, отриманою за допомогою регресійного аналізу; визначення вмісту важких металів у ґрунтах, з'ясування їх придатності за цим показником для вирощування сільськогосподарської продукції, а також проведення аналізу умов латеральної міграції важких металів у ґрунтах; встановлення за допомогою кореляційного аналізу взаємозв'язку між масовою часткою органічного Карбону у ґрунті та спектральним коефіцієнтом відбиття певних довжин хвиль; виявлення характер спектральних кривих відбиття ґрунту, зміненого в результаті військових дій та відновленого біочаром.

14.2 Отримані результати роботи (звітнього етапу):

I. У лабораторних токсикологічних дослідженнях було отримано результати, що свідчать про сублетальний характер впливу на організм 30 нМ концентрацій іонів РЗЕ протягом 14 діб. Диференційовано рівень токсичності трьох експозицій з найвищим рівнем реакційної здатності за впливу гадолінію та суміші, виявлено високий рівень реакційної здатності показників організму-індикатора до експозицій;

Біохімічна індикація впливу іонів гадолінію, ітрію та їх поєднання з ніфедипіном на організм перлівниці *Unio tumidus* у субхронічному експерименті у лабораторних умовах, наближених до екологічно реальних за концентрацією речовин, показала, що всі експозиції збільшували ГТФ-азну активність, пригнічували холінестеразну активність призводили до відновного зміщення співвідношення вмісту коензимів NADH/NAD⁺ (редокс-стрес). Поряд із цим, вплив ітрію був найменшим, а гадолінію – найпомітніший та, за низкою ознак, збігався з впливом суміші. За комбінованого впливу спостерігався негативний кумулятивний ефект,

виражений як активація головного виконавчого апоптичного ензимів каспази-3 та відсутність посилення функції металотіонеїну, відзначену за поокремої дії. Морфометричні виміри підтверджують ці висновки. Відтак, отримані результати загалом узгоджуються із запропонованими гіпотезами щодо молекулярних мішеней РЗЕ у живому організмі та здатністю до негативного акумулятивного ефекту досліджених металів у поєднанні з блокаторм кальцієвих каналів.

На підставі отриманих результатів запропоновано мінімальний біомаркерний набір для виявлення вмісту доступних форм, цитотоксичності та механізмів адаптації та детоксикації РЗЕ в організмі двостулкового молюска, до якого входять показники, що відображають специфічний ефект, притаманний ураженню іонних каналів та цілісності біологічних мембран (ГТФ-азна активність, стабільність лізосомальних мембран), здатність акумулювати РЗЕ (вміст металотіонеїнів), загальну адаптивну здатність (співвідношення NADH/NAD^+) та активність головного виконавчого ензиму апоптозу каспази-3, які за діапазоном змін чутливо відображають напрям та адекватність впливу експозицій. Отримані у модельних експозиціях результати стануть основою для аналізу у 2025 р впливу розширеної низки РЗЕ та відібраних проб води у забруднених мілітарною активністю водоймах за запропонованим мінімальним набором біомаркерів з використанням двостулкового молюска перлівниці *Unio tumidus* як біоіндикаторного виду.

II. Незважаючи на те, що використані нами концентрації гербіцидів та інсектицидів відповідали їх фоновому вмісту у водоймах, виявлено палітру деструктивних змін на молекулярному та клітинному рівнях у коропової риби данію. Суміші раундап-хлорпірифос показали ефекти, подібні до таких, спричинених відповідними концентраціями хлорпірифосу окремо, що вказує на те, що як більш токсичний з двох досліджуваних пестицидів, хлорпірифос був переважним рушієм окисного стресу, спричиненого сумішами пестицидів. Тварини, які піддавалися впливу хлорпірифосу та суміші раундап-хлорпірифос, показали найвагоміші та найбільш послідовні докази окисно-відновних порушень, включаючи підвищені рівні АФО, накопичення ТБК-АП, карбонільних похідних білків, GSSG та пригнічення антиоксидантного захисту. Позаяк токсичність сумішей раундап-хлорпірифос була проміжною між токсичністю чистих пестицидів, можна зробити припущення щодо агоністичних взаємодій раундапу та хлорпірифосу між собою за умов одночасної присутності в суміші.

Результати досліджень наслідків мілітарного забруднення показали, що вплив окремих металів (мідь, цинк, стронцій) та їх сумішей (мідь, стронцій, цинк – у першій суміші; мідь, стронцій, цинк, кадмій, стибій, літій – у другій) характеризувався різним рівнем токсичності. Так, щодо загальної антиоксидантної активності у гепатоцитах печінка коропа найбільш негативний ефект проявляла мідь, тоді як цинк та суміші металів проявляли здебільшого однакову дію. Стосовно каталази, то у дослідях ми не відмітили достовірних змін її активності порівня з контролем та між групами, що свідчить про доволі високу стабільність та консервативність у цього ензиму за стресових чинників. Водночас, найбільш помітного ушкодження ліпідів зазнавали за суміші міді, цинку і стронцію, а протеїни піддавалися впливу міді та суміші міді, стронцію, кадмію, літію та стибію. Отже, складніші суміші з більшою кількістю металів мають вираженіший негативний вплив, що потребує врахування синергії між компонентами для мінімізації їх шкідливості. Активність глутатіон S -трансферази практично не змінювалася, що свідчить про належні процеси детоксикації ксенобіотиків у

печінці риби. Проте, кількість відновленого глутатіону зменшувалася за дії обох сумішей металів. Активність капази у *S. carpio* зменшувалася, що свідчить про зниження процесів запрограмованого апоптозу, а відтак активацію некротичних спрощів, які узгоджуються з порушеннями метаболічних процесів.

У підсумку можемо зробити висновок, що суміші металів зазвичай чинять більш виражений вплив, ніж окремі елементи, завдяки синергії між компонентами, який проявляється активацією окисних процесів, виснаженням тілової системи та порушенням нервової регуляції організму риб.

III. Досліджено особливості зміни ростових параметрів, вмісту фотосинтетичних пігментів, динаміки ключових параметрів флуоресценції хлорофілу а біотехнологічних рослин видів роду *Gentiana* L. у процесі адаптації до умов *ex vitro*, залежно від джерела їх вуглеводного (сахароза (10 г/л), маніт (3 г/л)) живлення на етапі *in vitro*, елементного складу живильного середовища, світлових умов культивування. Встановлено, що за морфо-фізіологічними параметрами культивовані *in vitro* рослини *G. lutea* за використання як джерела вуглеводного живлення лише сахарози (1 група), відрізняються від особин, технології вирощування яких передбачали спочатку культивування на сахарозі, а потім – на маніті (2 група).

Порівняно з іншим дослідним варіантами, де як субстрат використано, криничну воду, на оптимізованому живильному середовищі вищим є загальний приріст фітомаси, краще розвивається листкова поверхня, утворюється у 2–2,5 рази більше додаткових коренів. Застосування біопрепарату «Азогран» забезпечує 100% захист рослин від інфікування патогенною мікрофлорою.

Залежність адаптаційного процесу від вуглеводного живлення та світлових умов культивування підтвердили результати аналізу параметрів водного балансу. Транспіраційні втрати рослинами 1 групи стабілізуються на 21-22 доби росту в умовах *ex vitro*; 2 групи – вже на 8-9.

Розроблено систему критеріїв-маркерів, за якими оцінювався стан посадкового матеріалу в умовах *ex vitro* на різних рівнях: морфологічному, анатомічному, фізіологічному (функціональний стану ФСА рослин, ефективність перебігу первинних процесів фотосинтезу, водний баланс рослин (а саме, інтенсивність транспірації та вологоутримуюча здатність), біохімічному.

IV. Біохімічний склад клітин дозволяє *Chlorella* бути вагомим харчовим та нутрицевтичним додатком (у вигляді таблеток чи порошку) з важливим функціональним значенням щодо фізіологічних процесів в організмі людини. Нами вивчена можливість отримання біологічно активних комплексів на основі ліпідної фракції з *Chlorella vulgaris*, які містять у своєму складі есенційні мікроелементи Селен, Цинк і Хром та проаналізована біологічна дія цих комплексів на метаболізм здорових щурів. Запропонована інфографіка демонструє позитивний вплив корекційної здатності елементвмісних субстанцій з водоростей на метаболізм здорового організму, зокрема на рівні клітини відбувається активізація енергетичних процесів (збільшення активності ензимів у мітохондріях та електронно-транспортному ланцюзі), підтримання високого рівня протеїнового метаболізму (активізація НАД/НАДФ-ГДГ і збільшення кількості глутамату для утворення амінокислот), підвищення функціонування антиоксидантних ензимів, а у позаклітинному просторі

спостерігається зниження продуктів перекисного окислення з потенційною небезпечною прооксидантною дією.

Визначено, що додаткове внесення суспензії хлорели та її активний розвиток у водоймі ставу дозволяє зберігати на прийнятному рівні вміст розчиненого кисню, що важливо для вищих гідробіонтів, особливо при підвищенні температури, забезпечує належну кислотність води, сприяє зменшенню надлишку сполук нітрогену і фосфору. Ці умови обумовлюють зниження евтрофікації водойми та пригнічення розвитку ціанобактерій, що зменшує ризики «цвітіння» водойми.

Щодо очищенням води від надлишку металів шляхом адсорбції клітинами водоростей, то з'ясовано, що найбільше накопичувалося клітинами *Chlorella vulgaris* магнію, цинку та заліза, а найменше кадмію кобальту і нікелю, що корелювало з фізико-хімічними параметрами води.

V. У результаті проведених досліджень ґрунтів з різних територій встановлено, що слабокислі ґрунти знаходяться на території с. Угринів та с. Козлів, близькі до нейтральних – у с. Хоробрів, а також с. Старе Місто, с. Яблунівка; слабо-лужні – с. Волощина, що суттєво змінює рухливість важких металів на вказаних територіях. Ряд накопичення важких металів на досліджуваних сільськогосподарських угіддях виглядає так: $\text{Co} < \text{Cu} < \text{Zn} < \text{Mn}$. Найбільш збагачений мікроелементами ґрунт с. Старе Місто (за винятком Мангану), а найменша кількість мікроелементів була у ґрунтах с. Козлів (окрім Купруму).

З'ясовано, що перевищень гранично допустимих концентрацій валової форми у відібраних зразках ґрунту за жодним з елементів (Купруму, Кобальту, Цинку та Мангану) не спостерігалось. Тим не менше, необхідно здійснювати регулярний контроль за вмістом у ґрунтах сільськогосподарських угідь важких металів.

Розроблена модель математичного прогнозування факторів для встановлення КЯГ, що враховує найбільш значущі фактори, які значно впливають на родючість ґрунтів, зокрема органічний карбон та обмінна кислотність.

З'ясовано, що обидва внесенні у ґрунт біочари (з надземної біомаси рослин та біочару отриманого з осаду стічних вод муніципальних очисних споруд) підвищують на 3–7%, максимальну квантову ефективність ФСII та зменшують на 17–39% рівень регульованого розсіювання світлової енергії у вигляді тепла. Встановлено зростання квантової ефективності ФСII з обома типами біочарів на 5–9%, при цьому біочар отриманий з стічних вод обумовлював вищий відносний рівень хлорофілів у паренхімі листків на 17–19%. Ефективність фотохімічних процесів у рослин *S. oleracea*, які росли в ґрунті з доданням біочарів, була вищою.

Результати дослідження з використанням двох комерційно доступних біовугілля, Ideale (отриманий з відходів біомаси; IDL) та Intermarcom (отриманий з відходів деревини; INT), у трьох нормах внесення (3%, 5% та 7%), з використовуючи *Zea mays* як модель рослини, показали: біовугілля IDL, особливо при нормі внесення 3%, покращує рН ґрунту та вміст органічної речовини ґрунту; IDL не має негативного впливу на доступність основних поживних речовин, що в кінцевому результаті призводить до покращеного росту та продуктивності рослин, про що свідчить зниження антиоксидантної здатності та збільшення врожайності біомаси; INT біочар, навпаки, продемонстрував тенденцію до зниження рівня азоту в ґрунті, особливо нітратів, що несподівано призвело до негативного впливу на ріст рослин. З'ясовано, що застосування біочару є однією з стратегій для покращання функціонального стану ФСА рослин, які зазнають антропогенного навантаження.

14.3 Відхилення від календарного плану (за наявності):

Реалізація II пріоритетного тематичного напрямку (Додаток А Додаткової угоди № БФ/3-2024 до Договору № БФ/2-2021 від 01.06.2021 року) передбачала дослідження впливу токсичних речовини, які є складовими металевих осколків снарядів та гільз від боєприпасів, продуктів горіння бронетехніки та засобів пожежогасіння на функціонування гідробіонтів. У зв'язку з складною ситуацією в енергетичній системі країни, не вдалося дослідити весь перелік запланованих токсикантів, зокрема вивчити вплив на живі організми засобів пожежогасіння, які безпосередньо або зі стічними водами потрапляють у ґрунт та водойми. На кінець підзвітного періоду проведено аналіз літературних джерел та сплановано дизайн експерименту, реалізація якого планується найближчим часом.

15. Наукова цінність і актуальність отриманих результатів (науково-технічної продукції), їх порівняння з українськими та/або кращими закордонними аналогами:

I. Нами вперше було досліджено спектр біохімічних реакцій двостулкового молюска на вплив РЗЕ по окремо та за комбінованої дії та доведено їх специфіку та чутливість. Наявна в літературі інформація стосується впливу у 1000 разів вищих, екологічно нереальних, концентрацій РЗЕ у по окремих гостро-токсичних експозиціях, а її наслідки реєструються як морфологічні аномалії та смертність, тоді як у нашому дослідженні вперше йдеться про вплив наномольної концентрації, крім того, у поєднанні з фармацевтиком. Двостулкові молюски, як найбільш визнані біоіндикатори токсичності вод, практично відсутні серед видів, досліджених за впливу РЗЕ у водоймах.

II. Комбіновані ефекти досліджуваних пестицидів для данію мали характер антагонізму. Логічно припустити, що в таких випадках ефекти поокремих пестицидів, які входять до складу сумішей, можна спрогнозувати на основі окремих ефектів більш токсичного пестициду. Кілька нещодавніх звітів показали адитивні або синергетичні ефекти сумішей пестицидів, включаючи суміші фосфорорганічних кислот/карбаматів і фосфорорганічних кислот/купрум сульфату (Heys et al., 2016; Laetz et al., 2009; Weeks Santos et al., 2021), що означає, що антагоністичні взаємодії не можна поширювати на всі пестициди та, з іншого боку, передбачати очікувані ефекти суміші за більш токсичним компонентом.

Результати екотоксикологічної оцінки впливу реальних концентрацій металів мілітарного походження на гідробіонтів показали, що найбільш токсичною виявилася мідь, яка викликає оксидативний стрес, зниження рівня глутатіону та порушення клітинних функцій. Цинк і стронцій проявили помірну та слабку токсичність відповідно. Суміші металів демонстрували синергічний ефект, який значно посилював негативний вплив на антиоксидантну систему риб, зокрема шляхом виснаження глутатіону та активації оксидативного стресу.

III. Розроблено 2-х етапну технологію адаптацій рослин *in vitro* до умов *ex vitro*, особливістю якої було врахування едафічних чинників їх росту у природних локалітетах, що значно відрізняється від інших технологій, де використовують стандартизовані розчини та ґрунтові суміші [Ubalua, Nsofor, 2017]. Розроблена технологія є частиною цілісної розробленої нами біотехнології адаптації рослин на етапах «*in vitro*–*ex viro*–*in situ*». Обґрунтовано теоретико-методологічні підходи щодо адаптації посадкового матеріалу до умов *ex vitro*, доповнено основні принципи підвищення адаптивного потенціалу рослин *in vitro* до умов *ex vitro*. Запропоновано систему критеріїв-маркерів для оцінки структурно-функціонального

стану рослин *in vitro* до нових умов росту. Планується використання отриманого рослинного матеріалу як альтернативного джерела сировини біологічно активних речовин.

IV. Отримані результати щодо комплексного аналізу властивостей *Ch. vulgaris* демонструють її значний потенціал як важливого природного, так і біотехнологічного об'єкта. Зокрема, використання біологічно активних речовин з хлорели засвідчують її значимість для профілактики та лікування поширених захворювань, які пов'язані із сучасним способом життя (стреси, діабет, ожиріння, дисліпідемія). Водночас, дослідження динаміки популяції хлорели у водоймах підтверджують її ефективність у регуляції фізико-хімічних параметрів водного середовища, передусім у боротьбі з евтрофікацією, та поглинанні надлишку металів. Використання водоростей для відновлення водного середовища та як альтернативи синтетичним речовинам відповідає цілям сталого розвитку навколишнього середовища.

V. Було отримано нову інформацію про вміст Zn, Cu, Co, Mn в ґрунтах Тернопільського району, що знаходяться у сільськогосподарському обробітку компанії «Контінентал Фармерз Груп». Комплексне використання методів статистичної обробки результатів дало змогу встановити КЯГ та оцінити ефективність досліджень хімічного забруднення ґрунтів (González et al., 2024). Отримані підходи можна використовувати на територіях, що зазнали впливу військових дій. Запропоновано комплексний підхід який міг би служити стандартизованим методом для вибору відповідних типів біовугілля та доз внесення, тим самим мінімізуючи ризики та оптимізуючи переваги в сільськогосподарській практиці.

16. Практична цінність результатів для потреб оборони, безпеки, економіки та/або суспільства України (у разі наявності):

I. Отримані результати дозволили виділити критерії оцінки ризиків для водної біоти внаслідок забруднення середовища РЗЕ, спричиненого сучасними (включно з військовими) технологіями. Отриманий нами спектр даних щодо впливу на організм перлівниці гадолінію, ітрію, як найбільш очікуваних серед РЗЕ забруднювачів довкілля, та їх суміші дозволив обрати мінімальний набір біомаркерів, який можна рекомендувати для експрес-аналізу впливу РЗЕ на водні екосистеми з використанням двостулкового молюска як індикаторного організму. Цей набір включатиме показники активності ГТФ-ази, рівню стабільності лізосомальних мембран (NRR), показників рівню та співвідношення нікотинамідних коензимів (NADH/NAD⁺) та апоптичної активності (cas-3), які чутливо і диференційовано демонструють ефект експозицій. Цей набір маркерів буде апробовано для інших РЗЕ, актуальних для потреб оборони, безпеки та оцінки екологічних наслідків забруднення, пов'язаного з військовими діями.

II. Проведені нами дослідження дозволили визначити мінімальний набір біомаркерів, які з високим рівнем вірогідності (помилка класифікації згідно рендом фореест аналізу становить 0,062) дозволяють визначити природу діючого чинника та ступінь ураження організму. До мінімального набору увійшли показники імунної системи (IgM), ендокринних розладів (вітелогенін Vtg), репарації ДНК (RAD51) та цитотоксичності (LDH). Для більш детального аналізу цінним є визначення показників окисного стресу (ТБК-АП, Nrf2, загальної антиоксидантної здатності, GSSG), стрес-гормону кортизолу та ключового ензиму апоптозу

Cas3. Також проведено екотоксикологічну оцінку впливу реальних концентрацій металів мілітарного походження на гідробіонтів на прикладі коропа (*Cyprinus carpio*) в умовах *in vitro*. Результати дослідження показали значні зміни в антиоксидантній системі клітин коропа під впливом зазначених металів, зменшення рівня глутатіону змїну активності каспази-3 та ацетилхолінестерази. Отримані дані є важливими для розуміння впливу військових забруднень на водні екосистеми та можуть бути використані для розробки екологічних нормативів і стратегій зменшення наслідків забруднення металами.

III. Розроблені концептуальні фізіологічні та біотехнологічні основи багатоступінчастої технології підвищення адаптивних властивостей культивованих *in vitro* рідкісних видів рослин (на прикладі видів роду *Gentiana*) до умов *ex vitro* можуть бути застосовані як основа для аналогічних досліджень інших видів рослин, а також для поглиблення складових досліджень, зокрема факторіальних (в Інституті екології Карпат НАНУ), фізіологічних (Інститут фізіології рослин і генетики НАНУ), генетичних і біотехнологічних (в Інституті молекулярної біології і генетики НАНУ, Інституті клітинної біології та генетичної інженерії НАНУ). Розроблена технологія адаптації біотехнологічних рослин рідкісних високогірних видів роду *Gentiana* до умов *ex vitro* дозволяє отримати високожиттєздатний посадковий матеріал для реалізації репатріаційних проєктів і може бути використана для збереження генофонду інших рідкісних видів рослин із подальшою репатріацією у деградовані, зникаючі популяції, зокрема в об'єктах природно-заповідного фонду.

IV. Використання хлорели як природного методу очищення водойм є екологічно безпечним і стійким рішенням, що відповідає концепції «зелених технологій». Водночас, біомаса хлорели, збагачена мікроелементами (металами), може використовуватися як органічне добриво чи біостимулятор росту рослин. Екстракти хлорели можуть знайти застосування в розробці нових терапевтичних підходів до лікування метаболічних, кардіологічних онкологічних захворювань.

Отримані результати мають значну практичну цінність у різних галузях: від медицини й харчової промисловості до екології, сільського господарства та енергетики. Вони створюють основу для подальшого впровадження розробок у реальне життя, підвищуючи якість життя людей і сприяючи вирішенню екологічних проблем.

V. Аналіз даних щодо наслідків впливу забруднення на агроєкосистеми України із застосуванням комплексного підходу, що включає фізико-хімічні параметри ґрунтів дозволив підібрати мінімальний набір значущих факторів для встановлення КЯГ. Водночас, використання методів математичної статистики (регресійний, кореляційний факторний, дисперсійний аналіз), дало змогу спрогнозувати стан агроєкосистем на майбутнє. Українське агровиробництво вже зіткнулося зі збільшенням середньодобових температур, нерегулярністю та нерівномірністю опадів, зміною сезонності, клімату і, як наслідок, зміною кислотності. Всі ці фактори спричиняють дефіцит елементів родючості та стають на заваді оптимальному розвитку рослин і зменшують ефективність «традиційних» підходів до живлення ґрунтів. В подальшому дослідження впливу регламентуючих чинників збалансованої природно-господарської системи дозволять визначити позитивні заходи для покращення родючості ґрунтів і послабити вплив негативних антропогенних чинників на якісні параметри сільськогосподарських угідь. Здійснено комплексну оцінку властивостей

двох промислових та двох різносировинних біочарів, що дозволить обрати найкращий матеріал для впровадження в сучасні фітотехнології з очищення земель, забруднених військовою діяльністю, на території України у польових умовах.

17. Основні висновки/рекомендації за результатами виконання наукової (науково-технічної) роботи»:

I. Встановлено, що РЗЕ ітрій та, особливо, гадоліній, які застосовуються у військовій техніці та є потенційними забруднювачами водойм у результаті військових дій, здійснюють біологічний ефект на організм прісноводного молюска перлівниці *Unio tumidus* за концентрацій, які у 1000 разів менші за відомі токсичним ефектом за морфологічними показниками. Обидва досліджені метали спричиняють істотні зміни у стані біомаркерів ефекту перлівниці. Відповідно, біохімічні маркери ефекту, обрані нами найбільш чутливі та селективні, мають пріоритетне значення при оцінці біологічної дії РЗЕ для водних організмів.

Встановлено, що за екологічно реальної комбінованої дії РЗЕ та інших пріоритетних забруднювачів, зокрема фармацевтичних препаратів, таких як блокатор кальцієвих каналів та один з найбільш поширених у природних водах фармацевтик, що має гіпотетично спільні молекулярні мішені в організмі з іонами РЗЕ, виникає негативний кумулятивний ефект, що потрібно враховувати при прогнозуванні токсичності РЗЕ у реальних екосистемах та моделюванні їх впливу у лабораторних умовах.

II. Співдія пестицидів хлорпірифос / раундап та тербутилазин / малатіон носить характер антагонізму з мінімальним ефектом взаємного впливу компонентів. Токсичний вплив суміші хлорпірифос / раундап був переважно зумовлений хлорпірифосом. Поєднання тербутилазину з малатіоном призводить до виникнення ознак, які не були характерні для індивідуальної їх дії.

Дослідження показало, що окремі метали (мідь, цинк, стронцій) та їх суміші у концентраціях, що спостерігаються у водоймах в зоні бойових дій, впливають на фізіологічний гідробіонтів. Прояв токсичних ефектів зростає у ряду $St \rightarrow Zn \rightarrow Cu$, $St, Zn \rightarrow Cu \rightarrow Cu$, St, Zn, Cd , Sb, Li .

III. Удосконалено методологічні підходи щодо підвищення адаптивного потенціалу отриманих біотехнологічними методами рослин. Розроблено 2-ступінчасту технологію одержання біотехнологічними методами що передбачає поетапну адаптації до умов *ex vitro* у оптимізованому живильному середовищі та у ґрунті з природних місць росту.

Запропоновано систему критерії-маркерів для оцінки структурно-функціонального стану рослин *in vitro* в умовах *ex vitro* та відбору високожиттєздатного посадкового матеріалу до нових умов росту. Планується використання отриманого рослинного матеріалу як альтернативного джерела сировини цінних лікарських рослин.

IV. Внесення та подальший розвиток популяції хлорели показало шляхом графічного моделювання, що на тлі стабільного показника кислотності води (pH) зміни вмісту іонів амонію та фосфатів були співмірними. Інтенсивність надходження металів у клітини водоростей залежить від біологічних особливостей фітопланктону, виду металу та сезонних гідрохімічних чинників. Виявлено найбільше накопичення у клітинах хлорели іонів магнію, цинку та заліза, а найменше – кадмію кобальту і нікелю. Загалом, водорості, активно

накопичуючи та перерозподіляючи метали у трофічному ланцюзі гідроекосистеми, частково очищають воду. У зв'язку з цим, природні популяції фітопланктону з успіхом можуть бути використані як індикатори накопичення токсичних речовин для контролю рівня забруднення поверхневих вод.

Водночас, культивування *Chlorella vulgaris* для отримання чистої біомаси дозволяє ефективно використовувати водорість для створення функціональних харчових добавок, косметичних засобів, фармацевтичних і лікарських препаратів з широким спектром біологічної дії, що підкреслює її потенціал для використання в профілактиці та терапії метаболічних, кардіологічних та онкологічних захворювань.

V. Наші дослідження показали, що перевищень гранично допустимих концентрацій у відібраних зразках ґрунту за жодним з елементів (Купруму, Кобальту, Цинку та Мангану) не спостерігається. Тому дані моніторингу дають підстави стверджувати про екологічну придатність ґрунтів корпорації «Контінентал Фармерз Груп» (у межах Тернопільського району) для вирощування якісної сільськогосподарської продукції.

Проведено аналіз процесу зміни стану ґрунтів під дією природних та антропогенних факторів як об'єкта керування, проаналізовано методи моделювання та прогнозування стану об'єкту природокористування як основи побудови моделей та встановлення коефіцієнта якості ґрунту на прикладі кореляційного, багатофакторного аналізу та дисперсійного аналізу ANOVA. Отримані результати моделювання стану ґрунтів можуть бути використані у прийнятті управлінських рішень з метою встановлення екологічно-безпечних районів при проведенні сільськогосподарської діяльності, що важливо в умовах військової агресії росії.

Дослідження підкреслюють важливість оцінки біовугілля перед застосуванням за допомогою експериментів, зокрема проведення тесту на його сорбційні властивості, як потенційного предиктора ефективності біовугілля в ґрунтових системах, щоб уникнути можливих негативних наслідків у польових застосуваннях.

18. Основні кількісні показники/індикатори виконання роботи (звітнього етапу) за темою роботи:

№ з/п	Показники/індикатори	<u>Заплановано</u> (відповідно до запиту на фінансування/ТЗ/КП тощо), кількість	<u>Виконано</u> (за результатами етапу/роботи), кількість
1.	Публікація результатів:		
1.1.	Статті у журналах, що індексуються наукометричними базами даних:		
	- Scopus та/або Web of Science Core Collection, всього, од.	5	6
	з них із квантилем Q1 і Q2 на момент опублікування, од.		4
	з них із квантилем Q3 і Q4 на момент опублікування, од.		1
	з них із іншими показникам впливовості видання, які визначені замовником (імпакт-фактор, SNIP тощо), <i>необхідно зазначити</i> , од.		1

	з них з відкритим доступом, од.		4
1.2.	Статті у виданнях, які містять інформацію з обмеженим доступом (для робіт оборонного та/або подвійного призначення), од.		
1.3.	Статті у наукових журналах (без кваліфікації), збірниках наукових праць, матеріалах конференцій тощо, що індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection (крім тих, що увійшли до п.1.1), од.		
1.4.	Статті у фахових виданнях України категорії «А», які у звітному році індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection, од.		
1.5.	Статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б», од.	5	5
1.6.	Статті у періодичних виданнях інших країн, що мають ISSN, од.		2
51.7.	Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України та не індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection, од.		33
1.8.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) у закордонних виданнях мовами країн ОЕСР та/або ЄС, од.		
1.9.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) в українських виданнях, од.		
1.10.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) з обмеженим доступом (для робіт оборонного та/або подвійного призначення), од.		
1.11.	Підручники, навчальні посібники, од.	2	2
1.12.	Словники, довідники, енциклопедії, видані українськими та/або закордонними видавництвами, од.		
1.12.	Рецензії, експертні висновки		
1.13.	Препринти, які мають DOI	X	
1.14.	Набори FAIR-даних, які мають DOI		
1.15.	Інші публікації, які не описані у пп. 1.1-1.12, од.		
2.	Презентація та поширення результатів:		
2.1.	Міжнародні науково-комунікативні заходи, конференції, од.	12	16
2.2.	Всеукраїнські та регіональні науково-технічні/промислові виставкові заходи, од.		5
2.3.	Представлення розробки/бізнес-плану/результатів роботи на:		
	- інноваційних фестивалів, од.		
	- конкурсах стартапів, од.		
	- акселераційних програмах, од.		
	- хакатонах, од.		
2.4.	Науково-популярні публікації з метою поширення інформації про результати роботи для загальної (широкої) аудиторії, од.		
2.5.	Представлення інформації про результати роботи на науково-популяризаційних заходах (дні науки, наукові пікніки тощо), од.		

2.6.	Інші заходи, які не описані у пп. 2.1-2.5, од.		1
3.	Підготовка наукових кадрів:		
3.1.	Захищено дисертацій доктора наук авторами роботи або під консультуванням авторів у рамках тематики роботи, од.		
3.2.	Захищено дисертацій доктора філософії авторами роботи або під керівництвом авторів у рамках тематики роботи, од.		2
4.	Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності (ОПІВ)		
4.1.	Отримано патентів України на винахід, од.		
4.2.	Отримано патентів України на промисловий зразок, од.		
4.3.	Отримано патентів України на корисну модель, од.	2	1
4.4.	Отримано охоронний документ на ОПІВ інших країн, од.		
4.5.	Отримано охоронних документів на інші види ОПІВ, які не описані у пп. 4.1-4.4, од.		
4.6.	Подано заявок на отримання охоронного документу на ОПІВ України та /або інших країн, од.		2
5.	Впровадження та використання наукових або науково-технічних (прикладних) результатів:		
5.1.	Підписано (укладено) договорів (угод) організацією-виконавцем роботи на впровадження (використання) результатів роботи (окрім індивідуальних), серед них:		
5.1.1	Господарських договорів/контрактів, од./тис.грн		
5.1.2	Ліцензійних договорів/договорів на ноу-хау, од./тис.грн		
5.1.3	Грантових угод (держаного рівня), од./тис.грн		
5.1.4	Грантових угод (міжнародного рівня), од./тис.грн		
5.1.5	Індивідуальні договори, угоди державного/міжнародного рівня		
5.1.6	Інші договори (угоди), які не описані у пп. 5.1.1-5.1.5, од./тис.грн		
5.2.	Документально підтверджено використання результатів (різних видів НТП) у практиці органів державної/місцевої влади, суспільних практиках тощо, од.		
5.3.	Проведено маркетингові дослідження, перемовини з потенційними замовниками із підписанням протоколу (меморандуму, угоди) про наміри комерційного впровадження результатів, од.		
5.4.	Подано заявок на державні, міжнародні наукові гранти (окрім індивідуальних), од.		2
5.5.	Впроваджено у освітній процес ЗВО/НУ з відповідним підтвердженням, од.		1
5.6.	Інші варіанти впровадження, які не описані у пп. 5.1-5.5, од.		
6.	Створено чи істотно удосконалено/покращено існуючі:		
6.1.	Пристрої (макет, експериментальний/дослідний зразок), од.		
6.2.	Матеріали, процеси, технології, технологічні регламенти, цифрові продукти та електронні сервіси, од.		1

6.3.	ТУ, ДСТУ, будівельні норми, зареєстровані проекти нормативно-правових актів, од.		
6.4.	послуги у сфері наукової та науково-технічної діяльності, од.		
6.5.	Інші результати, які не описані у пп. 6.1-6.4, од.		
7.	Участь з оплатою у виконанні роботи (штатних одиниць/осіб) згідно з додатком до форми, всього, у т.ч.:		8
7.1.	Студентів (здобувачів вищої освіти I-II рівнів), шт.од./ осіб		
7.2.	Аспірантів (здобувачів вищої освіти III рівня), шт.од./ осіб		
7.3.	Молодих вчених, шт.од./ осіб		1

19. Відхилення від запланованих показників/індикаторів, зазначених у пункті 18:

Три публікації, які відображають результати досліджень, прийняті до друку, але у зв'язку з тим, що термін звітування за договорами на виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку у 2024 році передбачає подачу документів до 27 грудня поточного року, на момент звітування не опубліковані та наводяться без вказання DOI й активних посилань. Факт прийняття матеріалів підтверджено листами від редакцій та попередніми макетуваннями видань (додаються до звіту).

20. Вихідні дані щодо показників виконання відповідно до підпунктів пункту 18:

Результати досліджень представлені у 13 статтях (у тому числі 6-ти у виданнях, що входять до наукометричних баз даних SCOPUS та / або Web of Science); 26 тезах та матеріалах Міжнародних наукових конференцій та 7 – Всеукраїнських конференціях та з'їздах. На основі одержаних даних отримано 1 патент на корисну модель та подано 2 заявки на корисну модель і опубліковано 2 навчальні посібники для здобувачів ЗВО. Під керівництвом виконавців наукового напрямку захищено 2 роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Результати дослідження впроваджені в навчальний процес.

1. Публікація результатів:

1.1 Статті у журналах, що індексуються наукометричними базами даних:

- Scopus та/або Web of Science Core Collection

з них із кuartилем Q1 і Q2 на момент опублікування

1. Martyniuk V., Matskiv T., Yunko K., Khoma V., Gnatyshyna L., Faggio C., **Stoliar O.** Reductive stress and cytotoxicity in the swollen river mussel (*Unio tumidus*) exposed to microplastics and salinomycin. *Environ Pollut.* 2024. Vol. 350. P. 123724. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123724> Q1
2. Impellitteri F., Briglia M., Porcino C., **Stoliar O.**, Yunko K., Germanà A., Piccione G., Faggio C., Guerrera M. C. The odd couple: Caffeine and microplastics. Morphological and physiological changes in *Mytilus galloprovincialis*. *Microsc Res Tech.* 2024. Vol. 87. P. 1092–1110. <https://doi.org/10.1002/jemt.24483> Q2
3. Impellitteri F., Yunko K., Calabrese G., Porretti M., Martyniuk V., Gnatyshyna L., Nava V., Potorti A. G., Piccione G., Di Bella G., **Stoliar O.**, Faggio C. Chlorpromazine's impact on *Mytilus galloprovincialis*: a multifaceted investigation. *Chemosphere.* 2024. Vol. 350. P. 141079. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.141079> Q1
4. Matskiv T., Martyniuk V., Khoma V., Yunko K., Orlova-Hudim K., Gnatyshyna L., Geffard A., Palos-Ladeiro M., **Stoliar O.** Biochemical basis of resistance to multiple contaminations in the native and invasive populations of *Dreissena polymorpha*. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol.* 2024. Vol. 276. P. 109803. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109803> Q1

з них із кuartилем Q3 і Q4 на момент опублікування

1. Sukhodolska I. L., **Grubinko V. V.**, Masovets B. P. Characteristics of phytoplankton functioning in urban water reservoirs (based on the example of Basivkut Reservoir, Ukraine). *International Journal on Algae.* 2024. Vol. 26, Is. 3. P. 261-272. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v26.i3.40 <https://www.dl.begellhouse.com/journals/7dd4467e7de5b7ef,3f0eed2660a27eda,691e83770f267efd.html> Q4

з них із іншими показникам впливовості видання, які визначені замовником (імпакт-фактор, SNIP тощо)

1. **Herts, A. I.**, Kononchuk, O. B., Pidlisnyuk, V. V., Herts, N. V., Khomenchuk, V., Markiv, V., & **Horyn, O.** (2024). Influence of two types of biochars on the photosynthetic apparatus of prickly-seeded spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Agricultural Science and Practice*, 11(1), 56-69. <https://doi.org/10.15407/agrisp11.01.056> (WoS)

1.5 Статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б»:

1. Колісник Х. М., **Грицак Л. Р.**, Прокоп'як М. З., Бойко Д. А., **Дробик Н. М.** Перспективи використання препарату рекультиванту композиційного "Trevitan TM" для отримання та росту колекцій рослин *in vitro*. Фактори експериментальної еволюції організмів. 2024. Том 34. С. 175-180. <http://utgis.org.ua/journals/index.php/Factory/article/view/1638>
2. Колісник Х.М., **Грицак Л.Р.**, **Дробик Н.М.** Вплив кліматичних умов на вміст та співвідношення фотосинтетичних пігментів у рослин роду *Carlina* L. Фізіологія рослин і генетика, 2024, № 2. С. 166-177. <https://www.frg.org.ua/uk/2024/166-177N2V56.htm>
3. **Горин О. І.**, Гладчук М. А., **Боднар О. І.** Екотоксикологічна оцінка впливу реальних концентрацій металів мілітарного походження на гідробіонітів. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія*. Тернопіль : Вектор, 2024, том 84, № 3-4 . С. 52-64 . – прийнято до друку.
4. **Грицак Л. Р.**, Федорчак Д. А., Бойко Д. А., **Дробик Н. М.** Вплив світлових умов та джерел карбону на водний режим рослин *in vitro* видів роду *Gentiana* L. Вісник генетиків і селекціонерів, 2024. Том 22, № 1–3. – прийнято до друку.
5. Сорока О. В., Прокоп'як., **Грицак Л. Р.**, **Дробик Н. М.** Біологічно активні речовини видів роду *Carlina* L. флори України. *Наукові записки ТНПУ імені Володимира Гнатюка. Серія Біологія*. 2024, том 84, № 3-4, С. 44–52. – прийнято до друку.

1.6 Статті у періодичних виданнях інших країн, що мають ISSN:

1. Chvaliuk H., **Hrubinko V.** Динаміка кількості клітин мікробіодорості *Chlorella vulgaris* Beijer в природних умовах у водосховищі «Тернопільський став». *Area Nauki*. V. 2 (11) 2023. С. 27–41. https://www.law.vnu.edu.ua/files/ugd/65dd18_6a9713545f544e8dab1bf34749ccdc05.pdf (номер вийшов у 2024 році).
2. The approaches to forecasting soil quality in Ukraine. **Halyna Humeniuk**, Andriy Sverstiuk, Volodymyr Khomenchuk, Mariana Prokopiak, Iryna Chen, Olena Voloshyn *Ekológia (Bratislava)* The Journal of Institute of Landscape Ecology of Slovak Academy of Sciences (в друці)

1.7 Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України та не індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection:

1. Gylytė B., Karitonas R., Martinyuk V., Baranovskii V., Yunko K., **Stoliar O.**, Manusadžianas L. Multigenerational responses of *Ceriodaphnia dubia* to selected pharmaceuticals and lanthanides. *Proceedings of the Eleventh International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning & Economics Lefkada island*. Greece. June 16-20, 2024. P. 290.
2. Karitonas R., Gylytė B., Jurkonienė S., Šveikauskas V., Baranovskii V., Yunko K., **Stoliar O.**, Manusadžianas L. Praseodymium toxicity to representatives of aquatic biota. *Proceedings of the Eleventh International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning & Economics Lefkada island*. Greece. June, 16-20. 2024. P. 292.
3. Yunko K., Impellitteri F., Martyniuk V., Multisanti C. R., Gnatyshyna L., Zabolotna M., Khoma V., Matskiv T., Gylyte B., Bednarska I., Panasiuk I., Tymkiv A., Mazepa M., Lehkyi V., Zabolotna O., Manusadžianas L., Faggio C., **Stoliar O.** Multi-marker approach for the evaluation of neuroleptic chlorpromazine environmental toxicity utilizing bivalve molluscs as bioindicators. *Ternopil Bioscience – 2024: VIII International scientific conference*. Ternopil. April, 18–19. 2024. P. 203-206. <http://194.44.132.109/handle/123456789/34075>
4. Ahmed M., Khoma V., Yunko K., Martyniuk V., Matskiv T., Gnatyshyna L., **Stoliar O.** 2024. Evaluation of cellular stress response in bivalve mollusk *U. tumidus* exposed to mixture of waterborne pharmaceuticals and glyphosate-based herbicide. *Ternopil Bioscience – 2024: VIII International scientific conference*. Ternopil. April, 18–19. 2024. P. 197-200. <http://194.44.132.109/handle/123456789/34073>
5. Yunko K., Impellitteri F., Martyniuk V., Multisanti C. R., Gnatyshyna L., Zabolotna M., Khoma V., Matskiv T., Gylyte B., Manusadžianas L., Faggio C., **Stoliar O.** Biochemical responses of marine and freshwater bivalve molluscs to neuroleptic chlorpromazine. *Youth and Progress of Biology: Abstracts of XX International*

- Scientific Conference for Students and PhD Students (Lviv, April 18–20, 2024). – Lviv: Spolom, 2024. – P. 104
<https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/04/Zbirnyk-Molod-i-postup-biologhii-2024-2.pdf>
6. Yunko K., Martyniuk V., Khoma V., Gnatyshyna L., Mudra A., Gylte B., Karitonas R., Manusadžianas L., **Stoliar O.** Cumulative effect of neuroleptics and microplastics in the exposure of bivalve molluscs to their mixture. Актуальні проблеми сучасної біохімії, клітинної біології та фізіології: матеріали VII Міжнародної наукової конференції. Дніпро. 3-4 жовтня 2024 р. С. 77-79.
 7. Martyniuk V., Yunko K., Khoma V., Zabolotna M., Gnatyshyna L., **Stoliar O.** 2024. Population dependent differences of freshwater bivalve molluscs in the tolerance to multiple stressors. 9th Aquatic biodiversity international conference - 2024. Sibiu, Romania, European Union, September, 20-24. 2024.
 8. **Stoliar O.**, Yunko K., Martyniuk V., Khoma V., Gnatyshyna L., Gylte B., Karitonas R., Manusadžianas L. Metallothionein related redox shift as the strategy of stress response in facultative anaerobes on the model of bivalve molluscs. 7 th Congress of the All-Ukrainian Public Organization «Ukrainian Society of Cell Biology» with international representation. Lviv. September, 11-13. 2024. P. 35.
<https://www.cellbiol.lviv.ua/downloads/USCB/2024/USCB-2024-CPAB-eng.pdf>
 9. **Герц А. І.**, Хоменчук В. О., Конончук О. Б., Марків В. С., **Горин О. І.**, Миколишин У. Т. Особливості зв'язування амонійного нітрогену біочарами. Сучасні проблеми біології, екології та хімії : матеріали VII Міжнар. науково-практичної конференції (м. Запоріжжя, 25–27 квіт. 2024 р.). Запоріжжя : Поліграфічний центр «СоруАрт», 2024. С. 255–256. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/32808>
 10. **Герц А. І.**, Хоменчук В. О., Конончук О. Б., Марків В. С., **Горин О. І.**, Вальчук Ю. М. Особливості сорбції та десорбції NO₃- біочарами. Тернопільські біологічні читання – Ternopil bioscience – 2024 : матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 95-річчю від дня народження відомого вченого-мікробіолога, фізіолога рослин і популяризатора науки, професора Кузьми Миколайовича Векірчика (м. Тернопіль, 18–19 квіт. 2024 р.). Тернопіль : Вектор, 2024. С. 372–375. НАШ <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/33850>
 11. **Гуменюк Г.Б.**, Кобилецька Т.В., Трач О.І. Аналітичний огляд публікацій по методах машинного навчання при дослідженні якості ґрунтів // Матеріали VIII Міжнародного конгресу «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. енергоощадність. Збалансоване природокористування» (6-18 жовтня 2024, Україна, Львів) С. 91-92.
 12. **Гуменюк Г.Б.**, Сверстюк А.С., Швець.М.С., Гунька В.Я. Аналітичний огляд літературних джерел при дослідженні якості ґрунтів за допомогою CiteSpace та Web of Science Актуальні питання біології та медицини : зб. наук. праць за матеріалами XX Всеукраїнської наукової конференції (м. Лубни, 24 травня 2024 р.). Лубни : Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2024. С. 23-25.
 13. **Гуменюк Г. Б.**, Перещук Р.Р., Сверстюк С.А., Кулинич Н.А.. Побудова кластерів по країнах походження публікацій отримані засобами Cite Space при аналізі якості ґрунтів Тези доповідей V міжнародної науково-практичної конференції учених та студентів «Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства» / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 28-29 листопада 2024 р.), 2024. – С. 178-180.
 14. Чвалюк Г. В., **Грубінко В. В.**, Тиха С. Я. Очищення тернопільського ставу від важких металів за допомогою мікроводорості *Chlorella Vulgaris*. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2024: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 95-річчю від дня народження професора Кузьми Векірчика* (18-19 квітня 2024 р.). Тернопіль : Вектор, 2024. С. 341-351.
http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/34155/1/100_Chvaliuk_Hrubinko_Tykha.pdf
 15. Чвалюк Г. В., **Грубінко В. В.** Очищення вод в Тернопільському ставі мікроводоростю *Chlorella vulgaris* як засіб оздоровлення довкілля. *Збірник матеріалів XXIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, присвяченій 170-ій річниці з дня народження І. Я. Горбачевського, за редакцією проф. Вадзюка С. Н.* – Тернопіль: Укрмедкнига, 2024. С. 76-77.
<https://repository.tdmu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/17908/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%94%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D1%96%D0%BB%D0%BB%D1%8F%20%D1%96%20%D0%B7%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%27%D1%8F%202024.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
 16. Чвалюк Г. В., **Грубінко В. В.** Азотфіксація у водних екосистемах за участю *Chlorella vulgaris* в експерименті. *Перспективи гідроєкологічних досліджень в контексті локальних та глобальних наслідків*

- ведення воєнних дій: Збірник матеріалів IX з'їзду Гідроекологічного товариства України. Дніпро, 2024. С. 101-103 URL: https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/2024/materiali_konferenc/Hidrobiol_Zizd.pdf
17. Чвалюк Г. В., **Грубінко В. В.** Трансформація сполук азоту за сприяння *Chlorella vulgaris*. Матеріали XV З'їзду Українського ботанічного товариства (Івано-Франківськ, 30 вересня – 4 жовтня 2024). Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2024. С. 19. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/XV_UBT_proceedings.pdf
 18. Чвалюк Г. В., **Грубінко В. В.** Кореляція між впливом температури і вмістом амонію за сприяння *Chlorella vulgaris*. Актуальні проблеми сучасної біохімії, клітинної біології та фізіології: матеріали VII Міжнародної наукової конференції, 3-4 жовтня 2024 р., м. Дніпро, Україна/ за заг. ред. Ушакової Г.О. – Дніпро: видавництво «Ліра», 2024. С. 168. https://www.biochemistry-dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2024/10/zbirnyk-Dnipro-3_4-Oct-2024.pdf
 19. Чвалюк Г. В., **Грубінко В.В.** Вплив мікроелементів середовища культивування на генетичні модифікації клітин водорості *Chlorella vulgaris*. XIX Міжнародна наукова конференція «Фактори експериментальної еволюції організмів», присвячена 185-річчю клітинної теорії та 145-річчю від дня народження В. Я. Юр'єва, 180-річчю від дня народження Фрідріха Мішера. Фактори експериментальної еволюції організмів 2024. Том 35. С. 186. <http://utgis.org.ua/journals/index.php/Factory/article/view/1680>
 20. Суходольська І. Л., **Грубінко В. В.** Структура угруповань фітопланктону Басівкутського водосховища. Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2024 : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 95-річчю від дня народження професора Кузьми Миколайовича Векірчика (18-19 квітня 2024 р.). – Тернопіль : Вектор, 2024. С. 336-341. http://dspace.tnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/34154/1/99_Sukhodolska_Hrubinko.pdf
 21. **Боднар О. І.**, Ракочий А. І., **Грубінко В. В.** Вивчення складу біологічно активних комплексів з *Chlorella vulgaris*. Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2024 : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 95-річчю від дня народження професора Кузьми Миколайовича Векірчика (18-19 квітня 2024 р.). – Тернопіль : Вектор, 2024. С. 245-249. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/34093>
 22. **Горин О. І.**, Гладчук М. А., Фермега А., **Боднар О. І.** Порівняння показників оксигенового стресу, викликаного ціанобактеріями на стаціонарній та експоненціальній фазах росту. Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті локальних та глобальних наслідків ведення воєнних дій: Збірник матеріалів IX з'їзду Гідроекологічного товариства України. Дніпро, 2024. С. 244-247. https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/2024/materiali_konferenc/Hidrobiol_Zizd.pdf
 23. **Горин О. І.** Колесницький Р. В., **Боднар О. І.** Оцінка коригуючої здатності мікроводоростей щодо забруднення середовища пестицидами. Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2024 : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 95-річчю від дня народження професора Кузьми Миколайовича Векірчика (18-19 квітня 2024 р.). – Тернопіль : Вектор, 2024. С. 314-317. <http://dspace.tnpu.edu.ua/jspui/handle/123456789/34145?mode=full>
 24. Гук С. Ю., Прокоп'як М. З., **Грицак Л. Р.**, **Дробик Н. М.** Використання міжмікросателітних послідовностей для вивчення генетичного поліморфізму популяцій рослин. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2024», 18–19 квітня 2024 р. Тернопіль: Вектор, 2024. С. 164-166. http://dspace.tnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32847/3/Ternopil_Boscience_2024.pdf
 25. Колісник Х.М., **Грицак Л.Р.**, Прокоп'як М.З., **Дробик Н.М.** Апробація розроблених підходів адаптації рослин in vitro до умов ex vitro та in situ на прикладі *Carlina L.* Фактори експериментальної еволюції організмів : матеріали XVIII Міжнародної наукової конференції, присвяченої 185-річчю клітинної теорії, 180-річчю від дня народження Фрідріха Мішера, 145-річчю від дня народження Василя Юр'єва (23-26 вересня 2024 р., м. Тернопіль. 2024. Том 35. С. 173. <http://utgis.org.ua/journals/index.php/Factory/article/view/1680>
 26. **Грицак Л.Р.**, Бойко Д.А., Федорчак Д.А. Відновлення екологічної рівноваги екосистем за використання біотехнологій. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2024», присвяченої 95-річчю від дня народження відомого вченого-фізіолога, мікробіолога і популяризатора науки, професора Кузьми Миколайовича Векірчика, 18-19 квітня 2024 р. Тернопіль: Вектор, 2024. С. 268-272. http://dspace.tnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32847/3/Ternopil_Boscience_2024.pdf
 27. Сорока О.В. Прокоп'як М.З., **Грицак Л.Р.**, **Дробик Н.М.** Біологічно активні речовини видів роду *Carlina L.* Хімія, біо-і фармтехнології, екологія та економіка в харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловості: зб. матеріалів 12-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 18-19 листопада 2024 р./ред. кол.: Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ [та ін.]; Нац. техн. ун-т" Харків. політехн. ін-т"[та ін.]. Харків, 2024.– С. 57–58. <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/1e639b2e-7c61-406a-845f-a773e354726f>

28. Міщук О.О., Підгірна Х.А., Колісник Х.М., Прокоп'як М.З., **Грицак Л.Р., Дробик Н.М.** Порівняльна характеристика проростання насіння *Rhodiola rosea* L. та *Rhodiola semenovii* Boriss *in vitro*. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2024», 18–19 квітня 2024 р. Тернопіль: Вектор, 2024. С.285–288/
http://dspace.tnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32847/3/Ternopil_Bioscience_2024.pdf
29. Колісник Х. М., **Грицак Л. Р.**, Задорожна К. А., **Дробик Н. М.** Залежність вмісту та співвідношення фотосинтетичних пігментів від зміни клімату деяких видів роду *Carlina* L. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2024», 18–19 квітня 2024 р. Тернопіль: Вектор, 2024. С. 46-50.
http://dspace.tnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32847/3/Ternopil_Bioscience_2024.pdf
30. Тарас Ю.М., Кравченко Є.Я., Колісник Х.М., **Грицак Л.Р., Дробик Н.М.** розробка підходів культивування *in vitro* видів роду *Arnica* L. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2024», 18–19 квітня 2024 р. Тернопіль: Вектор, 2024. С. 292–296.
http://dspace.tnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32847/3/Ternopil_Bioscience_2024.pdf
31. Христина Колісник, **Людмила Грицак**, Мар'яна Прокоп'як, **Надія Дробик** Вплив рекультиванту композиційного “Trevitanm” на ріст видів роду *Carlina* L. *in vitro*. Матеріали XV З'їзду Українського ботанічного товариства. Івано-Франківськ, 30 вересня – 4 жовтня 2024 р. – Одеса: Видавничий дім «Гельветика». С. 37. https://www.botany.kiev.ua/doc/XV_UBT_proceedings.pdf
32. **Людмила Грицак**, Денис Бойко, Владислав Грицак, Руслана Панасенко Оцінка стану модельної популяції видів роду *Gentiana* у високогір'ї Українських Карпат. Матеріали XV З'їзду Українського ботанічного товариства. Івано-Франківськ, 30 вересня – 4 жовтня 2024 р. – Одеса: Видавничий дім «Гельветика». С. 67. https://www.botany.kiev.ua/doc/XV_UBT_proceedings.pdf
33. Прокоп'як М. З., **Грицак Л. Р., Дробик Н. М.** Використання ген-спрямованих маркерів для аналізу генетичної структури популяцій *Gentiana lutea* L. // Селекційно-генетична наука і освіта (Парієві читання) : матеріали XII Міжнародної наукової конференції (18–20 березня 2024 р.). Умань : Уманський національний університет садівництва, 2024. С.122-124. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/33297>

1.11 Підручники, навчальні посібники:

1. Ботаніка в схемах, таблицях, рисунках : навч. посіб. / [О. П. Хворост, С. М. Марчишин, Ю. А. Федченкова, **Н. М. Дробик**, К. С. Скребцова, Л. М. Слободянюк]. Тернопіль : ТНМУ, 2024. 172.
2. Статистичні методи досліджень у природничих науках / Навчальний посібник/ **Гуменюк Г. Б.**, Хоменчук В. О., Гарматій Н. М., Прокоп'як М. З., Сверстюк А. С. Тернопіль, ФОП Осадца Ю. В., 2024. 98 с.

2. Презентація та поширення результатів:

2.1 Міжнародні науково-комунікативні заходи, конференції:

1. *Proceedings of the Eleventh International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning & Economics Lefkada island*. Greece. June 16-20, 2024.
2. *Ternopil Bioscience – 2024: VIII International scientific conference*. Ternopil. April, 18–19. 2024. / *Тернопільські біологічні читання 2024 : VIII Міжнар. наук.-практ. конф.*, присвячена 95-річчю від дня народження відомого вченого-мікробіолога, фізіолога рослин і популяризатора науки, професора Кузьми Миколайовича Векірчика (м. Тернопіль, 18–19 квіт. 2024 р.). Тернопіль : Вектор, 2024.
3. *Youth and Progress of Biology: XX International scientific conference for students and PhD students*. Lviv. April, 18–20. 2024.
4. *Актуальні проблеми сучасної біохімії, клітинної біології та фізіології*: матеріали VII Міжнародної наукової конференції. Дніпро. 3-4 жовтня 2024 р.
5. *9th Aquatic biodiversity international conference - 2024*. Sibiu, Romania, European Union, September, 20-24. 2024.
6. 7 th Congress of the All-Ukrainian Public Organization «*Ukrainian Society of Cell Biology*» with international representation. Lviv. September, 11-13. 2024.
7. *Сучасні проблеми біології, екології та хімії : VII VII Міжнар. науково-практична конференція* (м. Запоріжжя, 25–27 квіт. 2024 р.). Запоріжжя : Поліграфічний центр «СоруArt», 2024.
8. VIII Міжнародний конгрес «*Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. енергоощадність. Збалансоване природокористування*» (6-18 жовтня 2024, Україна, Львів).
9. *Актуальні питання біології та медицини : XX Всеукраїнська наукова конференція* (м. Лубни, 24 травня 2024 р.).

10. V міжнародна науково-практична конференція учених та студентів «Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства» / Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 28-29 листопада 2024 р.).
11. XXIII Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю, присвяченій 170-ій річниці з дня народження І. Я. Горбачевського, за редакцією проф. Вадзюка С. Н. – Тернопіль: Укрмедкнига, 2024.
12. Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті локальних та глобальних наслідків ведення воєнних дій: IX з'їзд Гідроекологічного товариства України. Дніпро, 2024.
13. XV З'їзд Українського ботанічного товариства (Івано-Франківськ, 30 вересня – 4 жовтня 2024).
14. XIX Міжнародна наукова конференція «Фактори експериментальної еволюції організмів», присвячена 185-річчю клітинної теорії та 145-річчю від дня народження В. Я. Юр'єва, 180-річчю від дня народження Фрідріха Мішера, 145-річчю від дня народження Василя Юр'єва (23-26 вересня 2024 р., м. Тернопіль).
15. Хімія, біо-і фармтехнології, екологія та економіка в харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловості : 12 Міжнар. наук.-практ. конф., 18-19 листопада 2024 р., Харків.
16. Селекційно-генетична наука і освіта (Парієві читання) : XII Міжнародна наукова конференція (18–20 березня 2024 р.), Умань.

2.2 Всеукраїнські та регіональні науково-технічні/промислові виставкові заходи:

1. Training "Measuring Carbon in Soil under Miscanthus" (hybrid format), conducted as part of the NATO SPS MYP G6094 project, "Mitigation of Climate Change through Advanced Phytotechnology for Military Lands." Training "Measuring Carbon in Soil under Miscanthus" (June 4, 2024, Jan Evangelista Purkyně University in Usti nad Labem, the Czech Republic);
2. Презентація результатів діяльності на зустрічі з представниками Освітнього центру Верховної Ради України (18.10.2024 р.)
3. Представлення інформації про напрямки наукових досліджень для учнів-членів Тернопільського відділення МАН України (липень 2024 р.).
4. Презентація наукових лабораторій та результатів дослідження для учнів-членів Заочної природничої академії (23.04.2024 р.).
5. Участь у науковому семінарі «Біомаркери забруднення водойм новітніми чинниками. Представлення результатів експерименту, проведеного у межах Литовсько-Українського проекту, 2024 р та перспективи на 2025 р». Workshop "Biomarkers of aquatic pollution by novel contaminants. Experience of the experiments conducted within the framework of the Lithuanian-Ukrainian project, 2024 and prospects for 2025".

2.5 Представлення інформації про результати роботи на науково-популяризаційних заходах:

1. 11-ті наукові пікніки під гаслом «Геніальність у простоті» (26 травня 2024 р., Тернопіль);
2. Науково-популярний лекторій, присвячений Дню науки в Україні (20 травня 2024 р, ТНПУ);
3. V Форум Рад молодих вчених «НЕЗЛАМНІСТЬ» (25 жовтня 2024 р., Київ);
4. Гостини в ТНПУ (24.04.2024);
5. "Один день в університеті" (10 квітня, 6, 16 грудня 2024, ТНПУ).

2.6 Інші заходи, які не описані у пп. 2.1-2.5

1. Горин О. Міжнародний науковий симпозіум "The Role of University and Research for Sustainable Regional Development" International Scientific Symposium, Політехнічний університет у Білостоку, Білосток, Республіка Польща, 21-23 квітня 2024 р.

3. Підготовка наукових кадрів:

3.2 Захищено дисертацій доктора філософії авторами роботи або під керівництвом авторів у рамках тематики роботи:

1. Мацьків Т. Р. «Дослідження ролі металотіонеїнів у запальних процесах на моделях двостулкового молюска *Dreissena polymorpha* та лабораторних шурів», дисертація на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 091 «Біологія». Тернопіль, 2024. С. 184. Науковий керівник: **Столяр Оксана Борисівна**. <https://tnpu.edu.ua/naukova-robota/razova-spets-al-zovana-vchena-rada-df-58-053-041-.php>
2. Хатіб І. «Фізіолого-біохімічні механізми адаптації коропових риб на прикладі *Danio rerio* до впливу органофосфатних та триазинових пестицидів», дисертація на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 091 «Біологія». Тернопіль, 2024. С. 187. Науковий керівник: **Боднар Оксана Ігорівна**. https://tnpu.edu.ua/naukova-robota/DF-58-053-057.php?sphrase_id=58387

4. Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності:

4.3 Отримано патентів України на корисну модель:

1. Спосіб експрес аналізу забруднення водойм мікропластиком з використанням біоіндикації / **Столяр О.Б.**, Мартинюк В.В., Мочарський В.С., Тулайдан Г. М., Барановський В.С. // Патент на корисну модель № u202300217.

4.6 Подано заявок на отримання охоронного документу на ОПІВ України та /або інших країн:

1. Спосіб біоіндикації загальної токсичності водних екосистем / **Столяр О.Б.**, Мартинюк В.В., Юнко К.Б., Мацків Т.Р., Тулайдан Г. М., Барановський В.С., Романюк Л.А. // Заявка на винахід (корисну модель) № u202403091 заявл. 12.06.2024 (від 21.11.2024 перебуває на стадії очікування документа про сплату державного мита);
2. Спосіб регулювання росту мікроклонально розмножених рослин тирличу жовтого (*Gentiana lutea* L.) на етапі *ex vitro* / **Грицак Л. Р.**, Бойко Д. А, Прокоп'як М. З., **Дробик Н.М.** // Заявка на винахід (корисну модель) № u202404797 (від 8.10.2024 перебуває на стадії формальної експертизи).

5. Впровадження та використання наукових або науково-технічних (прикладних) результатів:

5.4 Подано заявок на державні, міжнародні наукові гранти (окрім індивідуальних):

1. “Оцінка впливу мілітарного забруднення на безпечність річково-басейнових систем на основі біореакцій та математичного моделювання”, конкурс проєктів фундаментальних наукових досліджень, прикладних наукових досліджень та науково-технічних (експериментальних) розробок молодих вчених, МОН України (Оксана ГОРИН - виконавець, Оксана БОДНАР - науковий консультант).
2. “Оцінка та аналіз ступеня мілітарної контамінації сільськогосподарських угідь з вткористанням фізико-хімічних методів та біоіндикації”, основний конкурс фундаментальних наукових досліджень, прикладних наукових досліджень, МОН України (Оксана СТОЛЯР - виконавець).

5.5 Впроваджено у освітній процес ЗВО/НУ з відповідним підтвердженням:

1. Акт впровадження в освітній процес кафедри ботаніки та зоології ТНПУ ім. В. Гнатюка сучасних знань про мікроводорості (на прикладі *Chlorella vulgaris*) з метою формування у студентів комплексного розуміння фундаментальної ролі одноклітинних водоростей у функціонуванні водних екосистем та їх потенціалу для біотехнологічних застосувань.

6. Створено чи істотно удосконалено/покращено існуючі:

6.2 Матеріали, процеси, технології, технологічні регламенти, цифрові продукти та електронні сервіси:

1. «Технологія культивування лікарських рідкісних рослин в умовах *ex vitro*». Автори: Грицак Л.Р., Дробик Н.М.

7. Участь з оплатою у виконанні роботи (штатних одиниць/осіб) згідно з додатком до форми, всього:

Дробик Надія Михайлівна – доктор біологічних наук, професор, перший проректор, професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін ТНПУ ім. В. Гнатюка.

Боднар Оксана Ігорівна – доктор біологічних наук, професор, декан хіміко-біологічного факультету, професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін ТНПУ ім. В. Гнатюка.

Герц Андрій Іванович – кандидат біологічних наук доцент кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін ТНПУ ім. В. Гнатюка.

Горин Оксана Ігорівна – PhD, асистент кафедри хімії та методики її навчання ТНПУ ім. В. Гнатюка.

Грицак Людмила Русланівна – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін ТНПУ ім. В. Гнатюка.

Грубінко Василь Васильович – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін ТНПУ ім. В. Гнатюка.

Гуменюк Галина Богданівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін ТНПУ ім. В. Гнатюка.

Столяр Оксана Борисівна – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри хімії та методики її навчання ТНПУ ім. В. Гнатюка.

7.3 Молодих вчених:

Горин Оксана Ігорівна – PhD, асистент кафедри хімії та методики її навчання ТНПУ ім. В. Гнатюка.

21. Рішення науково-технічної ради організації-виконавця роботи щодо результатів розгляду проміжного звіту:

Рішенням науково-технічної ради Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка (протокол № 15 від 23 грудня 2024 року) ухвалили:

1. Робота виконана відповідно до вимог ТЗ – 2024 . Науково-технічний звіт затвердити.
2. Рекомендувати Міністерству освіти і науки України продовжити фінансування виконання перспективного плану розвитку наукового напрямку «Біологія та охорона здоров'я» у 2025 році.

22. Анотація основних результатів роботи (звітнього етапу) українською та англійською мовами:

Досліджено реакцію-відповідь живих організмів (на прикладі молюсків *Unio tumidus*, риб *Danio rerio* та *Cyprinus carpio*) на забруднення водойм металами та іншими токсичними речовинами, які потрапляють у середовище, у тому числі внаслідок військових дій. Отримані результати дозволити обрати мінімальний набір показників, за якими можна оцінити ступінь пошкоджуючого впливу забруднювачів мілітарного, промислового та сільськогосподарського походження на водних тварин. Такі дослідження є важливими для розуміння впливу забруднень на екосистеми та можуть бути використані для розробки екологічних нормативів і стратегій зменшення їх наслідків.

Проаналізовано доцільність використання фармацевтичних препаратів та біологічно активних добавок рослинного походження (виготовлених, наприклад, з *Chlorella vulgaris* Beijer.) як коригуючих засобів для лікування посттравматичних станів та метаболічних порушень, спричинених дією екстремальних чинників навколишнього середовища, включно наслідками воєнних дій. Водночас, встановлено, що внесення хлорели у водойми сприяє зниженню вмісту нітратів, фосфатів і амонію у воді, що допомагає запобігти евтрофікації та «цвітінню», а також підтримувати стабільний рівень розчиненого кисню. Використання хлорели як природного методу очищення водойм відповідає цілям сталого розвитку навколишнього середовища. Вивчено зміни, що відбуваються у цінних рідкісних лікарських рослинах за культивування їх в штучно створених умовах *in vitro*, а також у процесі їх перенесення поза межі пробірки (умови *ex vitro*) та адаптації до природних місць зростання. Розроблено технологію адаптації біотехнологічних рослин рідкісних високогірних видів на прикладі представників роду *Gentiana* до умов *ex vitro*, яка дозволяє отримати високожиттєздатний посадковий матеріал для реалізації репатріаційних проєктів і може бути використана для збереження генофонду інших рідкісних видів рослин із подальшою репатріацією у деградовані, зникаючі популяції. Запропоновано підхід до прогнозування якості ґрунту за розробленим алгоритмом та математичною моделлю, отриманою за допомогою регресійного аналізу. Визначено вміст важких металів у ґрунтах, виявлено придатність ґрунтів за цим показником для вирощування сільськогосподарської продукції. З'ясовано доцільність застосування біочару для покращення врожайності, зменшення шкідливих впливів в агроекосистемах та відновлення мілітарно забруднених ґрунтів.

The reaction-response of living organisms (using the example of mollusks *Unio tumidus*, fish *Danio rerio*, and *Cyprinus carpio*) to pollution of water bodies with metals and other toxic substances that enter the environment, including as a result of military operations, was studied. The results allow us to select a minimum set of indicators by which we can assess the degree of damaging effects of military, industrial, and agricultural pollutants on aquatic animals. Such studies are essential for understanding the impact of pollution on ecosystems and can be used to develop environmental standards and strategies to reduce their consequences. The feasibility of using pharmaceuticals and biologically active additives of plant origin (made, for example, from *Chlorella vulgaris* Beijer.) as

corrective agents for the treatment of post-traumatic conditions and metabolic disorders caused by the action of extreme environmental factors, including the consequences of military operations, was analyzed. At the same time, it was found that the introduction of chlorella into water bodies contributes to the reduction of nitrates, phosphates, and ammonium in water, which helps to prevent eutrophication and "blooming," as well as to maintain a stable level of dissolved oxygen. Using chlorella as a natural method of purifying water bodies meets the goals of sustainable environmental development. The changes that occur in valuable rare medicinal plants during their cultivation in artificially created conditions *in vitro*, as well as in the process of their transfer outside the test tube (*ex vitro* conditions) and adaptation to natural growth places, have been studied. A technology for adapting biotechnological plants of rare high-altitude species to *ex vitro* conditions has been developed using the example of representatives of the *Gentiana* genus, which allows obtaining highly viable planting material for the implementation of repatriation projects and can be used to preserve the gene pool of other rare plant species with subsequent repatriation to degraded, disappearing populations. An approach to predicting soil quality is proposed using the developed algorithm and mathematical model obtained using regression analysis. The content of heavy metals in soils is determined, and the suitability of soils for growing agricultural products according to this indicator is revealed. The feasibility of using biochar to improve yield, reduce harmful effects in agroecosystems, and restore militarily contaminated soils is clarified.

Перелік виконавців роботи з оплатою праці

№	Власне ім'я прізвище, науковий ступінь, вчене звання	Основне місце роботи або здобуття освіти	Зазначити вік та наявність статусу молодого вченого	Посада (або договір ЦПХ) та роль у ході виконання роботи	Основні завдання у ході виконання роботи (стисло зазначити функції)
1	Надія ДРОБИК, д. біол. н., професор	Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка	57 років	Перший проректор, професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін, керівник	Дослідження структурно- функціональної перебудови лікарських рослин (зміни морфотипу, ростових параметрів, динаміки вмісту фотосинтетичних пігментів та перебігу первинних процесів фотосинтезу, зміни параметрів водного режиму рослин <i>in vitro</i>).
2	Людмила ГРИЦАК, д. біол. н., професор	Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка	52 роки	Професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін, виконавець	З'ясування перспектив використання адаптованих рослин як потенційного джерела сировини для отримання біологічно активних речовин.
3	Оксана СТОЛЯР, д. біол. н., професор	Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка	69 років	Професор кафедри хімії та методики її навчання, виконавець	Визначення способу експрес-діагностики біологічної відповіді на забруднення водного середовища рідкоземельними металами, що потрапляють у водойми унаслідок військових дій на підставі аналізу вмісту есенціальних металів у тканинах двостулкового моллюска.

№	Власне ім'я прізвище, науковий ступінь, вчене звання	Основне місце роботи або здобуття освіти	Зазначити вік та наявність статусу молодого вченого	Посада (або договір ЦПХ) та роль у ході виконання роботи	Основні завдання у ході виконання роботи (стисло зазначити функції)
4	Василь ГРУБІНКО, д. біол. н., професор 	Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка	65 років	Завідувач кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін, виконавець	Аналіз доцільності використання фармацевтичних препаратів та біологічно активних добавок рослинного походження щодо потенційного використання їх як коригуючих засобів для лікування посттравматичних станів та метаболічних порушень, спричинених дією екстремальних чинників навколишнього середовища, включно наслідками воєнних дій.
5	Оксана БОДНАР, д. біол. н., професор 	Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка	44 роки	Декан хіміко- біологічного факультету, професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін, виконавець	Аналіз доцільності використання фармацевтичних препаратів та біологічно активних добавок рослинного походження щодо потенційного використання їх для лікування посттравматичних станів та метаболічних порушень, спричинених дією екстремальних чинників навколишнього середовища, включно наслідками воєнних дій. Встановлення закономірності реакцій нетаргетних організмів на дію екологічно релевантних концентрацій водних полютантів (у тому числі мілітарного походження).

№	Власне ім'я прізвище, науковий ступінь, вчене звання	Основне місце роботи або здобуття освіти	Зазначити вік та наявність статусу молодого вченого	Посада (або договір ЦПХ) та роль у ході виконання роботи	Основні завдання у ході виконання роботи (стисло зазначити функції)
6	Галина ГУМЕНЮК, д. біол. н., доцент	Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка	49 років	Доцент кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін, виконавець	Пропонування підходу до прогнозування якості грунту за розробленим алгоритмом та математичною моделлю, отриманою за допомогою регресійного аналізу. Визначення вмісту важких металів у грунтах, з'ясування їх придатності за цим показником для виращування сільськогосподарської продукції.
7	Андрій ГЕРЦ, д. біол. н., доцент	Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка	47 років	Доцент кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін, виконавець	Встановлення за допомогою кореляційного аналізу взаємозв'язку між масовою часткою органічного Карбону у грунті та спектральним коефіцієнтом відбиття певних довжин хвиль. Виявлення характеру спектральних кривих відбиття ґрунту, зміненого в результаті військових дій та відновленого біочаром.
8	Оксана ГОРИН, доктор філософії (09 Біологія)	Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка	34 роки, молодий вчений	Асистент кафедри хімії та методики її навчання, виконавець	Встановлення закономірності реакцій нетаргетних організмів на дію екологічно релевантних концентрацій водних полютантів (у тому числі мілітарного походження) та визначити основні стратегії адаптацій до їх впливів.