

ЗВІТ

за Додатковою угодою № БФ/1 - 2022 від 01. 06. 2022 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: червень 2022 р. – грудень 2022 р.

2. Номер державної реєстрації: 0121U111540.

3. Номер облікової картки заключного звіту: _____.

4. Мета та перелік основних завдань:

Метою виконання завдання є дослідження параметрів живих організмів у природі та в умовах експерименту, розроблення способів оптимізації цих параметрів; встановлення особливостей трансформації водних екосистем і ґрунтів за урбанізаційних процесів.

Для реалізації поставленої мети будуть виконуватися наступні завдання:

- дослідження анатомічних, фізіологічних особливостей рідкісних видів рослин в умовах природи та відбір на цій основі критеріїв-маркерів для оцінки змін структурно-функціонального стану рослин в умовах *in vitro*;
- розроблення способів оптимізації співвідношення видового складу водоростей різних систематичних груп (зелені, діатомові, синьо-зелені), здатних сприяти очищенню забруднених екотоксикантами прісноводних природних водойм;
- встановлення загальних закономірностей та регіональних особливостей хімічних трансформацій водних екосистем та ґрунтів в умовах інтенсивного землеробства та урбанізаційних процесів; проведення орієнтовної екологічної оцінки водних екосистем та ґрунтів;
- дослідження фізіологічних, біохімічних і молекулярних механізмів відповіді коропової риби *Danio rerio* на дію широковживаних гербіцидів за умов індивідуального та комбінованого впливів.

5. Короткий зміст виконаних досліджень:

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

I. Досліджено фізіолого-біохімічні та анатомічні особливості видів роду *Gentiana* L. (*Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L.) в умовах природи. Це дозволило, з одного боку, вивчити ступінь толерантності високогірних видів до змін певних кліматичних чинників і враховувати їх при виборі придатних територій для реалізації у подальшому репатріаційних проєктів. А, з іншого боку, – відібрати критерії-маркери для оцінки структурно-функціональних змін рослин у процесі їх культивування в

умовах *in vitro* та визначити у подальших дослідженнях ефективність розроблених нами технологій для адаптації рослин *in vitro* до умов *ex vitro* та *in situ*.

Встановлено, що вміст пігментів залежить від абіотичних умов та етапу онтогенезу, на якому перебувають рослини. Спостерігається тенденція до зниження вмісту пігментів у рослинах видів із підвищенням гіпсометричного рівня росту. Спільною особливістю видів є вища концентрація пігментів в особинах іматурної та генеративної груп. Характеризуються види високим ($\geq 4,0$) співвідношенням хлорофілу а (*Chl a*) до хлорофілу b (*Chl b*), найвищі (5,08–5,16) значення якого властиві генеративним рослинам *G. acaulis*.

Кореляційний аналіз показав значну залежність вмісту *Chl a*, *Chl b* та каротиноїдів (Carot) від зміни температурного і водного режимів росту рослин цих видів. Цей зв'язок посилюється із міжрічним підвищенням середньої температури повітря у літні місяці на 0,7–1,0°C, особливо, у видів *G. lutea*, *G. punctata*. Тому, за посилення аридності клімату, може відбутися поступове зникнення цих видів зі складу флори Українських Карпат.

Це підтверджують й результати аналізу перебігу первинних процесів фотосинтезу за достатнього забезпечення рослин ґрунтовою вологою та за її дефіциту, здійснені за використання методу головних компонент. Встановлено, що основний внесок у перебіг первинних процесів фотосинтезу здійснюють показники, які відображають реалізацію фотосинтетичним апаратом (ФСА) поглиненої енергії, зокрема: мінімальний та максимальний рівні флуоресценції, ефективність електронного транспорту відкритими реакційними центрами фотосистеми II, реалізація квантів поглиненого світла на теплову дисипацію та процеси, що блокують роботу ФСА. Аналіз отриманих даних вказує на більшу стійкість до посилення аридності клімату ФСА виду *G. acaulis*, тоді як найменша стійкість властива виду *G. punctata*.

Дослідження водного балансу рослин різних вікових груп показало, що показники інтенсивності транспірації, водного дефіциту, вологоутримуючої здатності динамічно реагують на міжрічну зміну метеочинників, забезпечуючи відносно сталий вміст загальної води у тканинах їх листків. Найбільш вразливими до міжрічного підвищення температури є особини прегенеративної групи видів *G. lutea* та *G. punctata*. Рослини усіх вікових груп *G. acaulis* характеризуються найбільш сталим вмістом води, незалежно від мінливості метеочинників. Серед досліджених видів у рослин *G. acaulis* вміст загальної води має найслабший зв'язок з показниками мінливості температурного та водного режимів середовища.

Встановлено, що у тканинах усіх досліджених видів концентрація проліну є невисокою (4,65–9,53 мкмоль/г сирової маси) та залежить від онтогенетичної фази розвитку: найнижчі значення властиві іматурним рослинам, найвищі – генеративним. Зроблено припущення про існування у досліджених видів стрес-протекторних механізмів, що забезпечують накопичення інших сумісних осмолітів, які й збільшують концентрацію клітинного соку та, відповідно, вологоутримуючу здатність рослин.

Результати анатомічних досліджень показали, що для виду *G. acaulis*, порівняно із видами *G. lutea* та *G. punctata*, характерна більша щільність продихів на обох боках листка, більша кількість шарів мезофілу та його щільність. Це є результатом еволюційних пристосувань, спричинених одночасно «ксероморфозом» і «фотоморфозом», що забезпечує існування виду *G. acaulis* в альпійських умовах. Види *G. lutea* та *G. punctata* за

анатомічною будовою у значній мірі подібні. Однак для рослин *G. punctata* властива тонша епідерма та її зовнішня клітинна стінка, не лише порівняно з *G. lutea*, але й *G. acaulis*. Особливості анатомічної будови кожного з них забезпечують їх існування в оптимальних для них умовах. Проте, за посилення аридності клімату особливості анатомічної будови видів *G. lutea* та *G. punctata* не забезпечать підтримання необхідного рівня водного балансу в їх клітинах.

Розроблено систему критеріїв-маркерів для оцінки структурно-функціонального стану рослин *in situ*, які є контрольними для виявлення змін у функціонуванні окремих підсистем рослин та визначенні ступіня розвитку адаптивних властивостей біотехнологічних рослин. Показано, що на *рівні анатомічних структур* необхідно використовувати такі критерії-маркери як: кількість продохів, товщина листка, товщина зовнішньої клітинної стінки епідерми з обох боків листової пластинки, кількість шарів мезофілу та його диференціація. На *фізіологічному рівні* підвищення адаптивного потенціалу рослин доцільно визначати за оцінкою: 1) функціонального стану ФСА рослин та ефективністю перебігу первинних процесів фотосинтезу; 2) водного балансу рослин.

II. При реалізації завдання «Розроблення способів оптимізації співвідношення видового складу водоростей різних систематичних груп (зелені, діатомовові, синьо-зелені), здатних сприяти очищенню забруднених екотоксикантами прісноводних природних водойм» показано, що екологічний статус Тернопільського водосховища «Тернопільський став» та Верхньо-Івачівського водозабірної комплексу визначається сукупністю фізико-хімічних, клімато-гідрологічних (підвищення середньодобової літньої температури, маловоддя) та антропогенних чинників.

Встановлено, що вода у водосховищах є слабколужною, що сприяє перебуванню вуглекислоти у формі гідрокарбонат-іону, забезпечуючи екологічно прийнятний газовий режим води. Якість води за фосфатним показником є доброю навіть в умовах інтенсивного надходження фосфатів зі 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 (вміст нафтопродуктів перевищує допустимі норми практично у 8 разів; вміст поверхнево-активних речовин перевищує допустимі значення у 1,5–5 разів; вміст фенолів у мулі збільшений за норму у 2–6 разів), позначається на значенні показника БСК₅, яке лише в окремих випадках 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. Очевидно, що основною загрозою якості води Верхньо-Івачівського водозабору є діяльність Малашівського сміттєзвалища, Тернопільського ставу – дощові та господарські змиви з берегів та дамби.

Для покращення екологічної ситуації, підвищення процесів самоочищення та відновлення газового балансу водосховищ розроблено схему альгологізації (внесення в екосистему пасти зелених мікроводоростей хлорели і сценедесмусу) Тернопільського ставу з подальшим моніторингом стану популяції водоростей та фізико-хімічних параметрів водойми, завдяки чому є можливим відновлення природного гомеостазу водойм, а відтак, їх біорізноманіття та належних біопродукційних процесів.

Після проведення дефазифікації всіх нейронних зв'язків у програмному забезпеченні Matlab отримано модель оцінювання рівня якості води водозабору.

III При виконанні завдання «Встановлення загальних закономірностей та регіональних особливостей хімічних трансформацій водних екосистем та ґрунтів в умовах інтенсивного землеробства та урбанізаційних процесів; проведення орієнтовної екологічної оцінки водних екосистем та ґрунтів» була проведена агроекологічна оцінка досліджуваних територій Тернопільського району (ділянок СГ ТОВ «ДРУЖБА» та приватних присадибних ділянок с. Лозова Тернопільського району Тернопільської області) за вмістом гумусу, реакцією ґрунтового розчину та основних елементів живлення, зокрема нітрогеновмісних сполук, натрію, калію та хлору.

Концентрація основних елементів живлення, кислотність ґрунту на досліджуваних ділянках майже не відрізнялася. Лише деякі показники, зокрема, вміст нітратного азоту та гумусу були дещо вищими на ділянках фермерського господарства. Очевидно, це пов'язано з внесенням добрив перед початком посівного сезону. При агрохімічному дослідженні сільськогосподарських ділянок с. Лозова Тернопільського району Тернопільської області (СГ ТОВ «Дружба» та приватної ділянки) протягом періоду дослідження виявлено, що ґрунти є слаболужними, показник амонійного азоту та нітратного азоту в ґрунтах СГ ТОВ «Дружба» значно вищий порівняно з ґрунтами приватного господарства, а обмінного калію – нижчий. У цілому, ґрунти Тернопільського району Тернопільської області є придатними до вирощування якісної сільськогосподарської продукції.

Акцентовано увагу на шляхах вирішення проблем моніторингу ґрунтів в Україні. Одним з перспективних підходів до її вирішення є, перш за все, проведення регулярного моніторингу ґрунтів та ефективна організація землекористування на сільськогосподарських ділянках (в окремих землевласників).

З метою отримання додаткової інструментарію для оцінки секвестрації Карбону, поряд з візуальною оцінкою забарвлення ґрунту із застосуванням атласу А. Г. Манселла, здійснено аналіз колірних та спектральних характеристик ґрунту засобами портативного колориметра NixPro та рефлектометра Our Sci Reflectometer.

Проведено елементний аналіз зразків ґрунту за допомогою рентгенфлуоресцентного аналізу та оцінено вміст органічного Карбону. Виокремлено спектральний діапазон відбитого світла, який найбільше корелює із вмістом органічної речовини ґрунту.

На основі даних, отриманих методами рефлектометрії та колориметрії, побудовано прогностичні регресійні моделі. Отримано рівняння множинної лінійної регресії із статистично достовірним предиктором світлосили (L^*) ($R^2=0,61$), що дозволяє описати взаємозв'язок між вмістом органічної речовини у досліджених ґрунтах та параметрами

системи задання кольорів CIELab, а також рівняння, що описує 69 % дисперсії даних взаємозв'язку між інтегральним коефіцієнтом відбиття та вмістом органічного Карбону ґрунту.

Виявлено взаємозв'язок між інтегральним коефіцієнтом відбиття та загальним вмістом органічної речовини. Виокремлено найбільш скорельований із вмістом органічної речовини спектральний діапазон – 500-632 нм. Регресійні моделі, які базувались виключно на спектральних даних попередньо оброблених H₂O₂ ґрунтів, підвищували свою прогностичність на 8–10 %.

У результаті комплексного гідроекологічного дослідження водозабору м. Ланівці в межах урбанізованої екосистеми шляхом порівняння отриманих показників з екологічними нормативами і стандартами якості навколишнього середовища, оцінено екологічну небезпеку вмісту окремих речовин та екотоксикологічну ситуацію в цілому. У результаті дослідження оцінено екологічний стан водозабору у м. Ланівці Тернопільської області, що регулюється фізико-хімічними, біологічними, клімато-географічними (маловоддя) та антропогенними (забруднення) чинниками. Вода є стійко лужною, критичним фактором у водоймі є накопичення аміаку у значних концентраціях. Застосовано сучасний інструментарій економіко-математичного моделювання, що дозволить прогнозувати вміст йонів амонію або інших досліджуваних речовин у водоймах для постійного моніторингу та покращення ситуації і зменшення вмісту шкідливих речовин у воді.

IV У процесі виконання завдання «Дослідження фізіологічних, біохімічних і молекулярних механізмів відповіді коропової риби *Danio rerio* на дію широкоживаних гербіцидів за умов індивідуального та комбінованого впливів» припущено, що вплив раундапу та хлорпірифосу спричинятиме окислювальний стрес і пошкодження протеїнів, ліпідів і ДНК у даніо. Накопичене пошкодження зможе призвести до ураження лізосом з подальшими негативними наслідками для функцій організму (нейротоксичність, гепатотоксичність та гормональні та імунні порушення) та, як наслідок, апоптозу. Щоб перевірити ці гіпотези дорослих особин *D. rerio* протягом 14 днів піддавали впливу різних концентрацій раундапу (15 або 500 мкг/л) і хлорпірифосу (0,1 або 3 мкг/л) та їх сумішей з наступним аналізом набору біомаркерів для оцінки завданого токсичного ефекту. Щоб оцінити вплив орґанофосфатів на клітинний окислювально-відновний баланс, вимірювали у тканинах печінки *D. rerio* рівні тканинних активних форм кисню та азоту (АФК та АФН), метилглюксалу, концентрації загального та окисленого глутатіону, загальну антиоксидантну активність та експресію мРНК головних регуляторів антиоксидантних процесів і Nrf2 (Vomund et al., 2017). Для визначення рівня клітинного ушкодження, спричиненого окисним стресом, оцінювали концентрації кінцевих продуктів перекисного окислення протеїнів та ліпідів, а також відсоток дволанцюгових розривів ДНК. З метою визначення потенційних захисних механізмів проти пошкодження ДНК, викликаного пестицидами, були визначені рівні транскриптів гена RAD51, що кодує протеїн, який відіграє ключову роль у відновленні дволанцюгових розривів ДНК (Amunugama and Fishel, 2012). Також у тканинах печінки були визначені: активність глутатіон-S-трансферази, яка бере участь в антиоксидантному захисті та детоксикації органічних ксенобіотиків (Singhal et al., 2015); марекри апоптозу (рівні мРНК каспази 3,

ВАХ і Vcl-2); стабільність лізосомальних мембран та активність катепсину D як маркерів наслідків окисних ушкоджень. Несприятливі наслідки впливу пестицидів на організм оцінювали шляхом визначення рівня лактатдегідрогенази (ЛДГ) у сироватці крові (загальний показник гепатотоксичності та цитолізу) (Sasaki et al., 1992, Cassidy and Reynolds, 1994), активності ацетилхолінестерази в мозку. (як маркер нейротоксичності), концентрації гормонів (кортизолу та трийодтироніну) та імуноглобулінів (IgM) у крові, а також експресію мРНК вітелогеніну (потенційного маркера ендокринних порушень) у печінці.

Результати досліджень показали, що раундап і хлорпірифос викликають прояви окислювального і карбонільного стресу в печінці *D. rerio* (особливо, у випадку дії раундапу), індукують імунітет (більш активно при дії хлорпірифосу та комбінованого впливу) і спричиняють ендокринні розлади. Окрім того було встановлено, що органофосфати викликають концентраційнозалежну активацію ЛДГ у крові піддослідних тварин та ушкодження лізосом, яке проявлялося як більш висока активність катепсину D (особливо у випадку дії хлорпірифосу та комбінованого впливу). Комплексна дія фосфорорганічних пестицидів призупиняла процеси репарації ДНК і викликала його ушкодження. Раундап не чинив помітного впливу на концентрацію трийодтироніну у крові риб, проте хлорпірифос зміг незначною мірою стимулювати його продукування. Багатофакторний статистичний аналіз дозволив на основі квадратної відстані Mahalanobis провести ранжування реакцій дослідних об'єктів – $RL < CL < RH < RH + CL < CH < RL + CH$ – що інформує про те, що комбінована дія пестицидів є набагато більш стресовою для риб (особливо, у випадку вищих концентрацій хлорпірифосу).

Таким чином, результати нашого дослідження демонструють, що одночасна присутність фосфорорганічних гербіцидів у водному середовищі може призводити до підвищення їх токсичних ефектів, завдаючи більш вираженої шкоди водним екосистемам, у порівнянні з індивідуальною дією окремих пестицидів.

6. Одержані наукові (науково-технічні) результати:

За результатами другого етапу перспективного плану розвитку наукового напрямку «Біологія та охорона здоров'я» Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка: а) опубліковано 7 статей у виданнях, які входять до наукометричних баз *Web of Science/Scopus* та категорії А, б) 6 – у виданнях категорії Б, 3) оформлено 1 патент України на корисну модель та підготовлено 1 заявку на отримання патенту України на корисну модель.

Отримано 3 акти впровадження:

- «Оцінка фізіологічного стану рослин *in situ* за параметрами функціонування фотосинтетичного апарату». Впроваджено в Тернопільській обласній фітосанітарній лабораторії. Відповідальні за впровадження: д.б.н., проф. Дробик Н.М., д.б.н., доц. Грицак Л.Р.;
- «Альгологізація Тернопільського водосховища (Тернопільського ставу) зеленими водоростями (хлорела)». Впроваджено в Об'єднанні парків культури і відпочинку м. Тернополя. Відповідальні за впровадження: д.б.н., проф. Грубінко В.В., д.б.н., проф. Боднар О.І.;

- «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:

- «Методику адаптації культивованих *in vitro* рідкісних видів рослин з міксотрофного живлення на автотрофне». Автори: Грицак Л.Р., Дробик Н.М.
- Алгоритм оцінки ступеня токсичності впливу гербіцидів на водні екосистеми з подальшим оформленням об'єктів права інтелектуальної власності (*патент України на корисну модель «Спосіб оцінки ступеня пошкоджувального впливу пестицидів на водні екосистеми»*). Автори: Фальфушинська Г.І., Горин О.І.
- «Технологію оптимізації співвідношення водоростей різних систематичних груп (зелені, діатомові, синьо-зелені) у забруднених природних гідроекосистемах малопотічного типу (озера, стави, водосховища). Автори: Грубінко В.В., Боднар О.І.
- Спосіб регулювання параметрів водного режиму та фотосинтезу рослин *in vitro* тирличу жовтого (*Gentiana lutea* L.) оптимізацією вуглеводного живлення та світлових умов росту. Автори: Грицак Л.Р., Дробик Н.М.

Результати проведених робіт апробовані на 14 Міжнародних та Всеукраїнських конференціях

7. Публікації за результатами досліджень:

Статті:

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

1. Prokopiak M., Mayorova O., Hrytsak L., Meshko H., Drobyk N. The assessment of the current state of *Gentiana lutea* L. populations of the Ukrainian Carpathians: ecological and genetic approaches. *Folia Oecologica*. 2022. Vol. 49, No. 1. P. 42–50. <https://doi.org/10.2478/foecol-2022-0005>
2. Falfushynska H., Poznanskyi D., Kasianchuk N., Horyn O., Bodnar O. Multimarker Responses of Zebrafish to the Effect of Ibuprofen and Gemfibrozil in Environmentally Relevant Concentrations. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2022. 109, pp. 1010–1017. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36074127/>
3. Skyba O. I., Hrubinko V. V., Humeniuk H. B., Prokopiak M. Z., Yastremska S. O. Influence of Phosphorus Compounds on Phytoplankton, Aquatic Plants. *International Journal on Algae*, 2022, 24(2): 195–208. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85140610314&origin=AuthorNamesList&txGid=228654e47157055ad01eea9267af81db&isValidNewDocSearchRedirection=false>
4. Herts A. I., Khomenchuk V.O., Kononchuk O.B., Herts N.V., Markiv V. S., Buianovskyi A.O. Use of visual-diagnostic color parameters of soils and optical reflectometry for determination of organic carbon content. *Journal of Geology*

- Geography and Geoecology*. 2022. Vol. 31, Issue 2. P. 260–272. URL.: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000837317000006>
5. Kononchuk O., Pidlisnyuk V., Mamirova A., Herts A., Grycová B., Klemencová K., Leštinský, P., Shapoval P. Evaluation of the impact of varied biochars produced from *M. × giganteus* waste and application rate on the soil properties and physiological parameters of *Spinacia oleracea* L. *Environmental Technology and Innovation*. 2022. Vol. 28. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85138102714&origin=resultslist&sort=plf-f>
 6. Falfushynska H., Khatib I., Kasianchuk N., Lushchak O., Horyn O., Sokolova I.M. Toxic effects and mechanisms of common pesticides (Roundup and chlorpyrifos) and their mixtures in a zebrafish model (*Danio rerio*). *Sci Total Environ*, 2022, Apr 12;833:155236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155236>
 7. Bodnar, O.I., Horyn, O.I., Soroka, O.V., Nimko, Kh.V., Falfushynska, H.I. Pesticide Pollution of Aquatic Ecosystems: Environmental Risks and Mechanisms of Impact on Aquatic Organisms (a Review). *Hydrobiological Journal*, 2022, 58(2), pp. 62–78. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v58.i2.60>

Статті у виданнях категорії Б

1. Прокоп'як М. З., Флячок А. І., Майорова О. Ю., Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Оцінка ефективності показників інформативності ISSR-маркерів для аналізу генетичного поліморфізму рослин. *Вісник Черкаського університету*. 2022. № 1. С. 74–84. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2022-1-74-84>
<http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/26492>
2. Колісник Х., Кравець Н., Грицак Л., Прокоп'як М., Дробик Н. Проблеми та перспективи збереження видів роду *Carlina* L. флори України в умовах *in situ*, *ex situ*, *in vitro*. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2022. 18. С. 69–82. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.18.2022.269957>.
<http://mchr.sofievka.org/article/view/269957>.
3. Грицак Л.Р., Нужина Н. В., Дробик Н. М. Вплив умов культивування *in vitro* та *ex vitro* на вміст вільного проліну у рослинах деяких видів роду *Gentiana* L. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2022. Т. 30. С. 54–60
<http://utgis.org.ua/journals/index.php/Factory/article/view/1461>
4. Герц А.І., Конончук О.Б., Герц Н.В., Підліснюк В.В., Хоменчук В.О., Пида С.В. Активність фотосинтетичного апарату *Miscanthus × giganteus* за умов забруднення ґрунту дизельним паливом і внесення біочару. *Фізіологія рослин і генетика*. Київ. 2022. Т. 54, №. 2. С. 161–176. <https://doi.org/10.15407/frg2022.02.161>
5. Конончук О. Б., Пида С. В., Герц А. І., Брошак І. С. Продуктивність і ураження хворобами посівів озимого ячменю на чорноземі типовому залежно від попередника й обробки фунгіцидом. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. Умань, 2022. № 1. С. 133–139. <http://dx.doi.org/10.31395/2310-0478-2022-1-133-139> .
6. Горин О.І., Хатіб І., Ковальська Г.Б., Познанський Д.В., Чернік І.В., Боднар О.І. Вплив екологічно реальних та субтоксичних концентрацій малатиону на нетаргетні

організми (на прикладі *Danio rerio*). *Екологічні науки*, № 4(43), 2022. С. 208–213.
<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.35>

Тези:

1. Прокоп'як М. З., Дробик Н. М. Використання ДНК-маркерів у філогенетичних дослідженнях рослин. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2022* : матеріали VI Міжнародної конференції (Тернопіль, 4–5 листопада 2022 р.). Тернопіль : Вектор, 2022. С. 105–107.
<http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/27858>
2. Колісник Х.М., Грицак Л.Р., Дмитришин І.С., Чайка І.В., Дробик Н.М. Стан пігментного комплексу рослин *in vitro* деяких видів роду *Carlina* L. як критерій-маркер їх адаптивного потенціалу. *Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2022* : : матеріали VI Міжнародної конференції (4–5 листопада 2022 р.). Тернопіль : Вектор, 2022. С. 64–68.
<http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/27844>
3. Флячок А. І., Прокоп'як М. З., Дробик Н. М. Підбір показників інформативності для оцінки ефективності ДНК-маркерів. *Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2022*: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції (4–5 листопада 2022 р.). Тернопіль : Вектор, 2022. С. 123–127.
<http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/27864>
4. Грицак Л.Р., Кравець Н.Б., Майорова О.Ю., Мосула М.З., Колісник Х.М., Дробик Н.М. Створення колекції рослин і культури тканин рідкісних лікарських видів роду *Gentiana* L. *in vitro*. *Фактори експериментальної еволюції організмів*: матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції К.: Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова, 2022. Т. 30. С. 145.
<https://utgis.org.ua/journals/index.php/Factory/article/view/1505>
5. Прокоп'як М. З., Майорова О. Ю., Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Оцінка генетичного поліморфізму *Gentiana lutea* L. (пол. Красна, Українські Карпати). *XXI Гамовська Міжнародна конференція* (Одеса, 22–26 серпня 2022 р.). Одеса, 2022.
<http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/27898>
6. Грицак Л.Р., Дробик Н.М. Реалізація біотехнології «*in vitro–ex vitro–in situ*» для створення промислових плантацій високогірних рідкісних лікарських видів роду *Gentiana* L. *Хімія природних сполук: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю* (м. Тернопіль, 27–28.жовтня 2022 р.). – Тернопіль: ТНМУ, 2022. – С. 185–186 с.
7. Колісник Х. М., Прокоп'як М. З., Дробик Н. М. Особливості культивування *in vitro* представників роду *Carlina* L. *Новітні досягнення біотехнології* : VI Міжнародна науково-практична конференція (Київ, 23–24 вересня 2022 р.). Київ, 2022.
8. Грубінко В. В., Боднар О. І., Ткач Н. М. Альгологізація Тернопільського водосховища хлорелою як ефективний засіб подолання «цвітіння». *Біологічні дослідження – 2022* : матеріали XIII Всеукр. наук.-практ. конф. (10–11 жовтня, 2022 року, м. Житомир, Україна) : збірник наукових праць. Житомир : ПП «Євро-Волинь», 2021. С. 139–141.

9. Грубінко В. В. Місце екології у економічному відновленні України: досвід передових держав. *Інновації в сучасній освіті: український та світовий контекст* : матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. (9–10 червня 2022 р., м. Тернопіль). [ред.кол. : В.М. Черняк (відп. ред.) та ін.]. Тернопіль : Вид. центр ТОКІППО, 2022. с. 154–157.
10. Гуменюк В. Дослідження гідрохімічних показників у водозборі м. Ланівці Тернопільської області та прогнозування його майбутнього стану. *«Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства»* : тези доповідей III Міжнарод. наук.-практ. конф учених та студентів (6–7 грудня 2022 р., м. Тернопіль). Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2022. С. 59–61.
11. Грубінко В.В., Галиняк О.В. Йодоселенвмісна субстанція з хлорели як засіб корекції антиоксидантного стану організму. *«Planta + наука, практика та освіта»* : матеріали III наук.-практ. конф з міжнародною участю, присвяченої 180-річчю НМУ ім. О. Богомольця. (18 лютого 2022 р., м. Київ). Київ. Т. 1. С. 297–301.
12. Гуменюк В. В., Гуменюк Г. Б., Чень І. Б., Прокоп'як М. З. Агрохімічна оцінка ґрунтів Красилівського району Хмельницької області. П'ята міжнародна конференція молодих учених : *Харківський природничий форум* (19–20 травня 2022 р., м. Харків) : збірник тез. Харків : ХНПУ ім. Г. С. Сковороди, 2022. С. 204–205. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/25829>
13. Мацюк О. Б., Гуменюк Г. Б., Базилук М. Л., Амброзюк О. Б. Дослідження життєздатності пилку гібридів ріпаку озимого. *Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2022* : матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції (4–5 листопада 2022 р.). Тернопіль : Вектор, 2022. С. 76–78. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/27847>
14. Гуменюк Г. Б., Мацюк О. Б., Хоменчук В. О., Яворівський Р. Л., Дробик Н. М. Дослідження нектаропродуктивності гібридів озимого ріпаку в умовах Західного Лісостепу. *The 9th International scientific and practical conference “Modern research in world science”* (November 28-30, 2022) SPC “Sci-conf.com.ua”, Lviv, Ukraine. 2022. С.122-124. <https://drive.google.com/file/d/1ocJesp-p5uRUPALyFPa8EapXtBFkP6tY/view>
15. Гуменюк В. В., Грубінко В. В., Гуменюк Г. Б., Хоменчук В. О. Оцінка якості води водозабору м. Ланівці. *Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2022* : матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції (4–5 листопада 2022 р.). Тернопіль : Вектор, 2022. С. 52–54. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/27840>
16. Городецька С. І., Гуменюк Г. Б., Волошин О. С., Чень І. Б. Родючість ґрунтів Тернопільського району Тернопільської області. *Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2022* : матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції (4–5 листопада 2022 р.). Тернопіль : Вектор, 2022. С. 45–48. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/27838>
17. Герц А. І., Голояд В. В., Герц В. Р., Гаркач С.О, Герц Н.В. Використання колірних та оптичних параметрів ґрунтів для оцінки вмісту органічного карбону. *Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2022* : матеріали

- Міжнародної науково-практичної конференції (4–5 листопада 2022 р.). Тернопіль : Вектор, 2022. С. 38–41. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/27836>
18. Khatib I., Zhuk A.D., Kovalska H.B., Chernik I.V., Horyn O.I., Bodnar O.I. Lysosomal alterations in organophosphate-exposed (Roundup, chlorpyrifos and their mixtures) zebrafish. *All-Ukrainian Conference on Molecular and Cell Biology with international participation*. Kyiv, June 15–17, 2022. P. 128.
19. Ковальська Г.Б., Колесницький Р.В., Горин О.І., Боднар О.І. Дослідження цитотоксичної дії органофосфатів на *Danio rerio* (родина коропові). «Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2022»: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції 4–5 листопада 2022 р. Тернопіль: Вектор, 2022. 172 с. С. 61–64. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/27843>

Об'єкти права інтелектуальної власності:

1. Деклараційний патент на корисну модель (заявка № u202106908) МПК G01N 33/00, E03B 3/36, G01N 30/38 Спосіб оцінки ступеня пошкоджувального впливу пестицидів на водні екосистеми / Фальфушинська Г.І., Горин О.І. № 151127; заявл 03.12.2021; опубл. 09.06.2022. Бюл. № 23.

Участь у конференціях, семінарах:

1. *Біологічні дослідження – 2022* : XIII Всеукр. наук.-практ. конф. (10–11 жовтня, 2022 року, м. Житомир, Україна).
2. *Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства* III Міжнарод. наук.-практ. конф учених та студентів (6–7 грудня 2022 р., м. Тернопіль).
3. III наук.-практ. конф з міжнародною участю, присвяченої 180-річчю НМУ ім. О. Богомольця (18 лютого 2022 р., м. Київ).
4. IX International Scientific and Practical Conference *Modern research in world science*, November 28–30, 2022, Lviv, Ukraine
5. VI Міжнародна науково-практична конференція «Тернопільські біологічні читання — Ternopil Bioscience – 2022», 4–5 листопада 2022 р. Тернопіль, Україна.
6. *All-Ukrainian Conference on Molecular and Cell Biology with international participation*. June 15–17, 2022. Kyiv, Ukraine.
7. XVII Міжнародна науково-практична конференція «Фактори експериментальної еволюції організмів», К.: Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова, 3–5 жовтня 2022 року.
8. XXI Міжнародна Гамовська конференція, біологічна секція (Одеса, 25 серпня 2022 р.).
9. VI Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Хімія природних сполук», Тернопіль, 27–28 жовтня 2022 р.
10. VI Міжнародна науково-практична конференція «Новітні досягнення біотехнології». (Київ, 23–24 вересня 2022 р.).
11. Міжнародна наукова інтернет-конференція «Селекція, генетика та біотехнологія сільськогосподарських рослин: досягнення, інновації та перспективи», присвячена 110-річчю Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Україна 26 жовтня 2022 року.

12. Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві. Матеріали Міжнародної науко-практичної конференції. Частина 1. (Україна, Київ, 7–8 липня 2022 р.).
13. The 4th International scientific and practical conference — Modern research in world science (July 10-12, 2022) SPC — Sci-conf.com.ua, Lviv, Ukraine. 2022.
14. Харківський природничий форум (19–20 травня 2022 р., м. Харків). Харків : ХНПУ ім. Г. С. Сковороди.

З метою покращання 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-методичний посібник: Дробик Н.М., Грицак Л.Р., Гуменюк Г.Б. Лабораторний практикум із загальної екології. / вид. 4-те, перероблене та доповнене. Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2022. – 130 с.

Отримані результати, які використовуються в навчальному процесі на хіміко-біологічному факультеті, представлені на IV Міжнародній науково-практичній конференції *Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук у контексті вимог Нової української школи*: матеріали (26–27 травня 2022 р., м. Тернопіль) у вигляді доповіді «Інтегрований підхід як основа конструювання змісту навчальної дисципліни «Екотоксикологія»», проф. Грубінко В. В.

15. Практична цінність результатів.

I. За результатами досліджень визначено залежність вмісту фотосинтетичних пігментів, параметрів водного балансу рослин та перебігу первинних процесів фотосинтезу від динаміки метеорологічних чинників середовища. Досліджено особливості анатомічної будови листків та оцінено здатність анатомічних структур видів забезпечити сталість їх водного балансу за посилення аридності клімату. На цій основі визначено ступінь екологічної валентності високогірних видів роду *Gentiana* до змін певних кліматичних чинників, що дозволяє ефективніше здійснювати вибір придатних територій для їх росту при реалізації репатріаційних проєктів. А також відібрано критерії-маркери для оцінки структурно-функціональних змін рослин у процесі їх культивування в умовах *in vitro* та визначено у подальших дослідженнях ефективність розроблених нами технологій для адаптації рослин *in vitro* до умов *ex vitro* та *in situ*.

Результати досліджень впроваджено у навчальний процес при вивченні дисциплін «Біологічні основи охорони природи», «Сучасні стратегії збереження біорізноманіття» освітньо-професійної програми «Екологія» та дисциплін «Екологія» освітньо-професійної програми «Середня освіта (Біологія та здоров'я людини, хімія)», а також «Загальна екологія» освітньо-професійної програми «Екологічна біотехнологія» на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти у Тернопільському національному педагогічному університеті імені Володимира Гнатюка.

За результатами досліджень отримано 1 акт впровадження, розроблено методику та спосіб (див. п. 6).

II На прикладі Тернопільського водосховища «Тернопільський став» (як модель напівзакритого типу) розроблена система заходів з метою очищення водного середовища від забруднень, яка передбачає попередню санацію водойми вапняковими меліорантами на початку льодоставу з розрахунку $1,75 \text{ CaCO}_3 \text{ т/га}$ з подальшим внесенням суміші хлорелово-сценедесмусової пасти у вигляді концентрованої вологої суспензії з розрахунку 2 кг суспензії на 3 га водного плеса. Запропонована схема альгологізації дозволила зменшити евтрофікацію водойми, знизити розвиток і розростання вищої рослинності приберегової межі, покращити фізико-хімічні показники води. Водночас, запроваджений спосіб дав можливість змістити рівновагу між зеленими та синьо-зеленими водоростями на користь групи зелених водоростей, збільшивши домінування зелених водоростей до 36% від вихідного стану – 18% , їхня кількість зросла до 16 млн. кл./дм^3 , продуктивність становила 600 мг сухої біомаси / дм^3 , тоді як представленість синьо-зелених у воді ставу зменшилася з 45% до 22% , тим самим запобігаючи «цвітінню» води і покращуючи її якість для вегетації інших видів фітопланктону, включно діатомей.

Результати роботи можна використати для розроблення заходів і впровадження способів з санітарно-екологічної оптимізації та підвищення стійкості гідроекосистем подібного типу та режиму Західної України для їх відновлення та подальшого використання у водогосподарській, агроекологічній і рекреаційній діяльності.

Аргументовано доцільність впровадження методів математичної статистики та нечіткої логіки для оцінки біобезпеки питних і господарських вод та водного середовища внутрішніх водойм.

За результатами досліджень отримано 2 акти впровадження, розроблено технологію (див. п. 6).

III Результати дослідження можна використати для розроблення заходів із санітарного та екологічного покращення води водозабору в межах м. Ланівці, здійснення водогосподарської, агроекологічної, рекреаційної діяльності та ресурсного використання води, проведення природоохоронної діяльності та відновлювальних робіт екологічного спрямування. Розроблена нами модель оцінювання якості води 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, адаптуватися під досліджувану водойму будь-якого регіону та точки світу.

У роботі представлено підходи, що здатні доповнити інструментарій експрес-визначення вмісту органічного Карбону у ґрунті. У дослідників розширюється арсенал технічного забезпечення для оцінки колірних чи спектральних коефіцієнтів відбиття світла, на основі яких можна проводити геопросторовий аналіз і здійснювати, з ймовірністю 69% , визначення вмісту органічної речовини у слабо- і малогумусних ґрунтах. Основні положення й висновки можуть бути використані у практиці ведення агробізнесу у малих господарствах.

Результати дослідження можна застосувати для викладання навчальних дисциплін біологічного та екологічного змісту, проведення еколоґо-просвітницької роботи.

IV У результаті реалізації другого етапу продовжена робота над дослідженням

впливу гербіцидів на фізіолого-біохімічні показники коропової рибки *D. rerio*. Її результати стали основою прототипу тест-системи для експрес-діагностики біобезпеки широковживаних пестицидів для нецільових організмів та кінцевого споживача агропродукції – людини. Це сприятиме зниженню ризиків негативного впливу хімічних речовин на біорізноманіття популяцій тварин та стан здоров'я людини.

На розроблену тест-систему оформлено права інтелектуальної власності – патент України на корисну модель «Спосіб оцінки ступеня пошкоджувального впливу пестицидів на водні екосистеми». 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. Розроблена карта-схема фізіолого-біохімічних реакцій нецільових організмів за пошкоджуючого впливу гербіцидів була апробована та високо оцінена науковцями на конференціях з міжнародною участю.

У межах реалізації другого етапу перспективного плану розвитку наукового напрямку «Біологія та охорона здоров'я» Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка ведеться підготовка дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 09 «Біологія» зі спеціальності 091 «Біологія» (здобувачі Колісник Х.М., Осипенко І.О.)

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 АТ1010, 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 С-115М, культуральна кімната, ламінарний бокс із стерильним потоком повітря, фітоламп, 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, декан хіміко-біологічного факультету, професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін ТНПУ ім. В. Гнатюка. **Боднар Оксана Ігорівна** – доктор біологічних наук, професор, 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

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

Фальфушинська Галина Іванівна – доктор біологічних наук, професор, проректор з наукової роботи і міжнародного співробітництва ТНПУ ім. В. Гнатюка (до вересня 2022 р).

11. Основні висновки за результатами виконання завдань:

І Встановлено, що фотосинтетичний апарат рослин досліджених видів динамічно реагує на підвищення середньої температури повітря та ґрунту у літні місяці на 0,7–1,0°C. Найбільше чутливими є рослини усіх вікових груп *G. punctata*, що проявляється у зростанні вмісту хлорофілів а і b та каротиноїдів, а також посиленні залежності пігментного комплексу від відносної вологості повітря та суми опадів. Найбільш стійкими до змін метеорологічних чинників є віргінільні та генеративні рослини *G. acaulis*. Рослини *G. lutea* за цими ознаками займають проміжне положення.

Показано, що в умовах високої інсоляції та за достатнього вмісту води у клітинах перебіг первинних процесів фотосинтезу рослин *G. punctata* та *G. acaulis* є подібним. За зневоднення реакція ФСА рослин *G. punctata* за окремими параметрами (qL, LEF, NPOt) відрізняється як від особин *G. acaulis*, так й *G. lutea*. Дослідження кінетики ключових параметрів флуоресценції вказує на значну роль у захисті асиміляційного апарату від фотодекструкції 2 механізмів: теплової дисипації та циклічного транспорту електронів у межах РЦ ФС II. Поєднання цих механізмів дозволяє зменшити від 1,6 раза (*G. acaulis*) до 3,9 раза (*G. lutea*) та 6,0 разів (*G. punctata*) втрати поглиненої енергії на низку нерегульованих процесів (ϕNO), у зів'язаному листку, порівняно із гідратованим. Найвищий адаптивний потенціал до посилення аридності клімату мають рослини виду *G. acaulis*, а найнижчий – *G. punctata*. Вид *G. lutea* належить до проміжної групи рослин за цим показником. Здатність рослин *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis* забезпечувати своє функціонування за мінімального використання потенціалу фотосинтетичного апарату дозволяє припустити, що стратегія адаптації цих видів до умов високогір'я відбувалася шляхом мінімізації потреб рослин у факторах середовища.

Дослідження водного балансу рослин різних вікових груп показало, що показники інтенсивності транспірації, водного дефіциту, вологоутримуючої здатності динамічно

реагують на міжрічну змінну метеочинників, забезпечуючи відносно сталий вміст загальної води у тканинах їх листків. Найбільш вразливими до міжрічного підвищення температури є особини прегенеративної групи видів *G. lutea*, *G. punctata*. Рослини усіх вікових груп *G. acaulis* характеризуються найбільш сталим вмістом води, незалежно від мінливості метеочинників.

Встановлено, що вміст проліну залежить від онтогенетичної стадії розвитку рослин досліджуваних видів: найнижча його концентрація виявлена у іматурних рослинах, найвища – у генеративних особинах. У загальному, вміст проліну в листках є невисоким і коливається в межах 4,65–9,53 мкмоль/г сирової маси. При цьому найвищою його концентрація є у рослин *G. punctata*. Зроблено припущення, про існування у досліджених видів стрес-протекторних механізмів, які зумовлюють накопичення інших сумісних осмолітів, накопичення який збільшує концентрацію клітинного соку та, відповідно, вологоутримуючу здатність рослин.

Аналіз анатомічної будови листків рослин досліджених видів показав, що за морфометричними параметрами анатомічних структур вид *G. acaulis* у значній мірі відрізняється від видів *G. lutea* та *G. punctata*, що обумовлено його адаптацію до росту у альпійському поясі. Для виду *G. acaulis* характерна більша кількість продихів на обох поверхнях листка, більша кількість шарів мезофілу та його щільність.

Розроблено систему критеріїв-маркерів для оцінки структурно-функціонального стану рослин *in situ*, які є контрольними для виявлення змін у функціонуванні окремих підсистем рослин та визначені ступеня розвитку адаптивних властивостей біотехнологічних рослин. Показано, що на *рівні анатомічних структур* необхідно використовувати такі критерії-маркери як: кількість продихів, товщина листка, товщина зовнішньої клітинної стінки епідерми з обох боків листової пластинки, кількість шарів мезофілу та його диференціація. На *фізіологічному рівні* підвищення адаптивного потенціалу рослин доцільно визначати за оцінкою: 1) функціонального стану ФСА рослин та ефективності перебігу первинних процесів фотосинтезу; 2) водного балансу рослин.

II. На основі загальної екологічної характеристики водосховищ «Тернопільський став» і Верхньо-Івачівське вважаємо за доцільне провести комплекс гідротехнічних, гідрохімічних та гідробіологічних заходів для цих екосистем з метою запобігання евтрофікації, покращення якості водного середовища, а також оптимізувати умови для життєдіяльності організмів, які здатні забезпечити самоочищення екосистем, що дозволить відновити рекреаційний, водогосподарський та, в перспективі, рибогосподарський потенціал водойм.

Альгологізація (з розрахунку 1 кг/га концентрованої вологої хлорелової пасти, збагаченої *Scenedesmus*) Тернопільського водосховища позитивно вплинула на показники води. Вода ставу у придонних шарах здебільшого характеризувалася стабільно низьким, однак вищим від критично рівня, вмістом кисню, який активно використовується у екосистемі на окиснення органічних речовин. Вміст вуглекислоти знаходився у межах допустимого рівня та свідчить про переважання її форми гідрокарбонат-іон (HCO_3^-) та слабколужної реакції води.

Стан води у Верхньо-Івачівському водозаборі задовільний. Сезонне погіршення якості води розпочинає формуватися восени та значно інтенсифікується взимку унаслідок відмирання фітопланктону та вищої водної рослинності, які розвиваються влітку, про що свідчить інтенсивне накопичення аміаку та фенолів.

За вмістом фенолів водосховища належать до IV (задовільна) та V (посередня) категорії якості води; за вмістом нафтопродуктів та за показником БСК₅ до VI (погана) та VII (дуже погана), за вмістом аміачних сполук (NH₄⁺) – до VI (погана), VII (дуже погана) та VIII (занадто погана) категорій, за вмістом АПАР до VII (дуже погана) категорії.

Розроблена модель оцінювання якості води допомагає встановити ступінь впливу показників через нейронні зв'язки. Реалізація запропонованої моделі у сучасній програмі Matlab з модулями штучного інтелекту дозволяє програмі «самонавчатися», та, доповнюючи вхідні і проміжні параметри, адаптувати процес вивчення та результати під досліджувану водойму будь-якого регіону.

III Було здійснено моделювання та прогнозування майбутніх станів води водозабору м. Ланівці на основі теорії ланцюгів Маркова. Представлені результати моделювання доводять, що найнижча концентрація йонів амонію NH₄⁺ можлива на п'ятому ймовірнісному етапі досліджень від початку замірів з показниками: 1.1302; 1.0307; 0.7912; 1.1566. При цьому в такому співвідношенні вмісту амонію NH₄⁺, показник рН буде в концентрації – 7,30, оскільки саме на цьому етапі досліджень концентрація амонію є невисокою. Застосування сучасного інструментарію економіко-математичного моделювання дозволить прогнозувати вміст амонію, або інших досліджуваних речовин у воді подібних водозаборів для постійного моніторингу та покращення ситуації і зменшення вмісту шкідливих речовин у воді.

Згідно наших досліджень встановлено, що середній показник кислотності у ґрунтах приватної земельної ділянки с. Лозова, Тернопільського району Тернопільської області №1-3 становив – 7,69; у ґрунтах ділянки фермерського господарства СГ ТОВ «Дружба» №1-3 – 7,59. Згідно таблиці групування ґрунтів за ступенем кислотності та лужності досліджені ґрунти – слаболужні. Середній показник вмісту гумусу у ґрунтах приватної земельної ділянки №1-3 становив 3,5% (підвищений рівень гумусу); у ґрунтах фермерського господарства №1-3 – 4,71% (високий вміст гумусу).

Досліджено, що середній показник вмісту нітратного азоту у ґрунтах приватної земельної ділянки №1-3 становив 28,06 мг/кг (середній вміст нітратного азоту); у ґрунтах ділянки фермерського господарства №1-3 – 33,06 мг/кг (підвищений та дуже високий рівень нітратного азоту). Середній показник вмісту амонійного азоту у ґрунтах приватної земельної ділянки та ґрунтах фермерського господарства не перевищує 15,1 мг/кг, що свідчить про дуже низький його рівень в ґрунтах. Аналіз забезпечення ґрунтів обмінним калієм показав, що його середній показник у ґрунтах приватної земельної ділянки становив 38,46 мг/кг (дуже низький вміст обмінного калію); у ґрунтах фермерського господарства – 74,4 мг/кг (низький вміст обмінного калію). Проте спостерігалось коливання від 9,14 мг/кг до 148,27 мг/кг на ділянці фермерського господарства №2 навесні та ділянці №3 – влітку. Аналізуючи дані дослідження, встановлено, що середній показник обмінного натрію у ґрунтах приватної земельної ділянки становив 50,60 мг/кг (високий вміст); у ґрунтах фермерського господарства – 98,2 мг/кг (дуже високий вміст).

Концентрація обмінного натрію на досліджених територіях змінювалась від 5,73 мг/кг до 450,83 мг/кг. Досліджувані ґрунти вирізняються високим вмістом обмінного хлору. Середній показник обмінного хлору у ґрунтах приватної земельної ділянки становив 219,0 мг/кг (високий вміст); у ґрунтах ділянки фермерського господарства – 392,63 мг/кг (високий вміст) хлору згідно таблиці групування ґрунтів за вмістом аніонів обмінного хлору.

Концентрація основних елементів живлення у ґрунтах приватних земельних ділянок та фермерського господарства практично не відрізнялася. Лише деякі показники, зокрема, гумус, нітратний азот, обмінний натрій та обмінний хлор є вищими у ґрунтах ділянок фермерського господарства. Очевидно, це пов'язано з внесенням добрив перед початком посівного сезону. Ґрунти Тернопільського району загалом характеризуються задовільними властивостями і вважаються продуктивними та придатними для вирощування екологічно безпечної продукції.

Використання кількісних та якісних характеристик відбитого від поверхні ґрунту світла дозволяє ефективно й інтактно з високим рівнем достовірності та чутливості визначити масову частку Карбону органічної речовини ґрунту. Використані з метою розробки моделей прогнозування ГОР у ґрунтах регіону пристрої Our Sci Reflectometer та Nix Pro™, показали достовірні результати, а відтак, мають перспективи подальшого використання для згаданих цілей. Беручи до уваги той факт, що обробка ґрунтів H_2O_2 дозволяє отримати точніші на 8-10% моделі прогнозування ГОР, припускаємо, що використання такого додаткового етапу у пробопідготовці, особливо в лабораторних умовах, може бути виправданим. Враховуючи, що в досліджених нами ґрунтах вміст Карбону змінювався у вузькому діапазоні (0,8-3,0%), коефіцієнт відбиття світла від поверхні може бути успішним інструментом експрес-оцінки його вмісту, а відтак і органічної речовини, у ґрунті з високою ймовірністю – понад 69 %.

IV Результати проведеного дослідження з використанням модельного об'єкта *D. rerio* надають переконливі докази оксидативного стресу як важливого токсичного механізму та ключової клітинної реакції на вплив раундапу (гліфосат), хлорпірифосу та їх сумішей у сублетальних концентраціях, які відповідають вмісту даних речовин у навколишньому середовищі.

Обидва вивчені пестициди та їх суміші спричиняють виснаження антиоксидантів, надлишкове продукування АФК, накопичення продуктів перекисного окислення ліпідів і підвищення рівня ушкодження ДНК у клітинах печінки риб данію. При цьому хлорпірифос у вищій з досліджуваних концентрацій проявляє себе як значно токсичніший, у порівнянні з раундапом, агент і додатково викликає нітрозативний та карбонільний стрес у печінці данію. Незважаючи на відсутність однозначного підтвердження регуляції процесів апоптозу, за результатами експерименту спостерігаються несприятливі наслідки на рівні організму, включаючи гепато- та нейротоксичність. Докази ендокринних порушень, спричинених пестицидами, є недостатніми та обмежені гіпоталамо-гіпофізарно-наднирничковою віссю без впливу на гіпоталамо-гіпофізарно-щитовидну та гіпоталамо-гіпофізарно-міжниркову осі. Примітно, що менш токсичний раундап демонструє стимуляцію клітинних захисних механізмів під час впливу низьких концентрацій, що свідчить про гормоноподібний ефект цього

пестициду для *D. rerio*. Ця стимуляція була нейтралізована в сумішах, що містять хлорпірифос, що дозволяє припустити, що ендокринний ефект, викликаний раундапом, навряд чи виникне під час типового для навколишнього середовища впливу агрохімічних сумішей. Особливої уваги потребує те, що згідно з результатами проведеного дослідження, комбіновані ефекти органофосфатів раундапу та хлорпірифосу для *D. rerio* є менш адитивними та антагоністичними, тому токсичні ефекти сумішей загалом можна передбачити за ефектами більш токсичного пестициду – хлорпірифосу. Проте кілька останніх опублікованих досліджень показали адитивний або синергетичний ефект сумішей пестицидів, включаючи органофосфат/карбамат і органофосфати (раундап і хлорпірифос) / сульфат міді (Heys et al., 2016; Weeks et al, 2021; Laetz et al, 2009), що є свідченням того, що антагоністичні взаємодії не можуть бути узагальнені для всіх пестицидів. Незважаючи на те, що присутність раундапу в суміші не посилювала токсичні ефекти хлорпірифосу, послаблення токсичності не спостерігалось. Ці висновки означають, що при обмеженості ресурсів моніторинг токсичності гербіцидів може здійснюватися по найбільш небезпечному компоненту (наприклад, хлорпірифос). Проте, для покращення оцінки дії пестицидів на навколишнє середовище необхідними є подальші дослідження ефектів впливу пестицидних сумішей на основі біологічного аналізу з акцентом на найбільш чутливих біомаркерах (окислювальний стрес, гепато- та нейротоксичність).

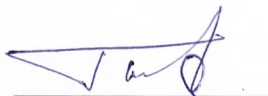
12. Висновок науково-технічної (наукової) ради ЗВО:

Протокол № 1 від 10 січня 2022 р. засідання науково-технічної ради ТНПУ ім. В. Гнатюка про відповідність виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку, визначених у ТЗ-2022.

Керівник ЗВО:

В.о. ректора
(посада)

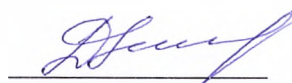



(підпис)

Григорій ТЕРЕЩУК
(ім'я та прізвище)

Науковий керівник:

Декан хіміко-біологічного
факультету
(посада)


(підпис)

Надія ДРОБИК
(ім'я та прізвище)