

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
за Додатковою угодою № БФ/2-2023 від 10. 05. 2023 р.
за договором № БФ/2- 2021 від 01. 06. 2021 р.
на Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку

«БІОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я»
Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира
Гнатюка

- 1. Термін виконання:** квітень 2023 р. – грудень 2023 р.
- 2. Номер державної реєстрації:** 0121U111540.
- 3. Номер облікової картки заключного звіту:** 0224U002968.

4. Мета та перелік основних завдань:

Метою виконання завдання є розроблення способів корекції функціонування і продуктивності експериментальних організмів та їх угруповань за впливу природних і модельних факторів.

Для реалізації поставленої мети були виконані наступні завдання:

- I. обґрунтування залежності 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 в умовах *in vitro*; оцінку можливості використання люмінесцентних ламп з різними технічними характеристиками для корекції світлових умов культивування рослин *in vitro*;
- II. дослідження фізіолого-біохімічних змін у водних рослин за умов підвищеного вмісту нітрогену, фосфору і металів та обґрунтування перспектив їх використання у біоре mediaційних заходах;
- III. оцінку стійкості імунної та стресової реактивності в популяціях корінних та інвазивних двостулкових молюсків для з'ясування впливу адаптації у природному біотопі;
- IV. встановлення загальних закономірностей, регіональних особливостей змін ґрунтів у сучасних умовах інтенсивного землеробства; визначення шляхів ефективного використання ґрунтів; оцінку ефективності застосування інструментарію економіко-математичного моделювання для проведення моніторингу та покращення екологічної ситуації водних ресурсів шляхом створення моделей оцінювання рівня їх комплексного використання та охорони;
- V. встановлення фізіологічних, біохімічних і молекулярних особливостей відповіді водних організмів (на прикладі корошових риб) *in vitro* та *in vivo* на вплив екологічно релевантних концентрацій пестицидів і фармацевтиків.

5. Короткий зміст виконаних досліджень:

У рамках реалізації третього етапу перспективного плану розвитку наукового напрямку «Біологія та охорона здоров'я» Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка:

I. Досліджено особливості зміни морфотипу, морфо- та алометричних параметрів, вмісту фотосинтетичних пігментів, динаміки ключових параметрів флуоресценції хлорофілу а рослин *in vitro* видів роду *Gentiana* L. (*Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L.) залежно від світлових умов культивування. Це дозволило, з *одного боку*, вивчити структурно-функціональні зміни рослин *in vitro* *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis* за різних варіантів світлових умов їх культивування та, на основі цього, обґрунтувати екологічні основи оптимізації умов вирощування рослин *in vitro*. А з *іншого боку*, – відібрати критерії-маркери для оцінки структурно-функціональних змін рослин у процесі їх культивування в умовах *in vitro* та визначення у подальших дослідженнях ефективності розроблених нами технологій для адаптації рослин *in vitro* до умов *ex vitro* та *in situ*.

Встановлено, що корегуючи спектральний склад світла та інтенсивність його потоку в ділянці фотосинтетично активної радіації (ФАР) можна цілеспрямовано ініціювати у рослин *in vitro* структурно-функціональні перебудови. Рослини *in vitro* культивували за 3 ступінчастою схемою на живильних середовищах МС/2 (середовище МС (Murashige, Skoog, 1968) з половинним вмістом макро- та мікросолей), доповнених 0,1 мг/л кінетину (Кін) або 0,1 мг/л 1-нафтилоцтової кислоти (НОК) за температури 18–19°C, фотоперіоду 16/8, інтенсивності світлового потоку в області ФАР 25–135 Вт/м² та різних комбінацій спектрального складу світла: контроль – 25 Вт/м², спектральний склад: Ес : Ез : Еч = 41,8 % : 42,7 % : 15,5 %; 1 варіант: 44 Вт/м², спектральний склад: Ес : Ез : Еч = 37,35% : 42,35% : 20,3%; 1.1 варіант: 85 Вт/м², спектральний склад: Ес : Ез : Еч = 33 % : 42 % : 25 %; 2 варіант: 135 Вт/м², спектральний склад: Ес : Ез : Еч = 29,5 % : 32,5 % : 38,1 %; 2.1 варіант: 100 Вт/м², спектральний склад: Ес : Ез : Еч = 25 % : 27 % : 48 %. Оптимізацію світлових умов здійснювали за використання люмінесцентних ламп денного світла (ЛД), холодного білого світла (ЛХБ) та фітоламп (ФЛ).

Показано, що корекцією режиму освітлення (СК) вдалося не лише відновити габітус рослин *in vitro* подібно до їхнього в умовах *in situ*, покращити морфометричні та алометричні параметри рослин, але й ініціювати розвиток адвентивних пагонів у всіх видів без додаткового використання регуляторів росту, порівняно з контролем. Частка живців, на яких формуються бічні пагони становить 71–100 %. Це вищі показники, порівняно із результатами, отриманими нами в попередніх дослідженнях. Кількість утворених адвентивних пагонів на одному живці теж у 1,5–2 рази більша. Процес росту рослин, їхньої мультиплікації та ініціювання розвитку коренів відбувається на живильному середовищі МС/2, доповненому 0,1 мг/л Кін і не вимагає як вищих концентрацій Кін, так і додаткового введення інших регуляторів росту.

Існування кореляційного зв'язку між певними світловими умовами культивування і ростовими процесами підтверджено застосування методи головних компонент (МГК): світлові умови контролю тісно пов'язані із параметрами зміни довжини, осевих органів і

товщини листкової пластинки, що пояснює габітус рослин цієї дослідної групи; світлові умови 1 варіанту СК сприяють розвитку адвентивних пагонів; сильна стохастична залежність виявлена між світловими умовами 2 варіанту СК і параметрами, за якими оцінюють продуктивність рослин.

Пігментний комплекс рослин *in vitro* усіх досліджених видів динамічно реагує на корекцію режиму освітлення зміною вмісту пігментів та їхнім співвідношенням. Результати багатофакторного аналізу на основі МГК показують, що вміст пігментів не корелює із ростовими параметрами рослин і світловими умовами їх культивування. Проте кореляційну залежність виявлено між співвідношеннями пігментів різних груп (*Chl a/b*, *Chl a/Carot*, *Chl b/Carot*, *Chl a+b/ Carot*), морфометричними та алометричними параметрами рослин *in vitro G. lutea*, а також світловими режимами їх культивування.

Для ґрунтовнішого аналізу фізіологічного стану рослин *in vitro* та функціонування їх ФСА за різних режимів освітлення застосовано й метод індукції флуоресценції хлорофілу *a* (ІФХ). Умови 2.1 варіанту СК у більшій мірі відповідають фізіологічним потребам рослин *in vitro*. На це вказують не лише вищі показники квантової ефективності ФС II, нижчі втрати поглиненої енергії на теплову дисипацію та процеси, що блокують роботу фотосинтетичного апарату, але нижчі значення мінімального рівня флуоресценції. На фоні нижчих величин максимального рівня флуоресценції, лінійного транспорту електронів збільшується ефективність запасаєння енергії світла ФС II та підвищується показники потенційної активності фотосинтетичного апарату рослин який вже становить 90,5 % від оптимального значення. Аналіз отриманих даних показав, що корекцією світлового режиму культивування *in vitro* можна компенсувати наслідки впливу сахарози у складі живильного середовища на функціонування фотосинтетичного апарату (ФСА) рослин *in vitro* та підвищити ефективність використання енергії поглинутого світла.

Розроблено систему критеріїв-маркерів для оцінки структурно-функціонального стану рослин *in vitro* та визначення ступеня розвитку адаптивних властивостей біотехнологічних рослин. Показано, що на *морфологічному рівні* маркерними ознаками, які вказують на зміну морфогенезу рослин *in vitro* у напрямі відновлення морфотипу, властивого для їх особин з природи, є зменшення довжини міжвузлів і формування розетки листків, а також значення таких морфометричних параметрів як: сира маса листків (WL), кореня (WR), надземної частини (WS) та рослин у цілому (WP), а також зміна площі усієї листкової поверхні (A) та одного листка (AIL), що дозволяє оцінити приріст біомаси рослин. На підвищення продуктивності рослин вказує й ефективність утворення ними листкової поверхні та, відповідно, ступінь розвитку фотосинтетичного апарату, які визначають за такими алометричними параметрами як: відношення площі листків до біомаси рослин (LAR), фотосинтетичне зусилля (LWR). Інші же морфо- та алометричні параметри мають другорядне значення.

Критеріями-маркерами оцінки *функціонального стану ФСА* рослин *in vitro*, не залежно від фізико-хімічних умов їх культивування, є показники відношення *Chl a/Carot* і *Chl a/b*. Перший параметр дозволяє оцінити ступінь відповідності умов культивування фізіологічним потребам видів, оскільки чим нижчим є цей показник, тим у більш стресових умовах перебувають рослини. Другий параметр вказує на розмір СЗК фотосистем та успішність процесу формування фізіологічної адаптації у рослин. Вміст фотосинтетичних

пігментів значно варіює залежно умов культивування, тому як діагностичну ознаку їх використовуватися недоцільно. Функціональний стан ФСА можна оцінювати й за параметрами кінетики первинних процесів фотосинтезу. Ключовими параметрами, за якими можна визначити як здатність до поглинання світла, так ефективність його використання, є наступні: частка РЦ ФС II, що знаходяться у «відкритому стані» (qL); ефективність електронного транспорту відкритими реакційними центрами ФСII (Fv'/Fm'); лінійний електронний транспорт у межах СЗК ФС II (LEF); ефективний квантовий вихід ФС II (Φ_{PSII}); частка світла, що отримується рослиною, котра втрачається через *нерегульовані процеси*, побічні продукти яких інгібують фотосинтез або є шкідливими (ϕNO); квантовий вихід нефотохімічного гасіння, оціненого без темної адаптації (ϕNPQ). Не менш важливим показником є індекс життєздатності (Rfd), за яким визначають потенційну активність ФСА.

Показано, що поєднання люмінесцентних ламп денного світла (ЛД), холодного білого світла (ЛХБ) та фітоламп (ФЛ) з різними технічними характеристиками дозволяє здійснити різні варіанти корекції світлових умов культивування рослин *in vitro* як щодо інтенсивності світлового потоку в області ФАР, так і спектрального його складу.

II. При реалізації завдання щодо дослідження фізіолого-біохімічних змін у водних рослин за умов підвищеного вмісту нітрогену, фосфору і металів та обґрунтування перспектив їх використання у біоремедіаційних заходах, вивчено стан альгофлори в екосистемі Басівкутського водосховища, різноманіття та розвиток водоростей зарегульованої водойми в умовах глобальних і локальних кліматичних змін та забруднення. Виявлено суттєвий вплив фізико-хімічних факторів (температура, рН, кисневий режим) на вміст і співвідношення сполук металів та фосфору у воді гідроекосистем з урбанізованих територій. Показано, що високий вміст металів у рослинах прямо відображає наслідки антропогенного впливу на біотичну складову природного середовища, водночас відбувається активне накопичення хімічних елементів у зоні зниження рельєфу місцевості за рахунок стоку поверхневих та ґрунтових вод. Експериментально встановлено, що *Myosotis scorpioides* L. має найвищий коефіцієнт акумуляції фосфору із води, що дозволяє вважати її найефективнішою з досліджуваних рослин для зменшення забруднення водойм сполуками фосфору. Фізіолого-біохімічні дослідження засвідчили, що вторинна мембрана у *Lemna minor* L. не є тимчасовою, вона виконує ті ж функції, що й первинна клітинна мембрана. Це може слугувати важливою моделлю вивчення процесів взаємодії різних клітинних органел, формування різних типів гібридних клітин та, особливо, еволюції клітинних мембран за адаптації до несприятливих умов життєдіяльності.

Запропонована до реалізації схема комплексного дослідження метаболічної активності *Chlorella vulgaris* L. за умов додаткового впливу металів, неметалів та нафтопродуктів, що дозволяє отримати високопродуктивні штами водорості для альгологізації прісноводних водойм урбанізованих територій для покращення їх екологічного стану і якості води, відновлення та стабілізації фізико-хімічних параметрів, активізації біопродукційних процесів.

III. Для реалізації завдання «оцінка стійкості імунної та стресової реактивності в популяціях корінних та інвазивних двостулкових молюсків для з'ясування впливу адаптації у природному біотопі» було проведено порівняння фізіологічних та біохімічних характеристик двостулкових молюсків тригранки *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) та перлівниці *Unio tumidus* (Philipsson, 1788) з різних популяцій. Представників тригранки, як інвазивного виду, відомого унікальною здатністю до розповсюдження у новому середовищі, відбирали з чотирьох популяцій (аборигенної та трьох інвазивних) та визначали спільні характеристики, притаманні виду, відмінності, що спостерігаються у всіх інвазивних популяціях порівняно з аборигенною та можуть бути проявом підвищеної резистентності у нових умовах існування, а також особливі ознаки кожної популяції, що характеризують екотоксичність певної водойми. Для з'ясування впливу еко-експосом на здатність організму до послідовних реакцій, що призводять до несприятливого ефекту (adverse outcome pathway, AOP) у молюсків з аборигенної та інвазивної популяцій, використовували методичний прийом «стрес на стрес», діючи на них екологічно сумісними концентраціями мікропластика, фармацевтичного препарату кофеїну, підвищеної температури поокремо та у поєднанні. На прикладі перлівниці досліджували здатність до акумуляції мікропластика водного середовища у природній водоймі та у лабораторному суб-хронічному експерименті.

При порівнянні тригранки з чотирьох популяцій – аборигенної (р Дніпро, м.Херсон) та інвазивних (Тернопільський став, стави Орне та Дер у північній Франції) встановлено спільні ознаки всіх інвазивних популяцій: у них активність клітинних протеаз апоптозу та/або аутофагії каспази-3 та вільної форми катепсину Д вища, а лізосомального катепсину Д нижча, ніж у аборигенній, а стабільність мембран лізосом менша, що узгоджується з г-теорією щодо забезпечення успішності інвазії завдяки швидкому оновленню поколінь. Встановлено специфічні ознаки екотоксичності в окремих популяціях, які проявляються як підвищений рівень дестабілізації мембран лізосом (Тернопільський став), продуктів перекисного окиснення ліпідів (став Дер) та активація мікросомальної біотрансформації ксенобіотиків (став Орне) у представників окремої водойми.

У лабораторному експерименті дано порівняльну оцінку реакції двох популяцій *D.polymorpha* за низкою параметрів імунореактивності та стресу. Встановлено спільні видові риси реактивності популяцій молюсків за впливу мікропластика, кофеїну, теплового чинника та їх поєднань та доведено вищий рівень резистентності у інвазивній популяції, синергічний ефект за спільної дії ксенобіотиків та його пригнічення під впливом підвищеної температури.

Для оцінки вмісту мікропластика у воді та біологічних тканинах молюска *U.tumidus* було адаптовано оптичний метод та встановлено, що найбільш ефективно за дії 1 мг/л частинок розміром 0,1-0,5 мм відбувається їх акумуляція у м'яких тканинах на 8-12 доби експозиції у негативній кореляції із вмістом пластику у водному середовищі.

IV. У процесі виконання завдання щодо встановлення загальних закономірностей, регіональних особливостей змін ґрунтів у сучасних умовах інтенсивного землеробства; визначення шляхів ефективного використання ґрунтів; оцінку ефективності застосування

інструментарію економіко-математичного моделювання для проведення моніторингу та покращення екологічної ситуації водних ресурсів шляхом створення моделей оцінювання рівня їх комплексного використання та охорони, було досліджено показники води Верхньо-Івачівського водозабору Тернопільської області, розробити модель оцінки і управління якістю води. Для визначення гідрохімічних показників використовували загальновідомі методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. Для оцінки якості води водозабору застосовували модель на основі нечіткої логіки (fuzzy logic) та нейронних мереж, реалізованих в програмі *Matlab*. У результаті комплексного гідроекологічного дослідження водозабору, що забезпечує постачання переважної кількості питної води у м. Тернопіль, (травень, червень, листопад, січень 2019-2020 рр.) визначено вміст основних забруднювальних речовин (сполук нітрогену, фосфору, нафтопродуктів, фенолів, СПАР). Порівняли значення отриманих показників з екологічними нормативами та стандартами якості питної води, оцінили екологічну небезпеку за вмістом окремих речовин та екотоксикологічну ситуацію в цілому. Встановлено, що вода є слаболужною, що і сприяє перебуванню вуглекислоти у формі гідрокарбонат-йону, забезпечуючи екологічно прийнятний газовий режим води. Причиною лужності води є гниття органічних речовин з агросектору. Якість води за фосфатним показником є доброю навіть в умовах їх інтенсивного надходження з стоками, у зв'язку з їх переходом у нерозчинні форми і акумулюванням у осадах (мулі), чому сприяє також слабка лужність води. Виявлено підвищений вміст у воді сполук нітрогену (амоній, нітрати). Забруднення та порушення колообігу нітрогенвмісних сполук може бути пов'язано з надходженням сполук нітрогену з води поверхневого стоку, змивів комунально-побутового походження, розкладання органічних речовин у аграрному секторі, порушенням співвідношення продукційно-деструкційних процесів. Значне забруднення водоносного горизонту органічними речовинами антропогенного походження, позначається на значенні показника БСК₅, як вище допустимого. Встановлені значення свідчать про високе органічне забруднення, що співвідноситься з утворенням значних кількостей аміаку, який є продуктом анаеробного та аеробного окиснення органічних речовин. Після проведення дефазифікації всіх нейронних зв'язків, у програмному забезпеченні *Matlab*, ми отримали модель оцінювання якості води водозабору на середньому рівні з показником 1,52, що відповідає шкалі оцінювання – середньому рівню в діапазоні (1,36-2,18).

Ґрунт є головним засобом сільськогосподарського виробництва, тому збереження і покращення його характеристик залишається чи не найпершим завданням аграріїв та екологів. Внаслідок нераціонального використання ґрунтів відбувається поступове, або лавиноподібне зниження природної родючості. Агроекологічну оцінку досліджуваної території проводили за вмістом гумусу, реакцією ґрунтового розчину та основних елементів живлення. У роботі проведено порівняння результатів дослідження екологоагрохімічної оцінки ґрунтів Шепетівського району Хмельницької області.

Проаналізовано структуру земельних угідь Хмельницької області та ґрунтовий покрив, кислотність ґрунтів і вміст головних елементів живлення. Проаналізовано вплив природних чинників на сільськогосподарське природокористування Шепетівського району Хмельницької області. Було проведено порівняння результатів дослідження екологоагрохімічної оцінки ґрунтів Шепетівського району Хмельницької області,

встановлено загальні закономірності регіональних особливостей змін ґрунтів у сучасних умовах інтенсивного землеробства, визначено шляхи ефективного використання ґрунтів, встановлено кореляційні взаємозв'язки між певними показниками родючості, а також вдалося факторизувати 3 ознаки, а саме, вміст рухомого фосфору, обмінного кальцію та аміачного азоту. Ймовірно, ці показники найбільшою мірою впливають на агрохімічний стан досліджуваних ґрунтів Шепетівського району Хмельницької області.

V. У процесі виконання завдання щодо встановлення фізіологічних, біохімічних і молекулярних особливостей відповіді водних організмів (на прикладі корошових риб) *in vitro* та *in vivo* на вплив екологічно релевантних концентрацій пестицидів і фармацевтиків було встановлено молекулярні та біологічні ефекти впливу екологічно реальних концентрацій тербутилазину та малатіону на рибок данію. Для цього дорослих особин *Danio rerio* піддавали впливу 2 і 30 мкг/л тербутилазину і 5 і 50 мкг/л малатіону окремо та в комбінації протягом 14 днів. В результаті, цього окрім накопичення ТБК-АП і білкових карбонілів, спостерігалось зниження активності антиоксидантів і сукцинатдегідрогенази, збільшення вмісту окисленого глутатіону та посилення апоптозу через надекспресію каспази-3 і BAX. Також тербутилазин і малатіон викликали концентраційно залежне набрякання мітохондрій (до 210 % після поокремої дії та до 470 % після комбінованого впливу) і витік лактатдегідрогенази (до 268 % після поокремої дії та до 570 % після комбінованого впливу). Значне посилення експресії убіквітину та підвищення активності катепсину D були характеристиками, які з'являлися лише при дії тербутилазину, тоді як індукція IgM була ідентифікована як специфічна характеристика токсичності малатіону. В той ж час змін у гіпоталамо-гіпофізарно-щитовидній осі *D. rerio* не спостерігалось. Спільний вплив посилював несприятливі ефекти окремих пестицидів.

За підсумками проведених досліджень можна зробити висновок, і тербутилазин, і малатіон, як поокремо так і в комбінації, індують окисний стрес, продукування активних форм кисню і нітрогену у печінці *D. rerio*, але, ймовірно, запускають різні метаболічні механізми, що індуються дисбалансом між про- та антиоксидантами. Токсичність досліджуваних сполук та їх сумішей для данію зменшувалася в наступному порядку: суміш тербутилазину та малатіону > тербутилазин > малатіон. Тербутилазин порушував антиоксидантно-прооксидантний клітинний баланс більш значною мірою, ніж малатіон, та індукував фрагментацію ДНК і дестабілізацію лізосом. Малатіон, у свою чергу, був здатний викликати імунну відповідь, що спостерігалася за зміною IgM. Загальні побічні ефекти досліджуваних пестицидів включали перекисне окислення ліпідів, набрякання мітохондрій і витік LDH. Тим часом було доведено, що у *D. rerio* малатіон і тербутилазин в екологічно реальних концентраціях не викликають значних змін у системі гіпоталамус-гіпофіз-щитовидна залоза.

Другим напрямком роботи було вивчення впливу екологічно реальних концентрацій широко використовуваних фармпрепаратів – нестероїдного протизапального засобу ібупрофену (25 мкг/л) та ліпідорегулюючого засобу гемфіброзилу (1,0 мкг/л) – на нецільові організми на прикладі корошових риб *Danio rerio*. У результаті проведених досліджень було виявлено, що ібупрофен і гемфіброзил у досліджуваних концентраціях викликають прояви окисного стресу за зменшенням рівня глутатіону та зниження активності

глутатіонтрансферази, з одночасним підвищення рівня карбонільних протеїнів та суттєвим компенсаторним зростанням активності каталази ($p < 0,05$). Також, досліджувані фармацевтики викликали збільшення рівня вітелогеніну, як ознаку ендокринних розладів. Разом з тим, істотних змін енергетичного метаболізму, оціненого за рівнем активності сукцинатдегідрогенази, в умовах експерименту відзначено не було. До специфічних особливостей реакції організму на дію гемфіброзилу можна віднести підвищення стабільності лізосомальних мембран та зниження ефективності процесів біотрансформації обох фармацевтиків. За сумою досліджуваних показників гемфіброзил обумовив більші негативні прояви зміни метаболізму, ніж ібупрофен.

Проведені дослідження сприяють покращенню розуміння механізмів токсичності пестицидів та фармацевтичних препаратів на нецільові організми, зокрема риб, що, в свою чергу, призводять до зменшення біорізноманіття та порушення стійкості екосистем. Варто зазначити, що, незважаючи на те, що виконана робота частково розкриває механізми токсичності вивчених речовин, потрібні подальші багатовекторні дослідження для повного розуміння молекулярних шляхів, за допомогою яких вони можуть впливати на риб та інших водних тварин.

6. Одержані наукові (науково-технічні) результати:

За результатами третього етапу перспективного плану розвитку наукового напрямку «Біологія та охорона здоров'я» Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка: а) опубліковано 13 статей у виданнях, які входять до наукометричних баз *Web of Science/Scopus* та категорії А, б) 6 – у виданнях категорії Б., в) подано 1 заявку на оформлення патенту України на корисну модель.

Отримано акт впровадження:

- «Вивчення теоретичних підходів та практичних способів до покращення екологічного стану гідроекосистем та запровадження екологічно обґрунтованих адаптаційних заходів для зменшення негативного впливу антропогенного навантаження та змін клімату на водойми». Впроваджено у освітній процес Західноукраїнського національного університету. Відповідальні за впровадження: к.економ.н. Бицюра Л.О., д.б.н., проф. Боднар О.І.

Розроблено:

- «Регулювання росту мікроклонального розмноження рослин тирличу жовтого (*Gentiana lutea* L.) на етапі *ex vitro*». Автори: Грицак Л.Р., Дробик Н.М.;
- «Спосіб оцінки перебігу первинних процесів фотосинтезу та функціонального стану фотосинтетичного апарату рослин *in vitro* за флуоресценцією хлорофілу а». Автори: Грицак Л.Р., Дробик Н.М.;
- «Методична розробка комплексного дослідження метаболічної активності *Chlorella vulgaris* за умов додаткового впливу абіотичних чинників». Автори: Грубінко В.В., Боднар О.І.;
- «Методика визначення вмісту мікропластику у водному середовищі та біологічних тканинах». Автор: Столяр О.Б.;

- «Протокол відбору проб для аналізу ґрунту та методики визначення основних елементів родючості в ґрунтах». Автор: Гуменюк Г.Б.;
- «Протокол відбору дослідних зразків та визначення гідрохімічних показників поверхневих вод». Автор: Гуменюк Г.Б.;
- «Алгоритм створення моделі визначення якості води досліджуваної водою на основі нечіткої логіки (fuzzy logic) та нейронних мереж, реалізованих в програмі *Matlab*». Автор: Гуменюк Г.Б.;
- «Методики визначення гідрохімічних показників: кислотності води, вмісту сполук фосфору, нітрогеновмісних сполук, лужних, лужноземельних та важких металів у воді». Автор: Гуменюк Г.Б.;
- «Методика визначення ступеня пошкоджуючого впливу пестицидів на нецільові організми». Автори: Горин О.І., Боднар О.І.

Результати проведених робіт апробовані на 10 Міжнародних та 2 Всеукраїнських конференціях.

7. Публікації за результатами досліджень:

Статті, що входять до баз Web of Science/Scopus, категорія А

1. Kunakh V., Twardovska M., Andreev I., **Drobyk N.**, Navrotska D., Nuzhyna N., Poronnik O., Konvalyuk I., Myryuta G., Ivannikov R., Parnikoza I. Development, integrative study and research prospects of *Deschampsia antarctica* collection. *Polish Polar Research*. Vol. 44 no. 1. 2023. P. 41–68. <https://journals.pan.pl/dlibra/show-content?id=126026> (**Scopus**)
2. Ivannikov R., Anishchenko V., Poronnik O., Myryuta G., Miryuta N., Boyko O., **Hrytsak L.**, Parnikoza I. Bioactive substances of *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. from the central and southern part of the Maritime Antarctic. *Ukrainian Antarctic Journal*. 2023. 21(1). P. 90–102. <https://doi.org/10.33275/1727-7485.1.2023.710> (**Scopus**)
3. **Hrubinko Vasyl V**, **Humeniuk Halyna B.**, Humeniuk Volodymyr V., Andrusushyn Tetiana V., Khomenchuk Volodymyr O., Harmatiy Nataliia M., Chen Iryna B. Assessment of the hydro-ecological situation of the Verkhno-Ivachivsk reservoir in Ternopil using the fuzzy logic apparatus. *Journ. Geol. Geograph. Geology*, 32(2), 254-265. <https://doi.org/10.15421/112324> (**WoS**)
4. Sukhodolska I., **Grubinko V.**, Masovets B. 2023. Characteristics of phytoplankton functioning in urban water reservoirs (based on the example of Basivkut Reservoir, Ukraine). *Algologia*. 33(4): 278–291. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.278> (**Scopus**)
5. Martyniuk V., Khoma V., Matskiv T., Yunko K., Gnatyshyna L., **Stoliar O.**, Faggio C. Combined effect of microplastic, salinomycin and heating on *Unio tumidus*. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2023. Vol. 98. P. 104068. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104068> (**Scopus**)
6. 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 multi-faceted investigation. *Chemosphere*. 2023. P.

141079. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.141079> (**Scopus**)
7. Impellitteri F., Yunko K., Martyniuk V., Khoma V., Piccione G., **Stoliar O.**, Faggio C. Cellular and oxidative stress responses of *Mytilus galloprovincialis* to chlorpromazine: implications of an antipsychotic drug exposure study. *Front Physiol.* 2023. Vol. 14. P. 1267953. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1267953> (**Scopus**)
 8. 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> (**Scopus**)
 9. Gylytė B., Martinyuk V., Cimperman R., Karitonas R., **Stoliar O.**, Manusadžianas L. Long-term toxicity of chlorpromazine, diclofenac and two lanthanides on three generations of *Ceriodaphnia dubia*. *PeerJ.* 2023. Vol. 11. P. e16472. <https://doi.org/10.7717/peerj.16472>
 10. Matskiv T., **Stoliar O.** Biochemical responses of the *Dreissena polymorpha* from municipal pond to caffeine, microplastics, and heating in single and combined exposures. *Studia biologica.* 2023. Vol. 17, No 2. <http://dx.doi.org/10.30970/sbi.1702.717> (**Scopus**)
 11. Impellitteri F., Yunko K., Martyniuk V., Matskiv T., Lechachenko S., Khoma V., Mudra A., Piccione G., **Stoliar O.**, Faggio C. Physiological and biochemical responses to caffeine and microplastics in *Mytilus galloprovincialis*. *Sci Total Environ.* 2023. Vol. 890. P. 164075. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164075> (**Scopus**)
 12. Gnatyshyna L., Khoma V., Martinyuk V., Matskiv T., Pedrini-Martha V., Niederwanger M., **Stoliar O.**, Dallinger R. Sublethal cadmium exposure in the freshwater snail *Lymnaea stagnalis* meets a deficient, poorly responsive metallothionein system while evoking oxidative and cellular stress. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol.* 2023. Vol. 263. P. 109490. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109490> (**Scopus**)
 13. Khatib I, **Horyn O**, **Bodnar O**, Lushchak O, Rychter P, Falfushynska H. Molecular and Biochemical Evidence of the Toxic Effects of Terbutylazine and Malathion in Zebrafish. *Animals (Basel).* 2023 Mar 11;13(6):1029. <https://doi.org/10.3390/ani13061029> (**Scopus/WoS**)

Статті у виданнях категорії Б

1. **Грицак Л.Р.**, Кравець М.Я. Аналіз адаптивного потенціалу кавуна звичайного (*Circullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai) до росту в агроекологічних умовах Західної України. Наукові записки ТНПУ імені Володимира Гнатюка. Серія Біологія. 2023, т.32, № 3-4. <https://journals.chem-bio.com.ua/index.php/biology/issue/archive>
2. Колісник Х. М., Прокоп'як М. З., **Грицак Л. Р.**, **Дробик Н. М.** Вплив кліматичних умов на вміст та співвідношення фотосинтетичних пігментів у рослинах видів роду *Carlina* L. *Фізіологія рослин і генетика.* 2023, т. 55, № 6. <https://www.frg.org.ua/uk/2023/all.htm>

3. Колісник Х. М., Грицак Л. Р., Прокоп'як М. З., Дробик Н. М. Залежність флуоресценції хлорофілу *in vitro* рослин *Carlina* L. від умов освітлення під час їх культивування. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2023. Том 32. С. 96-102. <http://utgis.org.ua/journals/index.php/Factory/article/view/1543>
4. Колісник Х. М., Прокоп'як М. З., Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Хорологія та біоекологічні особливості видів роду *Carlina* L. флори України. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Біологія*. 2023. Т. 83, № 3–4. <https://journals.chem-bio.com.ua/index.php/biology/issue/archive>
5. Костюк К.В., Грубінко В.В., Боднар О.І., Чвалюк Г.В. Механізм утворення системи вторинних концентричних мембран у вищих водних рослин при дії токсичних речовин на прикладі *Lémna minor* L. *Acta Carpathica*. 2023. N 1.с. 5-15. <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.1.1>
6. Гуменюк Г.Б., Гарматій Н.М., Сокіл Б.Б., Хоменчук В.О., Грубінко В.В., Мацюк О.Б., Яворівський Р.Л., Волошин О.С. Моделювання динаміки компонентів прісноводних гідроекосистем (на прикладі річки Ріка Закарпатської області та водозабору м. Ланівці Тернопільської області). *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.*, Т. 84, № 3 –4. <https://journals.chem-bio.com.ua/index.php/biology/issue/archive>

Тези:

1. Акімов В. С., Колісник Х. М., Прокоп'як М. З., Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Особливості культивування *in vitro* арніки гірської (*Arnica montana* L.). *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка, систематика і флориста, кандидата біологічних наук, доцента, завідувача кафедри ботаніки Шиманської Валентини Омелянівни (11–13 травня 2023 р.). Тернопіль : Вектор, 2023. С. 118-121. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29639>
2. Колісник Х. М., Грицак Л. Р., Підгірна Х. А., Дробик Н. М. Показники обмінної кислотності, вміст нітрогену та рухомих форм фосфору у ґрунтах із природних місць росту рослин видів роду *Carlina* L. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка, систематика і флориста, кандидата біологічних наук, доцента, завідувача кафедри ботаніки Шиманської Валентини Омелянівни (11–13 травня 2023 р.). Тернопіль : Вектор, 2023. С. 246-250. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29675>
3. Грицак Л. Р., Колісник Х. М., Гурин Н. С., Дейкало О. П., Дробик Н. М. Комплексний аналіз життєвості репатрійованих біотехнологічних рослин видів роду *Gentiana* L. у високогірній зоні Українських Карпат. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка, систематика і флориста, кандидата біологічних наук, доцента, завідувача кафедри

- ботаніки Шиманської Валентини Омелянівни (11–13 травня 2023 р.). Тернопіль : Вектор, 2023. С. 129-132. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29642>
4. Міщук О.О., Колісник Х. М., Прокоп'як М. З., **Грицак Л. Р., Дробик Н. М.** Введення в культуру *in vitro* цінного лікарського виду *Bupleurum ranunculoides* L. флори України. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка, систематика і флориста, кандидата біологічних наук, доцента, завідувача кафедри ботаніки Шиманської Валентини Омелянівни (11–13 травня 2023 р.). Тернопіль : Вектор, 2023. С. 156-159. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29649>
 5. Колісник Х. М., Підгірна, Х. А., Лановий А. Р., **Грицак Л. Р., Дробик Н. М.** Особливості водного режиму рослин видів роду *Carlina* L. на різних етапах онтогенезу. *Шлях у науку: перші кроки* : матеріали II Всеукраїнської конференції. (06 квітня 2023 р., м. Тернопіль). Тернопіль : ФОП Осадца Ю. В., 2023. С. 69-71. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29807>
 6. Гурин Н. С., Дейкало О. П., **Грицак Л. Р., Дробик Н. М.** Роль кліматичних змін у дестабілізації ареалів високогірних видів флори Українських Карпат. *Шлях у науку: перші кроки* : матеріали II Всеукраїнської конференції. (06 квітня 2023 р., м. Тернопіль). Тернопіль : ФОП Осадца Ю. В., 2023. С. 35-36 <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29756>
 7. Прокоп'як М. З., Гуменюк Г. Б., **Дробик Н. М.** Аналіз генетичної структури популяцій рослин з використанням програм, які базуються на ймовірнісній моделі Байеса. *Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства* : тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції учених та студентів (м. Тернопіль, 7-8 грудня 2023 р.). Тернопіль, 2023. С. 196-197. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/31609>
 8. Колісник Х. М., **Грицак Л. Р.,** Бойко Д.А., Дробик Н. М. Апробація технології багатоступінчастої адаптації рослин *in vitro* до умов *ex vitro* та *in situ* на прикладі деяких видів роду *Carlina* L.: вибрані тези доповідей на XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Фактори експериментальної еволюції організмів». 2023. Том 33. С. 196. <http://utgis.org.ua/journals/index.php/Factory/article/view/1593>
 9. Ракочий А. І., **Боднар О. І., Грубінко В. В.** Вивчення впливу мікроелемент-ліпідних сполук з *Chlorella vulgaris* та потенціалу їх застосування. *Сучасні досягнення фармацевтичної науки в створенні та стандартизації лікарських засобів і дієтичних добавок, що містять компоненти природного походження* : матеріали V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Харків, 14 квітня 2023 р.). Харків : НФаУ, 2023. С. 144-145. <https://cnc.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2023/04/materialy-konferentsii.pdf>
 10. Чвалюк Г.В., **Грубінко В.В.** Особливості застосування селен-хром-ліпідного комплексу при цукровому діабеті II типу. *Лікарські рослини: традиції та перспективи досліджень*: матеріали VI Міжнарод. наукової конференції

- (Березоточа, 25 березня 2023 р.)/ДСЛР ІАП НААН. Лубни: ВКФ «Інтер Парк», 2023. С.22-229. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7845320>
11. Чвалюк Г.В., Галиняк О.В., **Грубінко В.В.** Екологічні аспекти очищення води у природних водоймах за допомогою культивування зелених водоростей. *Молодь і поступ біології*. XIX Міжнародна конференція студентів і аспірантів (м. Львів, 26-28 квітня 2023 р.). Львів: Галич–Прес, 2023. С. 114-115. <https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/04/Youth-and-Progress-of-Biology.-Abstracts-of-XIX-International-Scientific-Conference-for-Students-and-PhD-Students-Lviv-April-26-28-2023..pdf>
 12. **Грубінко В.В.** Методологія фізико-хімічної біології як основа інтегральної підготовки вчителя природничих наук. *Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук у контексті вимог Нової української школи*: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. 18-19 травня 2023 р., м. Тернопіль. С. 256-259. http://physicsnature.tnpu.edu.ua/media/arhive/physics_nature_2023_%D0%B7%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_DXOaLrE.pdf
 13. **Грубінко В.В.** Екоцид. Що вже накоїли росіяни в Україні? *Наукові, методичні та організаційні виклики для закладів освіти та громадськості щодо екологічної освіти та виховання у воєнний і післявоєнний періоди* : матеріали Міжн. наук.-практ. конф., (Тернопіль, 08-09 черв., 2023) [ред.кол. : В.М. Черняк (відп. ред.) та ін.]. Тернопіль : Вид. центр ТОКІППО, 2023. с. 141-146. http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/29470/1/Grubinko_Zb_konf.pdf
 14. **Грубінко В.В., Боднар О.І.,** Чвалюк Г.В, Омеляченко Б.О., Галиняк О.В., Ткач Н.М. Альгологізація Тернопільського водосховища хлорелою *in vivo* з метою очищення води і отримання біомаси фармацевтичного та кормового характеру. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «*Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023*», присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка к.б.н., доц. Валентини Омелянівни Шиманської, 11–13 травня 2023 р. Тернопіль: Вектор, 2023. С. 133-138. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29643>
 15. Чвалюк Г.Б., **Грубінко В.В., Боднар О. І.,** Галиняк О.В., Волік О. В. Субстанція з хлорели як засіб корекції антиокисдантного стану організму. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «*Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023*», присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка к.б.н., доц. Валентини Омелянівни Шиманської, 11–13 травня 2023 р. Тернопіль: Вектор, 2023. С. 183-188. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29657>
 16. Суходольська І.Л., **Грубінко В.В.** Роль *cyanobacteria* у «цвітінні» води Басівкутського водосховища. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «*Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023*», присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка к.б.н., доц. Валентини Омелянівни Шиманської, 11–13 травня 2023 р. Тернопіль: Вектор, 2023. С. 208-212. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29664>

17. Skyba O.I., **Hrubinko V.V.** Water quality assessment practices in different socio-economic and environmental contexts: a comparative study of Ukraine, Canada, and Saudi Arabia. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023»*, присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка к.б.н., доц. Валентини Омелянівни Шиманської, 11–13 травня 2023 р. Тернопіль: Вектор, 2023. С. 215-218. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29666>
18. Чвалюк Г.В., **Грубінко В.В.** Вплив субстанцій з хлорели на організм людини. *Новітні досягнення біотехнології : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції*, 21–22 вересня 2023 р., Національний авіаційний університет / ред. кол.: Гаркава К. Г. та ін. Київ, 2023. С.75–76. <https://doi.org/10.18372/2306-6407.1.18056>
19. Impellitteri F., Yunko K., Martyniuk V., Matskiv T., Piccione G., **Stoliar O.**, Faggio C. Combination of caffeine and microplastics on sentinel organisms: detrimental effects on digestive gland. *Journal of biological research*, Vol. 96. *Congress of the Italian Society for Experimental Biology*, Trieste, Italy. 12-15 April 2023, Book of Abstract, pp. 8-9. https://www.researchgate.net/publication/375546765_
20. Impellitteri F., Yunko K., Martyniuk V., Piccione G., **Stoliar O.**, Faggio C. Physiological and biochemical responses of *Mytilus galloprovincialis* exposed to antipsychotic drug chlorpromazine. *73rd SIF National Congress*, Pisa, Italy. 06-09 September 2023, Book of Abstract, pp. 166. https://www.researchgate.net/publication/375547277_
21. Matskiv T., Martyniuk V., Khoma V., Yunko K., Lechachenko S., Zabolotna M., Simchuk S., Habarova S., Gush N., Shpak V., Orlova-Hudim K., Gnatyshyna L., Geffard A., Palos-Ladeiro M., **Stoliar O.** The biochemical basis of the preferences of bivalve mollusk *Dreissena polymorpha* in a new environment. Unique opportunity to compare native and invasive populations in the field and experimental exposures. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка, систематика і флориста, кандидата біологічних наук, доцента, завідувача кафедри ботаніки Шиманської Валентини Омелянівни (11–13 травня 2023 р.)*. Тернопіль: Вектор, 2023. С. 193-196. http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/29659/1/52_Matskiv_et_al.pdf
22. Yunko K., Impellitteri F., Martyniuk V., Lechachenko S., Simchuk S., Gush N., Khoma V., Faggio C., **Stoliar O.** Biochemical responses of marine mussel *Mytilus galloprovincialis* to caffeine and microplastics in the single and combine exposures. *Youth and progress of biology: XIX International scientific conference for students and Phd students*, April, 26–28. 2023. Lviv, 2023. P. 53-54. <https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/04/Youth-and-Progress-of-Biology.-Abstracts-of-XIX-International-Scientific-Conference-for-Students-and-PhD-Students-Lviv-April-26-28-2023..pdf>
23. Lechachenko S., Martyniuk V., Matskiv T., Yunko K., Orlova-Hudim K., Geffard A., Palos-Ladeiro M., **Stoliar O.** Can apoptotic activities in the native and invasive populations of bivalve mollusk *Dreissena polymorpha* the success of this species? *Youth and progress of biology: XIX International scientific conference for students and Phd students*, April,

- 26–28. 2023. Lviv, 2023. P. 45-46. <https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/04/Youth-and-Progress-of-Biology.-Abstracts-of-XIX-International-Scientific-Conference-for-Students-and-PhD-Students-Lviv-April-26-28-2023..pdf>
24. Matskiv T., Martyniuk V., Khoma V., Zabolotna M., Habarova S., Gnatyshyna L., **Stoliar O.** Heating distorts the biochemical response of *Dreissena polymorpha* from municipal pond to the mixture of caffeine and microplastics. *Youth and progress of biology: XIX International scientific conference for students and Phd students*, April, 26–28. 2023. Lviv, 2023. P. 46-47. <https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/04/Youth-and-Progress-of-Biology.-Abstracts-of-XIX-International-Scientific-Conference-for-Students-and-PhD-Students-Lviv-April-26-28-2023..pdf>
25. Гонтарук М.В., **Гуменюк Г.Б.**, Хоменчук В.О., Прокоп'як М.З., Чень І.Б. Екологічний стан річки Іква Кременецького району Тернопільської області. / *Харківський природничий форум : VI Міжнародна конференція молодих учених* (18-19 травня 2023 р.). – Харків, 2023. – С. 186-188. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29534>
26. Лукашук О.Е., **Гуменюк Г.Б.**, Хоменчук В. О., Волошин О. С., Трач О.І. Розвиток органічного землеробства в Італії. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка, систематика і флориста, кандидата біологічних наук, доцента, завідувача кафедри ботаніки Шиманської Валентини Омелянівни* (11–13 травня 2023 р.). Тернопіль: Вектор, 2023. – С. 58-60. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29621>
27. **Гуменюк Г. Б.**, Гарматій Н. М., Яручик Т. М. Інтегральна модель оцінювання рівня пошкоджень об'єкту природно-заповідного фонду. *Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства : тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції учених та студентів* (м. Тернопіль, 7-8 грудня 2023 р.). Тернопіль, 2023. С. 188-189. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/31611>
28. **Гуменюк Г. Б.**, Сверстюк А. С., Прокоп'як М. З. Кореляційно-регресійні зв'язки між елементами родючості ґрунтів Шепетівського району Хмельницької області. *Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства : тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції учених та студентів* (м. Тернопіль, 7-8 грудня 2023 р.). Тернопіль, 2023. С. 186-187. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/31610>
29. **Горин О. І.**, Осипенко І. О., **Боднар О. І.** Визначення ступеня токсичності тербутилазину у водному середовищі на прикладі смугастого данію. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка, систематика і флориста, кандидата біологічних наук, доцента, завідувача кафедри ботаніки Шиманської Валентини Омелянівни* (11–13 травня 2023 р.). Тернопіль: Вектор, 2023. С. 169-173. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29653>
30. **Горин О. І.**, Сорока О. В., Ковальська Г. Б., **Боднар О. І.** Підбір і використання

молекулярних маркерів для оцінки біобезпеки забруднювачів водного середовища. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка, систематика і флориста, кандидата біологічних наук, доцента, завідувача кафедри ботаніки Шиманської Валентини Омелянівни (11–13 травня 2023 р.). Тернопіль: Вектор, 2023. С. 173-177. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29654>

Участь у конференціях, семінарах:

1. *Фактори експериментальної еволюції організмів XVIII* Міжнародна наукова конференція, присвячена 50-річчю заснування Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, 70-річчю відкриття подвійної спіралі ДНК та 180 з дня народження Вольтера Флеммінга, а також асоційований з конференцією Симпозіуму «Геном рослин VIII» (26–29 вересня 2023 р.), м. Київ, Україна.
2. *Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук в контексті вимог Нової української школи*. V Міжнародна науково-практична конференція (18-19 травня 2023 р.). ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2023. Тернопіль, Україна
3. Всеукраїнський форум «*В. І. Вернадський: погляд через століття*» (до 160-річчя з дня народження). 17 березня 2023 р. Співорганізатори форуму: Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка; Комунальний заклад вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради.
4. II Всеукраїнська конференція «*Шлях у науку: перші кроки*», 06 квітня 2023.
5. *Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства*. IV міжнародна науково-практична конференція учених та студентів (7-8 грудня 2023 р.). м. Тернопіль, Україна.
6. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2023*». VII Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 100-річчю від дня народження відомої вченої-ботаніка к.б.н., доц. Валентини Омелянівни Шиманської (11-13 травня 2023 р.). ТНПУ ім. В. Гнатюка, м. Тернопіль, Україна.
7. *Наукові, методичні та організаційні виклики для закладів освіти та громадськості щодо екологічної освіти та виховання у воєнний і післявоєнний періоди*. Міжнародна науково-практична конференція (8-9 червня, 2023 р.). м. Тернопіль, Україна.
8. *Новітні досягнення біотехнології*. VII Міжнародна науково-практична конференція (21–22 вересня 2023 р.). Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна.
9. *Молодь і поступ біології*. XIX Міжнародна конференція студентів і аспірантів (26-28 квітня 2023 р.). Львівський національний університет ім. Івана Франка, м. Львів, Україна.
10. *Congress of the Italian Society for Experimental Biology*, Trieste, Italy. 12-15 April 2023, Book of Abstract, pp. 8-9. www.jbiolres.org. <https://www.researchgate.net/publication/375546765>
11. *73rd SIF National Congress*, Pisa, Italy. 06-09 September 2023, Book of Abstracts, pp. 166. <https://www.researchgate.net/publication/375547277>

12. Харківський природничий форум. VI Міжнародна конференція молодих учених (18-19 травня 2023 р.). м. Харків, Україна.

З метою покращення якості освітньої підготовки та формування професійно-практичних компетентностей здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 014.05 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини) та, як наслідок, підготовки майбутніх висококваліфікованих наукових та науково-педагогічних спеціалістів, учасниками реалізації перспективного наукового напрямку «Біологія та охорона здоров'я» було підготовлено та видано навчально-методичні 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, 2023. 172.
2. Кваліфікаційний іспит з біології, основ здоров'я та методики їх навчання : збірник завдань / Барна Л. С., Волошин О. С., Герц А. І., Герц Н. В., Голіней Г. М., **Гуменюк Г. Б., Грицак Л. Р., Дробик Н. М.**, Крижановська М. А., Мацюк О. Б., Міщук Н. Й., Москалюк Н. В., Пида С. В., Прокоп'як М. З., **Столяр О. Б.**, Шевчик Л. О., Чень І. Б.; відп. редактори Н. М. Дробик, М. З. Прокоп'як. Тернопіль, 2023. 224 с.
3. Збірник тестових завдань та задач з аналітичної хімії [Текст] : навчальний посібник Для підготовки бакалаврів за спеціальностями 014.06 Середня освіта (Хімія), 014.05 середня освіта (Біологія та здоров'я людини) та 014.15 Середня освіта (Природничі науки) / В. О. Хоменчук, **О. І. Горин**, В. С. Барановський. – Тернопіль : ФОП Осадца Ю. В., 2023. – 148 с.

Отримані практичні результати були імplementовані у навчальний процес для удосконалення практичних навичок здобувачів за спеціальностями екологічного та біологічного спрямування (014.05 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини), 014.06 Середня освіта (Хімія), 014.15 Середня освіта (Природничі науки), 162 Біотехнології та біоінженерія (Екологічна біотехнологія)) ТНПУ ім. В. Гнатюка та впроваджено в освітній процес на кафедрі екології та охорони здоров'я Навчально-наукового інституту інноватики, природокористування та інфраструктури Західноукраїнського національного університету.

8. Практична цінність результатів.

I. За результатами досліджень вивчено структурно-функціональні зміни рослин *in vitro* *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis* за різних варіантів модифікації фізико-хімічних умов їх культивування; обґрунтовано екологічні основи оптимізації умов вирощування рослин *in vitro*; запропоновано систему критеріїв-маркерів для оцінки життєздатності рослин *in vitro*. За результатами досліджень встановлено, що зміна інтенсивності світлового потоку в області ФАР, спектрального складу світла дозволяє цілеспрямовано впливати на ростові процеси рослин *in vitro* видів роду *Gentiana* *G. lutea* та змінювати їх морфотип. Отримано культури *in vitro* видів роду *Gentiana*, які можуть бути використані для подальших різнопланових досліджень. Показано можливість використання люмінесцентних ламп ЛД,

ЛХБ та фітоламп для корекції світлових умов культивування рослин *in vitro*. Визначено критерії-маркери для оцінки ефективності впливу світлових режимів на ростові процеси рослин *in vitro*. Результати досліджень впроваджено у навчальний процес при вивченні дисциплін «Біотехнологія та генна інженерія» освітньо-професійної програми «Середня освіта (Біологія та здоров'я людини, хімія)» та «Загальна біотехнологія» освітньо-професійної програми «Екологічна біотехнологія» на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти у Тернопільському національному педагогічному університеті імені Володимира Гнатюка.

За результатами досліджень підготовлено дві методичні розробки (див. п. 6).

II. Результати роботи можна використати для розроблення заходів і впровадження способів з санітарно-екологічної оптимізації узбережжя невеликих регіональних річок, урбанізованих водойм і ставків, здійснення водогосподарської, агроекологічної, рекреаційної діяльності й ресурсного використання водойми, проведення природоохоронної діяльності та еколого-відновлювальних робіт.

Для зменшення антропогенного впливу на якість води рекомендовано підтримувати розширення фітоценозів та відновлювати санітарну смугу з використанням рослин-біоаккумуляторів металів, нітратів і фосфатів, таких як *Glyceria maxima*, *Myosotis palustris*, *Achillea millefolium* та *Taraxacum officinale*. Фіторе mediaція, поряд з охоронно-санітарними заходами, може мати екологічне та біотехнологічне значення як для очищення води, так і накопичення та використання для отримання біодобрива фосфорвмісної органічної маси.

Результати дослідження враховані при внесенні змін до «Програми охорони навколишнього природного середовища в Тернопільській області на 2021-2027 роки», розпорядження Тернопільської обласної військової адміністрації № 680/01.02-01 від 29.11.2023 року

<https://ecology.te.gov.ua/byudzhetni-programi/programa-ohoroni-navkolishnogo-prirodnogo-seredovi/>.

Результати роботи можна використати для розроблення методичних рекомендацій та практичних заходів з покращення змін видового складу та екологічного стану зарегульованих урбоводойм. Отримані результати також варто використовувати на заняттях з біології та екології у закладах освіти, при проведенні екскурсій та еколого-просвітницької роботи.

За результатами досліджень отримано 1 акт впровадження, розроблено методичну розробку (див. п. 6).

III. Отримані результати щодо здатності двостулкових молюсків акумулювати мікропластик можуть бути використані як оціночний критерій забруднення водних екосистем пластиком. Створено методологічні основи для експериментального доведення синергічної дії мікропластика та інших мікрополлютантів на водні організми. Доведено, що біохімічні реакції молюсків на фармацевтичні препарати відповідають відомим ефектам для вищих тварин, що мотивує використання даного модельного організму для вивчення впливу поширених ксенобіотиків. Рекомендується визначати рівень металотіонеїнів та ступінь їх насичення цинком для оцінки ефективності реакції організму на запальний

процес. Отримані результати щодо міжпопуляційних відмінностей у відповідях двостулкового молюска при експериментальному впливі токсикантів повинні бути враховані при оцінці екотоксичності водного середовища згідно еко-експосомної концепції.

За результатами досліджень розроблена методика, подано заявку на корисну модель (стадія «Підготовка до державної реєстрації та публікації») (див. п. 6).

IV. Удосконалення методики гідроекологічних досліджень дозволило визначити гідрохімічні показники поверхневих вод. Створена модель визначення якості води досліджуваної водойми на основі нечіткої логіки (*fuzzy logic*) та нейронних мереж, реалізованих в програмі *Matlab*. На основі порівняння отриманих показників з екологічними нормативами та стандартами якості питної води оцінено екологічну небезпеку вмісту окремих речовин та охарактеризовано екотоксикологічну ситуацію в цілому. Для ефективної оцінки стану ґрунтів удосконалено методики визначення основних елементів живлення в них та встановлення кореляційних зв'язків. За допомогою факторного аналізу вдалося факторизувати 3 ознаки, отримати достовірну факторну модель.

V. Проведена робота над дослідженням впливу водних полютантів (тербутилазину, малатіону, ібупрофену та гемфіброзилу) на біохімічні, генетичні та імунологічні біомаркери корошових риб в умовах *in vivo*. Одержані результати були використані для створення методики ранжування рівня комфортності середовища на підставі співвідношення рівня адаптивних і компенсаторних реакцій. Розроблена методика передбачає визначення ряду показників про- та антиоксидантної систем та, на основі подальшого відсоткового обчислення інтегрального індексу ушкодження біомолекул у тканинах *Danio rerio*, дозволяє кількісно та якісно оцінити ступінь пошкоджуючого впливу пестицидів на нецільові організми.

Наукові напрацювання і результати використовувалися у процесі розробки методичного забезпечення (лекційний матеріал, протоколи виконання практичних та лабораторних робіт) дисциплін кафедр хімії та методики її навчання і загальної біології та методики навчання природничих дисциплін ТНПУ ім. В. Гнатюка. На розроблену методику після подальшої апробації, та, за необхідності, корегування, будуть оформлені права інтелектуальної власності.

У межах реалізації третього етапу перспективного плану розвитку наукового напрямку «Біологія та охорона здоров'я» Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка захищено дисертацію на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 09 «Біологія» зі спеціальності 091 «Біологія» Мартинюк В.В. та проводилася підготовка дисертацій Колісник Х.М. та Мацьків Т.Р..

9. Матеріально-технічне забезпечення:

Для виконання завдання перспективного плану розвитку наукового напрямку "Біологія та охорона здоров'я" Університет устаткований необхідним обладнанням, що дозволяє

реалізувати їх виконання, а саме: ноутбуки, принтери, монітори, системні блоки, мультимедійні проектори, інтерактивна панель, комутатор cisco, ваги електронні, ваги аналітичні Radwag та OHAUS, холодильники, спірометр, електрокардіограф транслюмінатор (Transiluminator) Herobab UVT-14 LE, центрифуга лабораторна для мікропробірок, 16 тис. обертів StatFax 303+, аналізатор іонів AI-123, мікропланшетний рідер Biorad, спектрофотометр U-Lab 101UV, флуорисцентний рідер f-max, інтерактивна система анатомічної візуалізації (TM Briolight), центрифуга з охолодженням CAPPRondo with fixed angle rotor, апарат для промивки зразків для імуногістохімії ЕКА AT1010, флуоресцентний/світловий мікроскоп Olympus BX-40, обладнання для ПЛР в реальному часі (Thermo Fisher Scientific), лабораторний йонімір I-160 MI, спектрофотометр ULAB 102UV, автоклав, центрифуга лабораторна MICROmed CM-3M.01, атомно-абсорбційний спектрофотометр C-115M, культуральна кімната, ламінарний бокс із стерильним потоком повітря, фітолампі, рефрижераторна центрифуга (1 шт.), атомно-адсорбційний спектрофотометр СФ-46 ("Lomo", СРСР) (1 шт), світловий мікроскоп "Микмед-5" (1 шт.), установки для хроматографічного аналізу протеїнів (3 шт.), рН метр (2 шт.), установка для електрофорезу Bio-rad System (1 шт.), абсорбційні спектрофотометр ULAB 102UV (1 шт.).

10. Кадрове забезпечення:

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, доцент кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін ТНПУ ім. В. Гнатюка.

Кормило Наталія Вікторівна – провідний фахівець навчально-наукового центру проєктної та науково-технічної діяльності ТНПУ ім. В. Гнатюка.

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

11. Основні висновки за результатами виконання завдань:

I. Досліджено, що зміна інтенсивності світлового потоку в області ФАР, спектрального складу світла дозволяє цілеспрямовано впливати на ростові процеси рослин *in vitro* видів *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis* та змінювати їх морфотип.

Показано недоцільність культивування рослин *in vitro* цих видів під люмінесцентними лампами ЛД, які мають низьку інтенсивність світлового потоку в області ФАР та малу частку хвиль Еч діапазону у спектральному складі, оскільки такі світлові умови запускають специфічні реакції фотоморфогенезу, які призводять до слабкого розвитку кореневої системи, витягування стебел, утворення дрібних листків з тонкою листковою пластинкою та загальної низької продуктивності рослин.

Корекція спектрального складу та інтенсивності освітлення ламп ЛД лампами ЛХБ ефективно впливає на процеси росту та розвитку *in vitro* рослин. Зроблено припущення, що сумування спектрів ЛД і ЛХБ підсилює дію екзогенного Кін, введеного до складу живильного середовища, що у свою чергу, ініціює ріст пазушних меристем. Тому культивування *in vitro* рослин в таких світлових умовах не лише покращує їхню біопродуктивність, порівняно із умовами контролю, але й дозволяє збільшити коефіцієнт мікроклонального розмноження без додаткового використання екзогенних регуляторів росту, що значно здешевлює процес отримання посадкового матеріалу.

Показано, що застосування фітоламп у комбінації з лампами ЛХБ значно підвищує частку хвиль Еч діапазону. Це спричинює збільшення ефективної поверхні листків, найбільший приріст надземної та підземної частин рослин *in vitro* *G. lutea* та, відповідно, підвищує їх адаптивний потенціал до умов *ex vitro*.

Визначено критерії-маркери для оцінки ефективності впливу світлових режимів на ростові процеси рослин *in vitro*, а саме: відповідність морфотипу рослин *in vitro* їх особинам з природи; загальна біомаса рослин, маса та площа листків; відношення біомаси надземної частини до біомаси кореня, відношення площі листків до біомаси рослин, фотосинтетичне зусилля та площа одиниці маси листка.

II. Визначено, що високий вміст металів у рослинах прямо відображає наслідки антропогенного впливу на біотичну складову природного середовища. Відбувається накопичення хімічних елементів у зоні зниження рельєфу місцевості за рахунок стоку поверхневих та ґрунтових вод. З'ясовано, що у *Achillea millefolium* та *Taraxacum officinale* вміст металів (крім Мангану) вищий, ніж у рослин із порівнюваних природних екосистем, у *Plantago major* приблизно збігається. Вміст Цинку, Феруму, Плюмбуму, Нікелю та Кадмію у рослин виду *T. officinale*, вищий, ніж у рослинах, що зростають у техно- та урбоєкосистемах. Виявлені особливості є перспективними щодо використання цих двох видів рослин як фітореemediatorів забрудненого середовища.

Встановлено, що рослини-гідрофіти лепешняк великий (*Glyceria maxima*), настурція лікарська (*Nasturtium officinale*) та незабудка болотяна (*Myosotis palustris*) можуть бути ефективними очищувачами водойм від фосфатів. Найбільшою акумулювальною здатністю щодо фосфору з найвищим коефіцієнтом його акумуляції з води володіє *M. palustris*. Це дозволяє вважати її найефективнішою рослиною для зменшення забруднення водойм сполуками фосфору. Для вилучення фосфатів із ґрунту та намулу водойм найкраще застосовувати *G. maxima*, а для зменшення евтрофікації водойм – *M. palustris* та *N. officinale*.

Утворення вторинних концентричних мембран, як відповідь на дію токсикантів та як ключовий механізм адаптації, вивчено на прикладі ряски малої *Lemna minor*. Зазначаємо,

що регенерація клітинної оболонки може бути важливою моделлю вивчення таких процесів, як взаємодія різних клітинних органел, формування різних типів гібридних клітин та особливо, еволюції клітинних мембран. У спонтанній регенерації клітинної оболонки можна виділити чотири основні стадії: 1) утворення протопласту; 2) формування псевдо-протопласту; 3) синтез клітинної стінки; 4) формування вторинної концентричної мембрани.

Встановлено основні закономірності формування видового й таксономічного складу, структури та сезонної динаміки чисельності, біомаси й інформаційного різноманіття фітопланктону Басівкутського водосховища. У результаті дослідження (червень–жовтень) ідентифіковано 121 вид водоростей, представлених 125 внутрішньовидовими таксонами, які належать до 84 родів, 45 родин, 29 порядків, 12 класів та 8 відділів.

III. Доведено універсальний взаємозв'язок між функціональною активністю стрес-респонсивних протеїнів металотіонеїнів та показниками запалення, окисного стресу та токсичності за впливу на організм двостулкового молюска ксенобіотиків. На моделі двостулкового молюска доведено синергізм впливу кофеїну у сукупності з мікропластиком та його часткове нівелювання за теплової дії. Доведено вирішальний вплив адаптаційного потенціалу, сформованого у певній популяції, на здатність молюска до реакції на стрес та стратегію кінцевих наслідків несприятливих впливів.

Вперше досліджено здатність двостулкового молюска *U. tumidus* акумулювати мікропластик з водного середовища та встановлено високий акумуляційний потенціал організму протягом 14-ти денного впливу, що створює перспективи використання молюсків для ідентифікації мікропластика у водоймах.

IV. Ресурсною специфікою ґрунтового покриття Шепетівського району є те, що тут зустрічаються майже всі агровиробничі групи ґрунтів: сірі лісові ґрунти (світло-сірі та сірі опідзолені, темно-сірі опідзолені), чорноземи типові, чорноземно-лучні, лучні ґрунти, чорноземи опідзолені легко суглинисті, дерево-підзолисті.

На досліджених територіях (ТОВ «ДЕЛЬТАР», фермерське господарство «Свидерок», присадибна ділянка) Шепетівського району Хмельницької області ґрунти близькі до нейтральних або нейтральні. Зокрема, восени 2020 року ґрунти були нейтральні, а навесні 2021 року, та восени 2021 року – близькі до нейтральних. Найвища концентрація водневого показника була у фермерському господарстві «Свидерок» – 7,21 (близький до нейтральних). Середньозважений показник становить 6,75 (нейтральний).

Досліджено, що у ґрунтах досліджених ділянок вміст гумусу був середній та підвищений. Спостерігалася тенденція незначного зменшення відсоткового складу гумусу восени та підвищення навесні. Винятком є вміст гумусу восени 2021 року у ґрунтах ТОВ «Дельтар» – 3,67 % (підвищений). Середньозважений показник гумусу становить 2,87% (середній).

Виявлено, що концентрація обмінного калію у ґрунтах всіх досліджених ділянок дуже низька. Особливо низька концентрація навесні 2021 року у ґрунтах фермерського господарства «Свидерок» – 2,14 мг/кг та у ґрунтах ТОВ «Дельтар» – 5,34 мг/кг. Середньозважений показник становить 64,78 мг/кг (низький).

Вміст нітратного азоту у ґрунтах сільськогосподарських угідь високий та дуже високий. Лише восени 2020 року спостерігався низький вміст нітратного азоту. Середньозважений показник нітратного азоту становить 32,99 мг/кг (середній). Вміст амонійного азоту – дуже низький. Дещо зростає навесні, але залишається дуже низьким. Середньозважений показник амонійного азоту становить 2 мг/кг (дуже низький).

Вміст рухомого фосфору у ґрунтах фермерського господарства «Свидерок» у всіх сезонах середній. У ґрунтах ТОВ «Дельтар» вміст рухомого фосфору восени 2020 року середній – 99,4 мг/кг, навесні 2021 року підвищений – 174,3 мг/кг, восени 2021 року низький – 38,8 мг/кг. У ґрунтах присадибної ділянки вміст рухомого фосфору восени 2020 року та навесні 2021 року – підвищений (123,05 мг/кг та 147,3 мг/кг відповідно), восени 2021 року – низький (38,8 мг/кг). Спостерігається тенденція зниження концентрації рухомого фосфору восени та підвищення навесні.

Концентрація обмінного калію у ґрунтах досліджених територій дуже низька. Особливо низька концентрація навесні 2021 року у ґрунтах фермерського господарства «Свидерок» – 2,14 мг/кг та у ґрунтах ТОВ «Дельтар» – 5,34 мг/кг. Середньозважений показник становить 64,78 мг/кг (низький). Запаси калію в Шепетівському районі Хмельницької області недостатні, тому для збалансованого вмісту поживних речовин в ґрунті внесення калійних добрив є необхідним.

Вміст обмінного кальцію восени 2020 року і 2021 року був дуже низький. Навесні 2021 року у ґрунтах фермерського господарства «Свидерок» спостерігався середній вміст обмінного кальцію (5,1 мг/кг), а у ґрунтах ТОВ «Дельтар» та на присадибній ділянці – низький (3,3 мг/кг та 2,9 мг/кг відповідно).

Ґрунти ТОВ «Дельтар» характеризуються вищим забезпеченням основними елементами живлення рослин, ніж присадибна ділянка (с. Топори) та фермерське господарство «Свидерок» (с. Ріпки). За останнє десятиліття спостерігається збіднення ґрунтів на поживні елементи, помітно зменшуються запаси рухомих форм фосфатів та обмінного калію. Тому першочерговим завданням є пошук шляхів відтворення їх високої родючості та захисту ґрунтів від деградаційних процесів.

Використовуючи факторний аналіз (що відповідає за наявність лінійних статистичних зв'язків та кореляцій між спостережуваними змінними) нам вдалося факторизувати 3 ознаки, а саме, вміст рухомого фосфору, обмінного кальцію, аміачного азоту та отримати достовірну факторну модель. Ймовірно ці показники найбільшою мірою впливають на агрохімічний стан досліджуваних ґрунтів Шепетівського району Хмельницької області.

Пріоритетними заходами щодо попередження та захисту ґрунтів від деградації є: забезпечення бездефіцитного балансу гумусу, проведення лесокущового захисту, зяблевої оранки, неглибокого лісокущового захисту під час фізичної деградації ґрунту, внесення фосфорних добрив за дефіциту в шарі ґрунту 0-60 см за вирощування фосфорно-витратних сільськогосподарських культур.

Якість водного середовища у водотоках та водозаборах формується під впливом трьох факторів: природних і господарських умов формування стоку на водозаборі, кількості і якості стічних вод та інших джерел забруднення, а також процесів, що протікають у самих водоймах, які значною мірою визначаються його гідрохімічними та гідрологічними особливостями, зокрема, інтенсивністю водообміну. Для прогнозування розвитку

екотоксикологічної ситуації та розробки пропозицій щодо проведення відновлювальних заходів у водоймі потрібно мати її гідрологічну, гідрохімічну, токсикологічну характеристику.

Було отримано модель оцінювання рівня якості води Верхньо-Івачівського водозабору після проведення дефазифікації всіх нейронних зв'язків у контролері Мамдані, програмного забезпечення Matlab на середньому рівні з показником 1,52, що відповідає шкалі оцінювання – середньому рівню в діапазоні (1,36-2,18), але все таки близького до нижнього рівня шкали, що вказує на недостатній рівень якості води у досліджуваній водоймі.

Розроблена нами модель оцінювання якості води Верхньо-Івачівського водозабору дозволяє встановити ступінь впливу показників через нейронні зв'язки та реалізацію запропонованої моделі у сучасній програмі Matlab з модулями штучного інтелекту, що дозволить програмі «самонавчатися», та, доповнюючи вхідні та проміжні параметри, адаптувати під досліджувану водойму будь-якого регіону та точки світу.

V. Встановлено, що екологічно реальні концентрації пестицидів (тербутилазин та малатіон) на фармацевтиків (ібупрофен та гемфіброзил) як поокремо, так і в комбінації викликають ряд токсичних ефектів у нецільових організмів (*D. rerio*).

Малатіон і, особливо, тербутилазин індують утворення активних форм кисню та азоту, пригнічують антиоксиданти та індують окислювальне пошкодження в тканинах печінки данію. Хоча глибина прооксидантних змін сильніше виражена у тварин, які зазнали впливу екологічно реальних концентрацій пестицидів, спостерігається дисбаланс і після впливу високих доз та сумішей, що відповідає більш активному витоку ЛДГ та набряку мітохондрій, як маркерів пошкодження тканин. Експресія Nrf2 у печінці *D. rerio* узгоджується з активністю катепсину D та експресією убіквітину, які залучені до процесів апоптозу / некрозу: надмірна експресія Nrf2 після впливу малатіону та суміші пестицидів, сприяє помякшенню негативних ефектів від їх впливів і захищає клітини і тканини данію від глибоких ушкоджень та стимулювання некрозу. Малатіон прямопропорційно діючим концентраціям пригнічує вроджений імунітет риб, про що свідчать значно нижчі рівні IgM, а також гуморальну імунну відповідь в тварин. Низькі, реалістичні для навколишнього середовища, концентрації малатіону та тербутилазину окремо та в комбінації недостатні, щоб викликати значні зміни в осі гіпоталамус-гіпофіз-щитовидна залоза у *D. rerio* та спровокувати гострі токсичні ефекти.

Слідові концентрації ібупрофену та гемфіброзилу викликають ознаки окисного стресу в тканинах печінки данію, про що свідчать зниження вмісту відновленого глутатіону та підвищення активності каталази за дії обох препаратів та кратне зростання вмісту продуктів перокисного окислення ліпідів за впливу гемфіброзилу. Цитотоксичні ефекти, виявлені за зміною стабільності лізосомальних мембран, викликає тільки дія гемфіброзилу. Ібупрофен не впливає на зміни даного показника, проте провокує ендокринні порушення – стимулює продукування вітелогенін-подібних протейнів.

Незважаючи на те, що запропонована робота частково розкриває механізми токсичності пестицидів та фармацевтиків, потрібні подальші багатовекторні дослідження для повного

розуміння молекулярних шляхів, за допомогою яких вони можуть впливати на риб та інших водних тварин.

12. Висновок науково-технічної (наукової) ради ЗВО:

Протокол № 1 від 12 січня 2024 р. засідання науково-технічної ради ТНПУ ім. В. Гнатюка про відповідність виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку, визначених у ТЗ-2023.

Керівник ЗВО:

Ректор
(посада)

(підпис)

Богдан БУЯК
(ім'я та прізвище)

Науковий керівник:

Перший проректор
(посада)

(підпис)

Надія ДРОБИК
(ім'я та прізвище)