

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

БУБИС ОЛЬГА ЄВГЕНІВНА



УДК 574.58: 574.632

**ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ
НА ПРОЦЕСИ МЕТАБОЛІЗМУ
В КЛІТИНАХ РОСЛИН ПЛЕЙСТОФІТОНУ**

03.00.16 – екологія

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата сільськогосподарських наук

Львів – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Львівському національному аграрному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор біологічних наук, професор
Антоняк Галина Леонідівна,
Львівський національний університет
імені Івана Франка, професор кафедри екології.

Офіційні опоненти: доктор сільськогосподарських наук, доцент
Клименко Олександр Миколайович,
Національний університет водного господарства та
природокористування, професор кафедри менеджменту;

доктор сільськогосподарських наук, доцент
Міронова Наталія Геннадіївна,
Хмельницький національний університет,
професор кафедри екології.

Захист відбудеться "5" червня 2018 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 36.814.04 у Львівському національному аграрному університеті за адресою: 80381, Львівська обл., Жовківський р-н, м. Дубляни, вул. Володимира Великого, 1, головний корпус, зал вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Львівського національного аграрного університету за адресою: 80381, Львівська обл., Жовківський р-н, м. Дубляни, вул. Володимира Великого, 1.

Автореферат розісланий "5" травня 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Н. В. Качмар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За умов інтенсивного антропогенного забруднення дедалі важливішими стають проблеми раціонального використання водних ресурсів, збереження біорізноманіття водних екосистем, екологічний моніторинг компонентів гідросфери (Fuerhacker, 2002; Neamtu, 2009). Актуальним став пошук інформативних біоіндикаторів для оцінки стану водного середовища, зокрема природних акваторій (Дубина та ін., 1993; Федорчук, Мусієнко, 2006; Pérez et al., 2010, 2013; Amengual-Morro et al., 2012; Shi, 2015; Wiegler, 2016).

Відомо, що на властивості прісноводних екосистем та різноманіття водних рослин і тварин впливає наявність у воді іонів важких металів, концентрація яких істотно зростає впродовж останніх десятиріч (Samecka-Cymerman, 2007; Echols et al., 2008; Rai, 2008, 2009; Bai et al., 2011). Важкі метали можуть акумулюватись у клітинах живих організмів, спричинюючи порушення метаболічних і фізіологічних процесів, накопичуватись у трофічних ланцюгах, негативно впливати на продуктивність гідробіонтів у водоймах (Braune et al., 2005; Evans et al., 2005; Guittonny-Philippe et al., 2014; Duan et al., 2014; Wang et al., 2014).

Однак багато видів водяних рослин здані адаптуватися до впливу важких металів, нагромаджуючи їх значну кількість. Вивчення впливу цих елементів на життєві процеси в клітинах, наприклад гідатофітів, дає змогу з'ясувати основні метаболічні ланки, які задіяні в механізмах адаптації до змін водного середовища та придатні до використання з біоіндикаційною метою. Для з'ясування адаптаційних та біоіндикаційних властивостей окремих представників *Lemmaeae* (роду *Lemna* L., *Spirodela* L.), які належать до розповсюджених на території України компонентів водяної флори, важливе значення має вивчення екологічних особливостей та метаболічної відповіді цих рослин на вплив важких металів. Іншим актуальним аспектом досліджень є з'ясування можливості використання рослин у живленні сільськогосподарських тварин, зокрема птиці.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження є частиною науково-дослідної роботи, що велася впродовж 2007–2014 рр. кафедрою екології Львівського національного аграрного університету за темами “Дослідити стан окремих компонентів екосистем та розробити заходи щодо оптимізації їх функціонування в умовах техногенезу” за 2006–2010 рр. (номер державної реєстрації 0106U002074) та “Дослідити стан і динаміку природних компонентів агроекосистем Західного регіону України та розробити заходи щодо оптимізації їх ефективного функціонування в умовах антропогенезу” за 2011–2015 рр. (номер державної реєстрації 0111U001253).

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи – з'ясувати функціональні реакції плейстофітів на забруднення важкими металами водного середовища та обґрунтувати біоіндикаційні критерії оцінки стану гідроекосистем за морфо-фізіологічними показниками рослин.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання:

- проаналізувати результати вивчення та узагальнення питань стану суходільних гідроекосистем і питних водних ресурсів заходу України й методичні аспекти дослідження та біоіндикації якості вод;
- проаналізувати біоекологічні особливості рослин роду *Lemna* і *Spirodela* та з'ясувати біоіндикаційний потенціал цих рослин;
- дослідити екологічний стан і склад середовища водних об'єктів, розташованих на території м. Дубляни Жовківського району Львівської області, порівнюючи його зі станом окремих компонентів гідросфери на території Львівської та Волинської областей;
- провести аналіз екологічного стану підземних вод на території м. Дубляни та визначити якість води, яка надходить населенню, із врахуванням результатів досліджень артезіанських свердловин; провести порівняльний аналіз якості води з підземних джерел та водопровідної;
- дослідити морфологічні зміни та інтенсивність асиміляційних процесів у клітинах рослин виду *Lemna minor* та *Spirodela polyrhiza* залежно від рівня забруднення водного середовища металами за допомогою аналізу концентрації протеїну та крохмалю;
- дослідити вплив катіонів Плюмбуму, Кадмію та аніонів хромату на морфометричні показники та синтез пігментів у рослинах *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza*;
- дослідити вплив катіонів Плюмбуму, Кадмію та аніонів хромату на стан процесів пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) і активність ензимів антиоксидантної системи в клітинах рослин *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza* аналізом концентрацій ТБК-активних продуктів, активності супероксиддисмутази, каталази, аскорбатзалежної пероксидази, глутатіонпероксидази, глутатіонредуктази;
- проаналізувати динаміку клітинних метаболітів у рослинах *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza* залежно від ступеня забруднення водойм;
- дослідити кормовий потенціал плейстофітону і вплив згодовування ряски сільськогосподарській птиці на її ріст і якість тваринної продукції.

Об'єкт дослідження – екоситуація та якість вод у гідроекосистемах заходу України та підземних водозаборах верхньої частини басейну Західного Бугу.

Предмет дослідження – вплив забруднення водного середовища важкими металами другого і третього класів токсичності на метаболічні й адаптаційні процеси у клітинах рослин підроду *Lemnoideae* Vab, екобезпеку питного водопостачання та потенційні загрози потрапляння токсичних елементів із суходільних водойм у тваринну продукцію.

Методи дослідження. Для виконання поставлених завдань використали основні методи екологічного дослідження: спостереження за станом води в екосистемах, лабораторні експерименти для вивчення впливу екотоксикологічних чинників на метаболізм у клітинах рослин, моделювання процесів, у тому числі математичне моделювання; екобіохімічні методи; фізико-хімічні (визначення фізико-хімічних властивостей води); статистичні (встановлення достовірності проведених досліджень).

Наукова новизна одержаних результатів. Основні наукові положення дисертаційного дослідження, що визначають новизну одержаних наукових результатів, полягають у такому:

вперше:

- показано, що адаптація рослин плейстофітону до забруднення водою важкими металами відбувається внаслідок змін у процесах антиоксидантного метаболізму;
- порівняльний аналіз антиоксидантного потенціалу представників різних видів роду *Lemna* показав, що клітини ряски мають високий антиоксидантний потенціал, що дає змогу протистояти розвитку оксидативного стресу за певних концентрацій металів у водному середовищі, а показники ПОЛ залежать від сезонних змін у природних умовах, концентрації важких металів у середовищі культивування рослин та слугують репрезентативними індикаторами ауекологічної реакції на стан вод, як середовища життя представників плейстофітону;
- доведено, що встановлені особливості адаптаційних реакцій рослин ряски є інформативними у використанні для оцінювання рівня токсичності водного середовища, спричиненої важкими металами;
- виявлено, що позитивний ефект від згодовування біомаси *Lemna minor*, який полягає у збільшенні інтенсивності росту курей упродовж перших двох місяців життя, може становити потенційну загрозу;

удосконалено:

- підходи до аналізу впливу важких металів на метаболічні процеси в клітинах плейстофітів; адаптаційного, біоіндикаційного та фіторемедіаційного потенціалів рослин роду ряска;
- техніку оцінювання екологічного стану водних об'єктів на території м. Дубляни та стану води централізованого водопостачання міста;

отримали подальший розвиток:

- розуміння активності ферментів у рослинах ряски малої (*Lemna minor* L.), яку можна застосовувати для оцінки стану водоюм як середовища життя плейстофітів, а саму рослину – як тест-об'єкт у методах фітоіндикації;
- методичні підходи, які можуть бути використані для проведення екологічної оцінки та біоіндикації стану прісних водоюм України, у моніторингових програмах захисту та збереження біорізноманіття водних ресурсів.

Практичне значення одержаних результатів. Напрацювання автора, які стосуються удосконалення екологічної оцінки та біоіндикації стану прісних водоюм у моніторингових програмах захисту та збереження біорізноманіття водних ресурсів, розглянуті і схвалені Львівським обласним управлінням водних ресурсів, що підтверджено відповідною довідкою.

Застосування біомаси рослин плейстофітону в живленні птиці забезпечило зростання економічного ефекту від приросту її живої маси в агрофірмі ТОВ «ЗАГАЇ» (с. Жовтанці), що засвідчено довідкою. Ряску малу можна вирощувати при веденні фермерського господарства.

Результати дослідження, висновки та рекомендації дозволили збагатити новим змістом навчальні програми з таких дисциплін, як «Гідробіологія», «Гідроекологія»,

«Екотоксикологія», «Моніторинг навколишнього середовища», «Технології заготівлі і використання кормів» та «Екологізація технологічних процесів у кормовиробництві», які викладають на факультеті агротехнологій та екології Львівського національного аграрного університету, про що подано відповідну довідку.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, викладені в дисертації і винесені на захист, отримані автором особисто за методичного консультування наукового керівника. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, у дисертації використані лише ті ідеї та положення, які є результатом особистої роботи здобувача. Конкретний внесок здобувача зазначено у списку публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію на: Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку біо- і агроценозів в умовах постійного техногенного забруднення» (Трускавець – Дрогобич, 2006 р.), Міжнародному студентському науковому форумі «Студентська молодь і науковий прогрес в АПК» (Львів, 2006, 2010 рр.), Міжнародному науково-практичному форумі «Шляхи підвищення ефективності використання агроресурсного потенціалу» (Львів, 2009 р.), IV Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених «Екологічні проблеми сільськогосподарського виробництва» (Сколе, 2010 р.), II Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених «Перспективні напрями розвитку галузей АПК і підвищення ефективності наукового забезпечення агропромислового виробництва» (Тернопіль, 2010 р.), Міжнародному науково-практичному форумі «Наукові і практичні аспекти агропромислового виробництва та розвитку сільських регіонів» (Львів, 2010 р.), X Українському біохімічному з'їзді (Одеса, 2010 р.), Міжнародній науково-практичній студентській конференції «Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування» (Львів, 2010 р.), IV Міжнародній науковій конференції «Озерні екосистеми: біологічні процеси, антропогенна трансформація, якість води» (Мінськ – Нароч, 2011 р.), VIII Конференції молодих вчених «Фізіологія і біохімія в годівлі тварин» (Яблоня, 2011 р.), доповідались автором на звітних наукових конференціях аспірантів та здобувачів Львівського національного аграрного університету (2008–2010 рр.). Результати досліджень відображені в наукових звітах кафедри екології та біології Львівського національного аграрного університету.

Публікації. Результати наукового дослідження за темою дисертації викладені у 28 наукових працях, з них 3 статті надруковані у виданнях, що належать до міжнародних наукометричних баз, 5 – у наукових фахових виданнях України, 2 – в інших журналах, 18 – у матеріалах і тезах конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 207 сторінок комп'ютерного тексту. Робота містить 23 таблиці, 20 рисунків, 5 додатків. Бібліографічний список складається з 373 джерел, із них 258 англомовних.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі подано огляд джерел наукової літератури. Він складається з чотирьох підрозділів, у яких наведені наявні в наукових джерелах дані щодо сучасного екологічного стану гідроекосистем та екологічні вимоги до якості води, токсичності важких металів щодо гідробіонтів. Подано аналіз проведених вітчизняними та зарубіжними авторами досліджень представників підродини *Lemnoideae* як важливої групи водяних рослин для здійснення біомоніторингу та фітоіндикації стану гідроекосистем.

У другому розділі описано територію досліджень, використані під час виконання дисертаційної роботи методи вивчення якості води та метаболічних реакцій у водяних рослинах, зумовлених погіршенням її стану. Експериментальні дослідження проводили впродовж 2007–2014 рр. згідно з планом науково-дослідної роботи кафедри екології Львівського національного аграрного університету та наукової роботи кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка. У межах тематики досліджено екологічний стан окремих водних об'єктів на території Львівської та Волинської областей, стан метаболізму та антиоксидантної системи у клітинах рослин роду Ряска (*Lemna*) та інших макрофітів, а також адаптаційні, біоіндикаційні й фіторе mediaційні властивості цих рослин.

Дослідження за темою дисертаційної роботи були зосереджені головним чином на території м. Дубляни Жовківського району Львівської області. Окремі спостереження та експерименти виконані на території сіл Великі Грибовичі (Жовківський район Львівської області) і Світязь (Шацький район Волинської області) та с.м.т. Добротвір Кам'янка-Бузького району Львівської області.

Експериментальні дослідження проводили у п'ять етапів, відповідно до визначених завдань роботи:

I етап – дослідження стану водного середовища в окремих водоймах на території Львівської та Волинської областей;

II етап – проведення аналізу підземних вод на території м. Дубляни Жовківського району Львівської області та питної води, що надходить населенню, із врахуванням якості води зі свердловин, які використовують для водопостачання. Дослідження проводили впродовж 2006–2015 рр.;

III етап – аналіз поширення Ряскових (*Lemnoideae*) у водоймах на території Львівської та Волинської областей, дослідження метаболічних та екологічних особливостей окремих представників родів *Lemna* і *Spirodela*, з'ясування їхніх біоіндикаційних і фіторе mediaційних потенціалів;

IV етап – дослідження впливу важких металів (Cd, Pb, Cr (VI)) на морфо-фізіологічні показники та стан антиоксидантного метаболізму в рослинах ряски малої (*Lemna minor*);

V етап – дослідження впливу згодовування біомаси ряски малої (*Lemna minor*) на показники продуктивності молодняка курей.

На першому етапі об'єктами досліджень були вибрані такі водойми: озеро і два стави, розташовані на території м. Дубляни, став на території с. Великі

Грибовичі (Жовківський район Львівської області), озеро Світязь, що входить до Шацького національного природного парку (с. Світязь Шацького району Волинської області), та водосховище теплової електростанції (ТЕС) с.м.т. Добротвір Кам'янка-Бузького району Львівської області.

Проби води для аналізу відбирали зі зазначених водойм упродовж жовтня 2009 р. згідно із загальноприйнятою методикою (Романенко та ін., 1998). У роботі використовували загальноприйняті в гідрохімії методи досліджень: титриметричний аналіз (з метою визначення твердості, основності води та вмісту в ній хлоридів), фотометричний аналіз (для визначення загального вмісту Феруму, іонів амонію, нітратів, нітритів, фосфатів), потенціометрію (визначення показника рН) (Вода питьєвая, 1984 (а, б); Романенко та ін., 1998).

Екологічну оцінку якості води досліджуваних об'єктів виконували із застосуванням чинної системи класифікацій і нормативів оцінки якості поверхневих вод України (Сніжко, 2001).

На другому етапі з метою дослідження екологічного стану підземних вод аналізували якість води двох артезіанських свердловин, задіяних у системі централізованого господарсько-питного водопостачання м. Дубляни. Одна з них (свердловина № 5 глибиною 90 м, потужністю 16 м³/год), введена в дію 1963 року, функціонує на території міста. Друга свердловина (глибиною 50 м, потужністю 16 м³/год) розташована в районі с. Стронятин на відстані 7 км від м. Дубляни. Лабораторний аналіз води проводили на кафедрі екології та біології Львівського національного аграрного університету та в Жовківській районній санітарно-епідеміологічній станції відповідно до вимог Держстандарту якості питної води.

Аналізували зразки води за стандартними показниками: водневий показник (рН), сухий залишок (мінералізація загальна), загальна твердість, лужність, вміст хлоридів, сульфатів, Феруму, амонійного азоту, нітритів, нітратів. Задіяли стандартні методики визначення якості питної води, що ґрунтуються на загальноприйнятих фізико-хімічних, титриметричних і фотометричних методах: азотний аміак – ГОСТ 4192-82; нітрити – ГОСТ 4192-82; нітрати – ГОСТ 18826-73; загальна твердість – ГОСТ 4151-72; Ферум – ГОСТ 4011-72; сухий залишок – ГОСТ 18164-72; хлориди – ГОСТ 4245-72; сульфати – ГОСТ 4389 (Вода питьєвая, 1984 (а); ДСТУ 4808:2007).

Дослідження показників стану питної води проводили в лабораторії водозабірних споруд і в навчально-дослідній лабораторії кафедри екології та біології ЛНАУ. Відбір проб відповідав стандартним вимогам (Вода питьєвая, 1984 (б)).

Під час третього етапу досліджували інтенсивність розповсюдження рослин роду *Lemna* (*Lemna minor*, *Lemna trisulca*) та *Spirodela polyrhiza* у зазначених водних об'єктах, аналізували компонентний склад і прооксидантно-антиоксидантний стан цих рослин, рівень накопичення в них металів та морфологічні особливості залежно від середовища росту; порівнювали показники стану антиоксидантної системи з показниками, встановленими в клітинах листків латаття жовтого (*Nuphar lutea*); аналізували наявні в наукових джерелах дані щодо біологічних особливостей представників Ряскових (*Lemnoideae*).

Четвертий етап дослідження проводили на культивованих у лабораторних умовах рослинах *Lemna minor*, які відбирали з природної водойми. Зі стерилізованого 0,5% розчином NaOCl матеріалу, зібраного у природних умовах, вирощували вільну від мікроорганізмів культуру рослини відповідно до рекомендацій (Мусієнко, Ольхович, 2004; OECD, 2006). Перед початком експерименту рослини переносили в колби зі стерильним поживним середовищем Стейнберга (OECD, 2006).

Склад поживного середовища, яке використовували під час культивування рослин, був таким: 1,65 моль/л $MgSO_4$, 1,00 моль/л $CaCl_2$, 0,10 моль/л NH_4NO_3 , 0,65 моль/л NaH_2PO_4 , 0,50 моль/л K_2SO_4 , 0,16 моль/л K_2CO_3 , 27 ммоль/л Fe-етиленадіамінтетраацетової кислоти (Fe-ЕДТА), 5,77 ммоль/л H_3BO_3 , 1,13 ммоль/л $MnCl_2$, 0,19 ммоль/л $ZnSO_4$, 0,08 ммоль/л $CuSO_4$, 0,05 ммоль/л Na_2MoO_4 (Cedergreen, Madsen, 2002).

Зразки, які використовували як контроль (К), містили лише поживне середовище. Дослідні зразки містили розчини солей металів (Д1–Д6 – $CdCl_2$; Д7–Д12 – $Pb(CH_3COO)_2$; Д13–Д18 – $K_2Cr_2O_7$) у концентраціях, підібраних із врахуванням значень ГДК у природних водоймах для Кадмію, Плюмбуму і Хрому (відповідно 0,01 мг/л, 0,1 мг/л і 0,05 мг/л) (Беспамятнов, Кротов, 1985; Сборник санитарно-гигиенических нормативов и методов контроля вредных веществ в объектах окружающей среды, 1991). Діапазон досліджуваних концентрацій зазначених елементів становив 1, 2, 4, 10, 20 і 50 ГДК. Конкретний вміст Кадмію у дослідних зразках становив 0,01, 0,02, 0,04, 0,1, 0,2, 0,5 мг/л; Плюмбуму – 0,1, 0,2, 0,4, 1,0, 2,0, 5,0 мг/л; Хрому (VI) – 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 2,5 мг/л. Дослідні і контрольні зразки культивували у триразовій повторності в асептичних умовах за температури 25 °C і 16-годинного фотоперіоду впродовж семи діб (OECD, 2006). Після закінчення експерименту рослини забирали зі середовища культивування, промивали дистильованою водою, висушували фільтрувальним папером і використовували для досліджень.

На п'ятому етапі дослідження проводили в умовах малого фермерського господарства, розміщеного в с. Малехів Жовківського району Львівської області. В експерименті було використано 30 курчат м'ясо-яєчної породи Іспанка віком 21 доба, яких поділили на три групи: контрольну (К) і дві дослідні (Д1, Д2), по 10 особин у кожній. Годівлю курчат під час досліду здійснювали згідно з деталізованими нормами, використовуючи стандартний корм (комбікорм ПК-2 для молодняку курей віком 1-8 тижнів виробництва компанії «КреМікс», Україна), який забезпечував потреби молодняку птиці в поживних речовинах і вітамінах.

Курчатам групи Д1 додавали до раціону подрібнені рослини *Lemna minor* у кількості 10 г/кг маси тіла, тваринам групи Д2 забезпечували вільний доступ до годівниці з ряскою для споживання біомаси рослини в необмеженій кількості. Курчата контрольної групи отримували лише корм відповідно до раціону. У процесі досліду спостерігали за поведінкою тварин дослідних груп, інтенсивністю споживання корму і поїдання ряски. Тривалість досліду становила 21 добу. Курчат зважували перед початком досліду і через кожні сім діб у процесі згодовування біомаси *Lemna minor*.

Статистичну обробку отриманих даних здійснювали з використанням стандартних комп'ютерних програм.

Третій розділ присвячений аналізу екологічного стану водних об'єктів, розташованих на територіях різного рівня антропогенного навантаження, що є необхідною умовою екологічної оцінки якості води та санітарно-гігієнічного стану природних гідробіогеоценозів.

У пробах води, відібраних із водойм, розміщених на території Жовківського району (стави м. Дубляни і с. Великі Грибовичі), виявлено перевищення нормативних значень щодо вмісту амонію відповідно у 2,6 та 2,46 раза, фосфатів – у 2,3 і 1,8 раза, Феруму – у 46 і 3,4 раза, а крім того, у цих пробах води вища, ніж в інших досліджуваних об'єктах, концентрація нітритів і нітратів. Результати аналізу води з водосховища ТЕС с.м.т. Добротвір свідчать про перевищення порівняно з нормативними значень вмісту: амонію – у 3,8 раза, фосфатів – в 1,5 раза, Феруму – у 12,5 раза. З усіх досліджуваних у нашій роботі водних об'єктів найкращу якість мають проби води, відібрані з озера Світязь, де майже всі вимірювані показники перебувають у межах норми (табл. 1).

Таблиця 1

Показники якості води водних об'єктів із різним рівнем антропогенного навантаження на території Львівської та Волинської областей

Показник	Став м. Дубляни	Став с. Великі Грибовичі	Водосховище ТЕС с.м.т. Добротвір	Озеро Світязь	ГДК _{р-г} (або ГДЗ*)
Загальна твердість, мг-екв/дм ³	5,5	-	7,0	1,6	7,0
Основність, мг-екв/дм ³	4,8	-	6,5	1,6	0,5–6,5
pH	6,00	7,25	6,00	6,50	6,50–8,50
Хлорид (Cl ⁻), мг/ дм ³	18,50	27,79	32,50	15,00	300,00
Амоній (NH ₄ ⁺), мг/дм ³	1,30	1,23	1,90	1,00	0,50
Нітрит (NO ₂ ⁻), мг/дм ³	0,045	0,070	0,006	0,015	0,080
Нітрат (NO ₃ ⁻), мг/дм ³	12,70	0,65	7,40	1,20	40,00
Фосфат, мг/дм ³	0,34	0,27	0,22	0,09	0,15
Ферум, мг/дм ³	4,60	0,34	1,25	0,20	0,10

Примітка: * – гранично допустимі значення (ГДЗ) загальної твердості, основності та показника pH води.

З метою аналізу впливу металів як забруднювачів природних біотопів на розповсюдження водяних макрофітів наші дослідження були скеровані на з'ясування вмісту Кадмію, Плюмбуму, Хрому і Кобальту в ставах та озері, розташованих на території м. Дубляни, а також у ставку, який міститься на території с. Великі Грибовичі. Концентрація Кадмію перевищувала показник ГДК, встановлений для водойм рибогосподарського призначення, у воді ставу №2 і ставу в с. Великі Грибовичі відповідно в 1,78 і 1,60 раза, а Кобальту – у ставах №1 і №2 м. Дубляни відповідно в 1,23 і 1,13 раза. Вміст Феруму в усіх аналізованих водоймах Жовківського району істотно перевищував показник ГДК_{р-г} (табл. 2).

Концентрація металів у воді природних водойм, розташованих на території м. Дубляни і с. Великі Грибовичі

Досліджуваний елемент	Водойми, розташовані на території м. Дубляни			Став у с. Великі Грибовичі
	Озеро	Став №1	Став №2	
Cd, мкг/л (ГДК _{р-г} – 0,005 мг/л)	2,191±0,150	2,710±0,224	8,922±0,582*** ⁺⁺⁺	8,002±0,620***
Pb, мкг/л (ГДК _{р-г} – 0,1 мг/л)	1,015±0,070	3,987±0,261***	10,433±0,640*** ⁺⁺⁺	6,243±0,431*** ^{##}
Cr, мкг/л (ГДК _{питт.} – 0,05 мг/л)	34,19±3,11	30,12±2,16	37,93±2,23 ⁺	33,43±2,38
Co, мкг/л (ГДК _{р-г} – 0,01 мг/л)	6,190±0,38	12,331±0,841**	11,340±0,752**	9,642±0,752*
Fe, мг/л (ГДК _{р-г} – 0,10 мг/л)	0,48±0,04	4,57±0,51***	1,62±0,13 ⁺⁺	0,34±,02

Примітки: 1) *, **, *** – вірогідність різниць між вмістом металів у водоймах порівняно зі значеннями, встановленими у воді озера м. Дубляни (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$); 2) ⁺, ⁺⁺ – вірогідність різниць між вмістом металів у воді ставів №1 і №2 м. Дубляни (⁺ – $p < 0,05$; ⁺⁺ – $p < 0,01$; ⁺⁺⁺ – $p < 0,001$); 3) ^{##} – вірогідність різниць між вмістом Плюмбу у воді ставу №2 м. Дубляни і ставу на території с. Великі Грибовичі.

У четвертому розділі аналізували поширення Ряскових у водоймах на території Львівської та Волинської областей, метаболічні та екологічні особливості окремих представників родів Ряска (*Lemna*) і Спіродела (*Spirodela*), вивчали їхні біоіндикаційний і фіторемедіаційний потенціали. На цьому етапі досліджували інтенсивність розповсюдження рослин роду *Lemna* (*Lemna minor*, *Lemna trisulca*) та *Spirodela polyrhiza* у зазначених водних об'єктах, аналізували компонентний склад і прооксидантно-антиоксидантний стан цих рослин, рівень накопичення в них металів та морфологічні особливості залежно від середовища росту.

Результати спостережень за розповсюдженням представників Ряскових свідчать, що цей показник значно відрізняється в аналізованих водних об'єктах, хоча у всіх цих водоймах виявляється ряска мала (*Lemna minor*) – один із найпоширеніших у помірній кліматичній зоні видів макрофітів. Ряска тридольна (*Lemna trisulca*), яка належить до занурених гідатофітів, виявлена лише у ставку на території с. Великі Грибовичі. Інший представник підродини *Lemnoideae* – *Spirodela polyrhiza*, яка також належить до розповсюджених видів гідатофітів, виявлений лише в озері на території м. Дубляни, де *Spirodela polyrhiza* формує угруповання з ряскою малою, домінуючи над цим видом у співвідношенні близько 20:1.

З метою з'ясування стійкості водяних макрофітів до оксидативного стресу проводили дослідження процесів ПОЛ та активності ензимів антиоксидантного захисту в клітинах ряски малої та спіродели багатокореневої, порівнюючи вміст ТБК-активних продуктів та ензимну активність із значеннями цих показників у клітинах листків латаття жовтого (*Nuphar lutea*) – багаторічної водяної рослини з родини Лататтеві (*Nymphaeaceae*).

Отримані результати свідчать, що рослини *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza* характеризуються близькими значеннями показників прооксидантно-антиоксидантного стану, зокрема вмістом продуктів ПОЛ, активністю

супероксиддисмутази (СОД) і каталази, проте в клітинах листя *Nuphar lutea* концентрація ТБК-активних продуктів досягає більшого рівня, ніж у представників Ряскових. У процесі досліджень встановлено, що активність СОД і каталази вірогідно не відрізняється в рослинах із підродини Ряскових, проте активність аскорбатзалежної пероксидази у рослинах *Spirodela polyrhiza* удвічі більша, ніж у рослинах *Lemna minor*. У клітинах листка *Nuphar lutea* каталазна і аскорбатпероксидазна активності значно перевищують значення цих показників у рослинах обох видів Ряскових. Глутатіонпероксидазна активність у клітинах *Lemna minor* вища, ніж у клітинах *Spirodela polyrhiza*, а в листках *Nuphar lutea* глутатіонредуктазна і глутатіонпероксидазна активності менші, ніж у лопатях *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza* (табл. 3).

Таблиця 3

Вміст ТБК-активних продуктів і активність ензимів у клітинах *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza* і *Nuphar lutea* ($M \pm m$)

Показник	<i>Lemna minor</i>	<i>Spirodela polyrhiza</i>	<i>Nuphar lutea</i>
ТБК-активні продукти, нмоль/г сирової тканини	11,71±0,82	14,10±0,93	22,40±1,29****+
Супероксиддисмутаза, ум. од./хв на 1 мг білка	9,64±0,70	12,32±0,75	-
Каталаза, мкмоль H ₂ O ₂ /хв на 1 мг білка	2,02±0,11	2,16±0,14	5,32±0,35****+
Пероксидаза аскорбатзалежна, мкмоль/хв 1 мг білка	2,52±0,13	4,22±0,26**	7,45±0,48****+
Глутатіонпероксидаза, мкмоль GSH /хв на 1 мг білка	0,570±0,035	0,291±0,016***	0,165±0,012****+
Глутатіонредуктаза, нмоль NADPH/хв на 1 мг білка	16,41±0,96	17,10±1,15	13,22±0,80*+
Глутатіон відновлений, нмоль/г сирової тканини	12,90±0,83	15,34±1,12	-

Примітки: 1) *, **, *** – вірогідність різниць між значенням показників у рослинах *Spirodela polyrhiza* і *Nuphar lutea* порівняно з рослинами *Lemna minor* (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$); 2) +, ++, +++ – вірогідність різниць між значенням показників у листках *Nuphar lutea* порівняно з рослинами *Spirodela polyrhiza* (+ – $p < 0,05$; ++ – $p < 0,01$; +++ – $p < 0,001$); 3) місяць, під час якого проведені дослідження, – липень.

Результати досліджень свідчать, що інтенсивність процесів ПОЛ та активність ензимів антиоксидантної системи в клітинах водяних макрофітів характеризується сезонними відмінностями. Зокрема, концентрація ТБК-активних продуктів у рослинах *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza* зростає в період із травня по липень і залишається на високому рівні до осені, а в клітинах листків *Nuphar lutea* – вірогідно зменшується у вересні порівняно з літнім періодом (рис. 1).

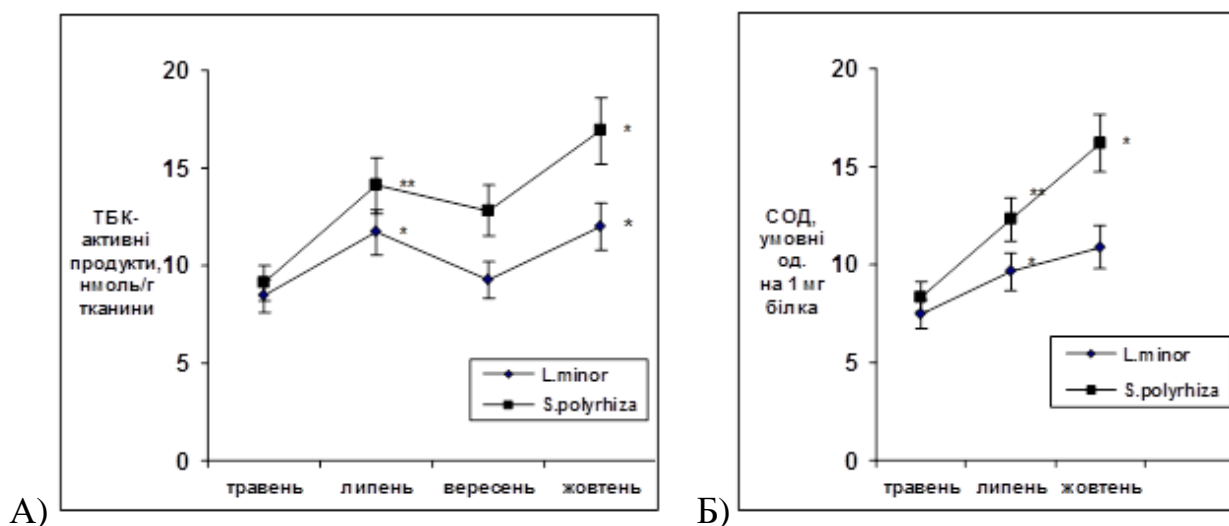


Рис. 1. Концентрація ТБК-активних продуктів та супероксиддисмутазна активність у клітинах водяних макрофітів: А – ТБК-активні продукти; Б – супероксиддисмутазна активність (*, ** – вірогідність різниць у значенні показника в клітинах кожної з рослин порівняно з попереднім місяцем: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$).

Слід зазначити, що подібна динаміка до зменшення концентрації продуктів ПОЛ у вересні порівняно з рівнем, встановленим у липні, виявляється і в представників Ряскових, проте різниця у показниках між цими місяцями не була вірогідною. Встановлені зміни концентрації ТБК-активних продуктів супроводжуються збільшенням активності супероксиддисмутази в клітинах обох аналізованих видів Ряскових у липні порівняно з активністю цього ензиму в травні і подальшим збільшенням активності СОД у лопатях *Spirodela polyrhiza* в жовтні порівняно з літнім місяцем.

У п'ятому розділі досліджено морфометричні та метаболічні показники у рослинах ряски, які заселяють природні водойми, розташовані на території м. Дубляни та с. Великі Грибовичі Жовківського району Львівської області. З метою порівняння аналізували зазначені показники в рослинах, культивованих у лабораторії. Отримані результати свідчать, що рослини *Lemna minor*, які ростуть у природних водоймах, характеризуються деякими відмінностями в морфологічних параметрах порівняно з рослинами, вирощуваними в лабораторних умовах.

У культивованих рослин були більшими біомаса, кількість лопатей та їхній розмір, а також довжина коренів, порівняно з рослинами, відібраними з озера в м. Дубляни. Найвиразнішими відмінностями характеризуються такі показники, як біомаса рослин та довжина коренів, які у рослин, що росли в лабораторних умовах, були відповідно в 1,66 і 3,03 раза більшими ($p < 0,01-0,001$), ніж у рослин, які росли в Дублянському озері. Крім того, культивовані рослини переважно склалися з двох, трьох або чотирьох лопатей, на відміну від рослин, які росли в природних умовах.

Важливим завданням нашої роботи було проаналізувати рівень акумуляції металів у клітинах рослин підродини Ряскових. З цією метою проводили

дослідження вмісту Кадмію, Плюмбуму, Хрому і Кобальту в рослинах ряски малої (*Lemna minor*) та спіродели багатокореневої (*Spirodela polyrhiza*), відібраних із природних водойм м. Дубляни та ставу, розміщеного на території с. Великі Грибовичі (табл. 4). Аналізуючи концентрацію Cd, Pb, Cr і Co у водоймах і вказаних видах макрофітів, які їх заселяють, необхідно відзначити високий рівень накопичення Плюмбуму та Кадмію в клітинах *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza*. Проте *Spirodela polyrhiza* має більшу здатність до нагромадження Кадмію і Плюмбуму, ніж *Lemna minor*, а рівень накопичення Хрому і Кобальту в рослинах обох видів практично однаковий. Рівень накопичення Кадмію, Плюмбуму і Хрому найбільший у рясці, зібраній зі ставів № 2 і с. Великі Грибовичі, в яких вміст Кадмію, більший відповідно в 1,68 і 1,72 раза, Плюмбуму – у 2,88 і 3,24 раза, Хрому – в 4,47 і 3,02 раза, ніж у рослинах, зібраних із Дублянського озера. Рівень накопичення Кобальту в рослинах, навпаки, майже однаковий за умов росту в озері та ставі, розміщеному в с. Великі Грибовичі, а більша концентрація цього елемента виявляється в рослинах ряски, які ростуть у ставках №1 і №2 м. Дубляни (відповідно в 1,47 і 1,30 раза перевищує показник, встановлений у рослинах, зібраних з озера).

Таблиця 4

Акумуляція металів у рослинах *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza* ($M \pm m$)

Вид рослин	Кадмій, мкг/г	Плюмбум, мкг/г	Хром, мкг/г	Кобальт, мкг/г
<i>Lemna minor</i>	1,285±0,080	3,033±0,17	5,893±0,37	1,134±0,06
<i>Spirodela polyrhiza</i>	2,049±0,13**	6,592±0,45***	5,741±0,34	1,339±0,089

Примітка: **, *** – вірогідність різниць між вмістом металів у рослинах *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza*, відібраних із озера м. Дубляни (** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

Для з'ясування морфологічних порушень у рослинах ряски за наявності металів у середовищі досліджували вплив Кадмію, Плюмбуму і шестивалентного Хрому на морфометричні показники ряски малої (*Lemna minor*) (рис. 2).

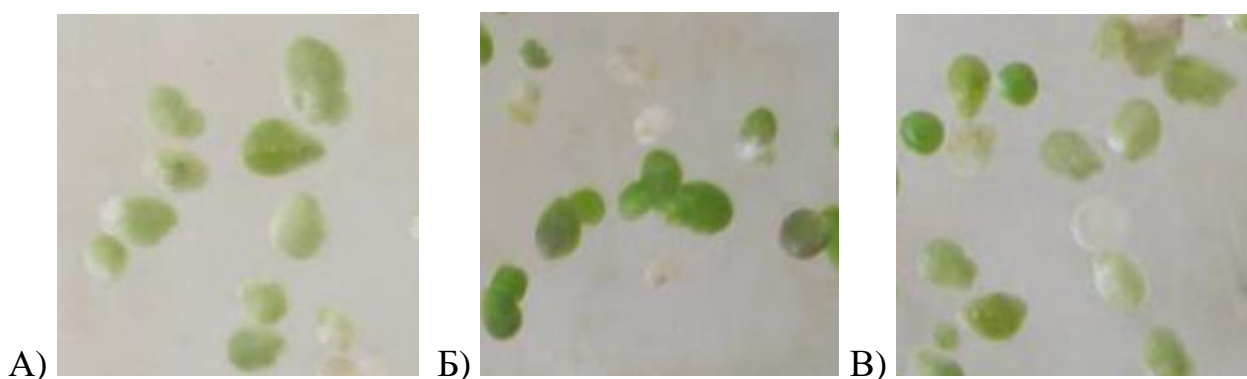


Рис. 2. Зміни забарвлення лопатей *Lemna minor* під впливом важких металів у концентрації 0,5 мг/л: А – Cd; Б – Cr (VI); В – Pb.

Установлено, що за концентрації металів у середовищі 0,5 мг/л відбувається зниження інтенсивності забарвлення лопатей, на їхній поверхні з'являються білі та бурі плями. Найбільшим рівнем депігментації із втратою зеленого забарвлення характеризувалися рослини ряски, які контактували з іонами Кадмію. За наявності шестивалентного Хрому у формі дихромат-аніона в середовищі культивування на

рослинах утворювалися білі плями, які спочатку локалізувалися на краю лопатей і поступово поширювалися на всю поверхню ряски. Під впливом іонів Плюмбуму лопаті починали бліднути повністю, усією поверхнею.

Отримані результати свідчать, що за умов 7-добового культивування за наявності металів у концентрації 0,1 і 0,5 мг/л відбуваються такі зміни, як зменшення приросту біомаси рослин, зменшення інтенсивності утворення нових лопатей, відпадання коренів та зменшення довжини новоутворених корінців. Зокрема, під впливом Кадмію у концентрації 0,5 і 1,0 мг/л загальна біомаса рослин була меншою відповідно на 17,3% і 29,1% порівняно з біомасою контрольних зразків. За наявності Плюмбуму в концентрації 0,1 мг/л у середовищі культивування вірогідних змін біомаси рослин не спостерігали, а за концентрації 0,5 мг/л цей показник зменшувався на 18,6%. За наявності Хрому (VI) в концентрації 0,1 мг/л цей показник знижувався найменшою мірою – на 16,7%.

У механізмах токсичності металів суттєву роль відіграють прооксидантні ефекти та провокування розвитку оксидативного стресу, який виявляється нагромадженням активних форм кисню та продуктів пероксидації ліпідів, зменшенням вмісту природних антиоксидантів і пригніченням функцій захисних систем клітин. У процесі досліджень встановлено, що вплив Cd, Pb і Cr (VI) на активність антиоксидантних ензимів у клітинах ряски залежить від концентрації цих елементів у середовищі культивування рослин.

Зокрема, супероксиддисмутазна активність не змінюється за вмісту Кадмію 0,01–0,04 мг/л (що відповідає 1–4 ГДК), але різко зростає за подальшого підвищення концентрації цього елемента в середовищі. Однак за наявності Cd²⁺ на рівні 0,5 мг/л (50 ГДК) супероксиддисмутазна активність клітин істотно пригнічується. Водночас за концентрацій 0,04 і 0,1 мг/л Кадмію сприяє збільшенню каталазної активності, а за більших концентрацій (на рівні 20 і 50 ГДК) цей елемент інгібує активність каталази (рис. 3).

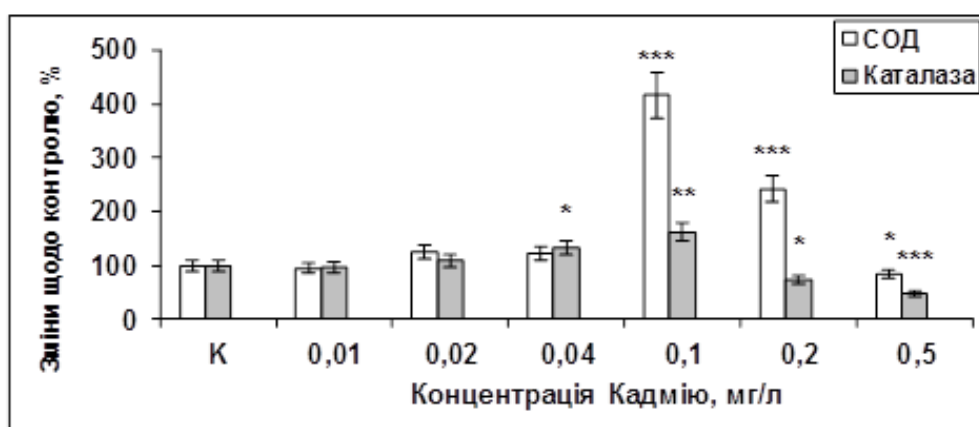


Рис. 3. Супероксиддисмутазна і каталазна активність у рослинах *Lemna minor*, культивованих за наявності Кадмію у концентраціях 0,01–0,5 мг/л (на цьому і наступному рисунках за 100% приймали ензимну активність, установлену в контрольних зразках (К); *, **, *** – вірогідність різниць у показниках між дослідними зразками і контролем (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

За наявності Плюмбуму в середовищі характерним є дозозалежне збільшення супероксиддисмутазної активності в діапазоні концентрацій 0,2–2,0 мг/л, які відповідають значенням 2–20 ГДК. Каталазна активність перевищує контроль за наявності Pb^{2+} у концентрації 0,2–1,0 мг/л (2–10 ГДК), але зменшується за вмісту Pb^{2+} 5,0 мг/л, що відповідає 50 ГДК (рис. 4).

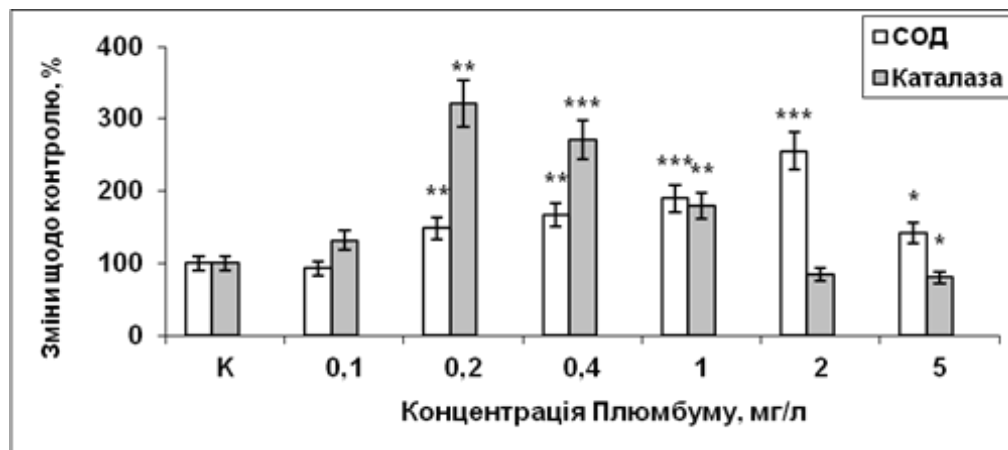


Рис. 4. Супероксиддисмутазна і каталазна активність у рослинах *Lemna minor*, культивованих за наявності Плюмбуму в концентраціях 0,1–5,0 мг/л.

За концентрацій 0,1, 0,2 і 0,5 мг/л Хром (VI) сприяє збільшенню активності супероксиддисмутази, а за більших концентрацій – пригнічує активність ензиму. Каталазна активність інгібується за вмісту Хрому (VI) 0,5–2,5 мг/л, що відповідає 10–50 ГДК (рис. 5).

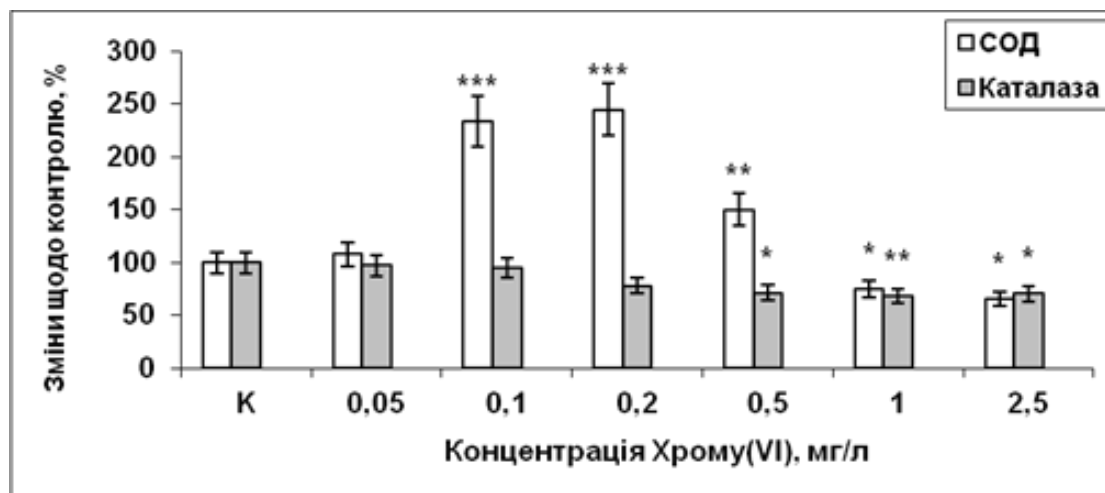


Рис. 5. Супероксиддисмутазна і каталазна активність у рослинах *Lemna minor*, культивованих за наявності Cr (VI) у концентраціях 0,05–2,5 мг/л.

У шостому розділі проведено дослідження впливу добавки ряски малої, вирощеної за контрольованих умов, на ріст і показники продуктивності молодняку курей в умовах малого фермерського господарства. У дослідженнях використовували курчат віком 21 доба, яких поділили на три групи. Особини

контрольної групи отримували лише корм відповідно до раціону. Курчатам групи Д1 додавали до раціону подрібнені рослини *Lemna minor* у кількості 10 г на 1 кг маси тіла, тваринам групи Д2 забезпечували вільний доступ до годівниці з ряскою для споживання біомаси рослини в необмеженій кількості. Тривалість досліду становила 21 добу (табл. 5).

Таблиця 5

Жива маса курчат контрольної групи і курчат, які отримували з кормом біомасу рослин *Lemna minor* ($M \pm n$, $n=10$)

Умови досліджень		Перед початком досліду	7-ма доба досліду	14-та доба досліду	21-ша доба досліду
Контроль	Жива маса, г	253±14	274±15	286±16	310±17*
	Середній приріст, г	-	21	33	57
Дослід 1	Жива маса, г	240±13	270±15	285±16*	312±17**
	Середній приріст, г	-	30	45	72
Дослід 2	Жива маса, г	248±14	280±17	298±17*	327±18**
	Середній приріст, г	-	32	50	79

Примітка: *, **, *** – вірогідність різниць у значеннях показників порівняно з контролем (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

Згідно з результатами досліджень, курчата груп Д1 і Д2, які отримували ряску додатково до раціону, загалом характеризувалися більшими приростами живої маси в процесі експерименту порівняно з особинами контрольної групи. Проте суттєвих відмінностей у збільшенні живої маси між курчатами груп Д1 і Д2 не виявлено. Зокрема, на 14-ту добу досліду приріст маси курчат контрольної групи становив 13%, а груп Д1 і Д2 відповідно 18,8% і 20,1% ($p < 0,05$). На 21-шу добу досліду приріст живої маси курчат контрольної групи становив у середньому 57 г (на 22,5% більше від початкової маси, $p < 0,05$), а дослідних груп відповідно 72 г і 79 г, або на 30% і 31,8% більше ($p < 0,01$) порівняно з масою тварин перед початком експерименту.

Результати досліджень свідчать про позитивний ефект від згодовування біомаси *Lemna minor*, який полягає у збільшенні інтенсивності росту курей упродовж перших двох місяців життя. Рослини *Lemna minor* є значним джерелом білка, мікроелементів та антиоксидантів, що зумовлює їх значний потенціал для годівлі птиці та інших видів сільськогосподарських тварин. Оскільки ряску можна легко вирощувати в умовах ведення фермерського господарства, у тому числі з використанням стічних вод тваринницьких ферм, використання біомаси рослини (за умов аналізу її хімічного складу) у живленні птиці може забезпечити отримання економічного ефекту у птахівництві.

ВИСНОВКИ

Дослідженнями з'ясовано рівні екобезпеки лотичних водойм верхньої частини басейну Західного Бугу на території Львівського східного району Пасмового Побужжя, а також оцінено екобезпеку питного водопостачання. У природних біотопах представників Ряскових (*Lemnoideae*) і в лабораторних умовах вивчені екобіохімічні особливості рослин роду *Lemna*, досліджено динаміку морфологічних

і біохімічних показників *Lemna minor* залежно від рівня забруднення природних водойм та наявності Кадмію, Плюмбуму і Хрому (VI) у середовищі росту рослин, доведена доцільність застосування показників метаболізму *Lemna minor* у біоіндикації водного середовища. На основі проведеного дослідження можна зробити такі висновки:

1. Екологічний стан суходільних гідроекосистем є загрозово небезпечним і створює ризик втрати питних водних ресурсів Західного Лісостепу. Проте глибокого дослідження, узагальнення інформації щодо чинників забруднення вод, методики й способів його біоіндикаційної оцінки та спеціальних рекомендацій щодо способів поліпшення екоситуації в лотичних гідроекосистемах верхнього басейну Західного Бугу немає.

2. Аналіз проб води, відібраних із водойм на території Львівщини (Жовківський район, стави м. Дубляни і с. Великі Грибовичі), свідчить про їхнє значне специфічне забруднення. Перевищення значень ГДК щодо вмісту амонію становить відповідно 2,60 і 2,46 рази, фосфатів – 2,3 і 1,8 рази, Феруму – 46 і 3,4 рази. Зазначені показники води в озері Світязь (Волинська область) не перевищують нормативних рівнів.

3. За результатами біохімічного аналізу гомогенату фітомаси представників Ряскових (*Lemna minor*, *Lemna trisulca*, *Spirodela polyrhiza*), поширених у водоймах Жовківського району, встановлено, що в рослинах *Lemna minor* вміст протеїнів і ліпідів є найбільшим, а клітковини – найменшим порівняно з іншими видами. Вміст крохмалю є найменшим у рослинах *Lemna trisulca*. Вміст Кальцію і Фосфору найбільший у рослинах *Spirodela polyrhiza*, а Натрію і Калію – у рослинах *Lemna minor*. Тому фітомаса гідатофітів є багатою на поживні речовини й мінеральні елементи, яких потребують консументи гідроекосистеми і водоплавні птахи.

4. Активність ензимів антиоксидантної системи, рівень процесів ПОЛ, концентрація протеїну і крохмалю в рослинах *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza* характеризуються сезонними змінами. Найменший вміст продуктів ПОЛ і супероксиддисмутази активність зафіксовано в травні, а найбільші значення цих показників – у жовтні; каталазна і аскорбатпероксидазна активності досягають високого рівня у весняний період, зменшуються влітку і знову зростають у жовтні; активність глутатіонпероксидази і глутатіонредуктази та вміст відновленого глутатіону зростають упродовж літніх місяців і зменшуються восени; вміст протеїну в рослинах *Lemna minor* у травні більший ($p < 0,05$), а крохмалю – менший ($p < 0,001$), ніж у жовтні.

5. Встановлено відмінності у значеннях морфологічних показників рослин *Lemna minor* за умов росту в природних водоймах з різним рівнем забруднення та за умов культивування в лабораторії. Рослини, відібрані зі забруднених водойм, характеризуються меншою довжиною кореня ($p < 0,05$), а часто – його відсутністю, динамікою до зменшення біомаси, кількості та розмірів лопатей порівняно з рослинами, що ростуть у незабрудненому водному середовищі.

6. У рослинах *Lemna minor*, відібраних із озера та ставів м. Дубляни і с. Великі Грибовичі, встановлено відмінності в концентрації Cd, Pb, Cr, Co ($p < 0,05$ – $0,001$) залежно від вмісту цих металів у воді зазначених водойм. З'ясовані видові

особливості акумуляції металів у рослинах *Lemna minor* та *Spirodela polyrhiza*, які полягають у більшій здатності *Spirodela polyrhiza* до накопичення Cd і Pb ($p < 0,01 - 0,001$) порівняно з *Lemna minor*. Коефіцієнт біоакумуляції (КБ) Pb в рослинах *Spirodela polyrhiza* і *Lemna minor* перевищує 1 000, а Cd в рослинах *Spirodela polyrhiza* близький до 1 000; у рослинах *Lemna minor* КБ перевищує 500 у водоймах з концентрацією Cd 2,2–2,7 мкг/л, а за більшого вмісту Cd у воді (8,0–8,9 мкг/л) КБ зменшується до 242–276. Рослини *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza* характеризуються низьким рівнем акумуляції Co, а КБ цього елемента змінюється від 183 до 128 за вмісту Co у водоймах 6,19–12,33 мкг/л.

7. Акумуляція металів із середовища культивування супроводжується порушенням метаболізму та фізіологічними змінами в рослинах *Lemna minor*. За концентрації 0,5 мг/л Cd, Pb, Cr(VI) знижується інтенсивність забарвлення лопатей, відбувається їх роз'єднання, розвивається хлороз і спостерігаються некротичні зміни. За умов 7-добового культивування за наявності Cd, Pb, Cr(VI) зменшуються біомаса рослин, кількість лопатей, довжина і кількість коренів. Найвиразніші зміни відбуваються за концентрації металів 0,5 мг/л ($p < 0,01 - 0,001$).

8. За концентрації Cd^{2+} 0,1 і 0,2 мг/л активність СОД у клітинах *Lemna minor* зростає у 4,1 і 2,2 раза ($p < 0,001$), а за вмісту Cd^{2+} 0,5 мг/л – зменшується ($p < 0,05$). За концентрації 0,04 і 0,1 мг/л Кадмій зумовлює збільшення каталазної активності відповідно в 1,3 та 1,6 раза ($p < 0,05 - 0,01$), а зі збільшенням концентрації інгібує активність ензиму ($p < 0,05 - 0,001$). За наявності Pb^{2+} характерне дозозалежне збільшення активності СОД у діапазоні концентрацій 0,2–2,0 мг/л ($p < 0,01 - 0,001$), а за вмісту Pb^{2+} 5,0 мг/л активність СОД залишається на 41,8% більшою від контролю ($p < 0,05$). Каталазна активність перевищує контроль за наявності 0,2–1,0 мг/л Pb^{2+} ($p < 0,01 - 0,011$), але зменшується за вмісту Pb^{2+} 5,0 мг/л ($p < 0,05$). Хром (VI) за концентрацій 0,1, 0,2 і 0,5 мг/л зумовлює збільшення активності СОД відповідно у 2,3, 2,4 і 1,5 раза ($p < 0,001 - 0,01$), а за більших концентрацій Cr(VI) активність ензиму пригнічується ($p < 0,05$). Каталазна активність інгібується за вмісту Cr(VI) у середовищі на рівні 0,5–2,5 мг/л ($p < 0,05 - 0,01$).

9. Фітомаса *Lemna minor* є ефективним кормом для птиці і тварин, які охоче споживають її впродовж усього періоду вегетації рослин. Зокрема, наші дослідження показали, що згодовування її курчатам упродовж 21 доби, починаючи з 3-тижневого віку, у кількості 10 г/кг або без обмежень сприяє збільшенню живої маси молодняку відповідно на 7,5% і 9,4%. За концентрації досліджених важких металів, а також не досліджуваних нами поліютантів у водоймах та фітомасі гідатофітів вірогідне потрапляння їх в організм тварин спричинить біомагніфікацію та передачу поліютантів харчовим ланцюгом аж до людини.

10. Враховуючи вагомий потенціал плейстофітону у годівлі тварин, і не лише курей, стає очевидним, що для з'ясування можливості його використання слід застосовувати конкретні фітоіндикаційні показники стану водойм, де вони активно вегетують.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

З метою оцінювання ступеня забруднення лотичних водойм верхньої частини басейну Західного Бугу на території Львівського східного району Пасмового Побужжя доцільно використовувати як біоіндикаційні показники параметри метаболізму представників Ряскових (*Lemna minor*, *Lemna trisulca*, *Spirodela polyrhiza*).

Рекомендовано згодувати свійській птиці фітомасу Ряскових у необмеженій кількості для збільшення приросту живої маси тварин за умови негативного результату біотестування водойм на предмет забруднення Кадмієм, Плюмбумом, Хромом.

Для екобезпечного згодування плейстофітону тваринам та з'ясування можливості його використання слід застосовувати фітоіндикаційні показники стану водойм, де вони активно вегетують, за встановленими критеріями.

СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Яремко О., Антоняк Г., Панас Н. Якість питної води у системі водопостачання міста Дубляни Жовківського району Львівської області. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2009. № 13. С. 78–81. (Автором виконано експериментальну частину, проведено аналіз отриманих результатів).

2. Антоняк Г., Яремко О. Характеристика ряски малої та її значення для сільського господарства. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2010. № 14 (2). С. 16–19. (Автором узагальнено наукові джерела).

3. Яремко О., Антоняк Г. Екологічна характеристика ряскових (*Lemnoideae*). *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2011. № 15 (1). С. 73–83. (Автором вибрано наукові джерела та сформульовано висновки сумісно зі співавтором).

4. Яремко О., Антоняк Г. Вплив важких металів на активність каталази у клітинах ряски малої (*Lemna minor* L.). *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2012. № 16. С. 62–66. (Автором виконано експериментальну частину, проведено аналіз отриманих результатів).

5. Біологічна доступність металів та їх акумуляція в тканинах рослин / Г. Л. Антоняк, З. І. Мамчур, О. І. Першин, О. Є. Бубис, Т. В. Кордош. *Вісник проблем біології і медицини*. 2015. Вип. 3, т. 2 (123). С. 11–16. (Автором вибрано наукові джерела та оформлено текст до друку).

Статті у наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз

6. Бубис О. Є., Антоняк Г. Л. Вплив Кадмію, Плюмбуму і Хрому (VI) на активність ензимів антиоксидантної системи в клітинах ряски (*Letna minor* L.). *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2014. Вип. 65. С. 161–169. (Автором виконано експериментальну частину та аналіз отриманих результатів).

7. Бубис О. Є. Водяні рослини та їх екологічна роль. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*. 2015. Т. 17, № 1 (61), ч. 1. С. 258–264.

8. Метали у водних екосистемах та їх вплив на гідробіонтів / Г. Л. Антоняк, Т. В. Багдай, О. І. Першин, О. Є. Бубис, Н. Є. Панас, Н. П. Олексюк. *Біологія тварин*. 2015. Т. 17, № 2. С. 9–24. (Автором проаналізовано літературні джерела, сумісно зі співавторами сформульовано висновки).

Інші статті

9. Яремко О. Є., Антоняк Г. Л. Моніторинг забруднення водних біогеоценозів різного рівня антропогенного навантаження. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. Агрономія*. 2011. Ч. 1, № 75. С. 190–195. (Автором зібрано статистичні матеріали, виконано експериментальну частину, підготовлено текст до друку).

10. Сучасний стан та екологічні проблеми водних ресурсів України / В. В. Снітинський, Г. Л. Антоняк, Т. В. Багдай, О. Є. Бубис, Н. Є. Панас. *Журнал агробіології та екології*. 2014. Т. 4, № 1. С. 9–16. (Автором зібрано статистичні джерела та підготовлено текст до друку).

Інші публікації

11. Яремко О. Є. Процеси метаболізму в рослинах родини *Aristolochiaceae*. *Студентська молодь і науковий прогрес в АПК* : тези доп. Міжнар. студент. наук. форуму, 26–28 верес. 2006 р. Львів, 2006. С. 5.

12. Ментух О., Яремко О., Антоняк Г. Показники процесів пероксидного окиснення ліпідів і антиоксидантного статусу клітин наперстянки. *Сучасний стан та перспективи розвитку біо- і агроценозів в умовах постійного техногенного забруднення* : тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. за результатами аспірант. і студент. досліджень, 19–20 жовт. 2006 р. Трускавець; Дрогобич, 2006. С. 66–70. (Автором частково проведено експериментальні дослідження та підготовлено текст до друку).

13. Антоняк Г., Яремко О. Показники якості води деяких артезіанських свердловин у системі господарсько-питного водопостачання Львівщини. *Шляхи підвищення ефективності використання агроресурсного потенціалу* : тези доп. Міжнар. наук.-практ. форуму, 23–25 верес. 2009 р. Львів, 2009. С. 66–70. (Автором виконано експериментальну частину, проведено аналіз отриманих результатів сумісно зі співавтором, підготовлено текст до друку).

14. Яремко О. Є. Доцільність використання біологічного виду *Lemna minor* у сільському господарстві України. *Екологічні проблеми сільськогосподарського виробництва* : тези доп. IV Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених, 1–4 черв. 2010 р. Сколе, 2010. С. 166–168.

15. Яремко О., Антоняк Г. Ряска мала (*Lemna minor* L.) як кормова добавка в годівлі сільськогосподарських тварин. *Перспективні напрями розвитку галузей АПК і підвищення ефективності наукового забезпечення агропромислового виробництва* : тези доп. II Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, 15–16 верес. 2010 р. Тернопіль, 2010. С. 131. (Автором проаналізовано літературні джерела, сумісно зі співавтором сформульовано висновки).

16. Яремко О., Костюк О. Оцінка забезпечення населення якісною питною водою. *Студентська молодь і науковий прогрес в АПК* : тези доп. Міжнар. студент. наук. форуму, 22–24 верес. 2010 р. Львів, 2010. С. 49. (Автором проведено аналіз отриманих результатів).

17. Антоняк Г., Яремко О., Костюк О. Оцінка забезпечення населення якісною питною водою. *Наукові і практичні аспекти агропромислового виробництва та розвитку сільських регіонів* : матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму, 22–24 верес. 2010 р. Львів, 2010. С. 16–20. (Автором виконано експериментальну частину, сумісно зі співавторами сформульовано висновки).

18. Яремко О. Є. Еколого-біохімічні особливості метаболізму рослин роду ряска (*Lemna* L.). X Український біохімічний з'їзд, 13–17 верес. 2010 р. : тези доп. Одеса, 2010. С. 259.

19. Яремко О. Є., Антоняк Г. Л. Екологічний моніторинг деяких водних об'єктів Львівської і Волинської областей. *Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування* : тези доп. III Міжнар. наук.-практ. студент. конф., 16–17 лист. 2010 р. Львів, 2010. С. 82–83. (Автором виконано експериментальну частину, проведено аналіз отриманих результатів сумісно зі співавтором, підготовлено текст до друку).

20. Яремко О. Е., Антоняк Г. Л. Перспективы использования ряски (*Lemna minor* L.) в сельском хозяйстве. *Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды* : тез. докл. IV Междунар. науч. конф., 12–17 сент. 2011 г. Минск, 2011. С. 212. (Автором проаналізовано літературні джерела, сумісно зі співавтором сформульовано висновки).

21. Yaremko O. E., Antonyak H. L. The using of duckweed (*Lemna minor* L.) in the feeding of farm animals. *Fizjologia i biochemia w żywieniu zwierząt* : VIII konferencja młodych badaczy, 19–20 wrzes. 2011 г. Warszawa, 2011. S. 107–108. (Автором проаналізовано літературні джерела, сумісно зі співавтором сформульовано висновки, підготовлено текст до друку).

22. Яремко О., Антоняк Г. Ряска мала (*Lemna minor* L.) – цінна кормова рослина. *Роль науки у підвищенні технологічного рівня і ефективності АПК України* : тези доп. II Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, 16–18 трав. 2012 р. Тернопіль, 2012. С. 181–183. (Автором проаналізовано літературні джерела, сумісно зі співавтором сформульовано висновки).

23. Яремко О. Є. Екологічні аспекти використання рослини ряска мала (*Lemna minor* L.) в сільському господарстві. *Агропромислове виробництво України – стан та перспективи розвитку* : матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених і спеціалістів, 31 трав. – 1 черв. 2012 р. Кіровоград, 2012. С. 97–99.

24. Яремко О., Антоняк Г. Використання рослин роду ряска (*Lemna minor* L.) у кормовиробництві. *Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій* : матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму, 18–21 верес. 2012 р. Львів, 2012. С. 76–79. (Автором проаналізовано літературні джерела, сумісно зі співавтором сформульовано висновки).

25. Бубис О. Є., Антоняк Г. Л. Перспективи використання ряски малої (*Lemna minor* L.) у тваринництві. *Чисте місто. Чиста ріка. Чиста планета* : тези доп. 5-го Міжнар. екол. форуму, 21–22 лист. 2013 р. Херсон, 2013. С. 437–439. (Автором проаналізовано літературні джерела, сумісно зі співавтором сформульовано висновки).

26. Бубис О., Антоняк Г. Вплив важких металів на активність супероксиддисмутази і каталази в клітинах ряски (*Lemna minor* L.). *Молодь і поступ біології* : тези доп. X Міжнар. наук. конф. студентів та аспірантів. Львів, 2014. С. 103–104. (Автором виконано експериментальну частину, підготовлено текст до друку).

27. Ланчевич Г., Шеремета М., Бубис О. Екологічна характеристика ріки Дністра у районі міста Миколаєва (Львівська область). *Молодь і поступ біології* : тези доп. XI Міжнар. наук. конф. студентів і аспірантів, 20–23 квіт. 2015 р. Львів : СПОЛОМ, 2015. С. 256–257. (Автором проаналізовано літературні джерела, сумісно зі співавторами сформульовано висновки).

28. The present state of water resources in Lviv region. T. V. Bahday, O. E. Bubys, T. V. Kordosh, O. J. Dumych, O. N. Savytska, H. L. Antonyak. *Ресурси природних вод Карпатського регіону (проблеми охорони та раціонального використання)* : матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф., 28–29 трав. 2015 р. Львів, 2015. С. 6–7. (Автором сформульовано висновки сумісно зі співавторами).

АНОТАЦІЯ

Бубис О. Є. Екотоксикологічні механізми впливу важких металів на процеси метаболізму в клітинах рослин плейстофітону. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія». – Львівський національний аграрний університет Міністерства освіти і науки України, Львів, 2018.

У дисертаційній роботі вперше описано результати дослідження змін у процесах антиоксидантної системи рослин плейстофітону на прикладі виду *Lemna minor* за умов забруднення водного середовища іонами важких металів, а саме: Плюмбуму, Кадмію, Хрому (VI). Встановлено, що адаптація рослин плейстофітону до забруднення водою важкими металами відбувається внаслідок змін у процесах антиоксидантного метаболізму.

Новизною у роботі є проведений аналіз порівняння антиоксидантного потенціалу різних видів представників *Lemnoideae* – *Lemna minor* та *Spirodela polyrhiza*.

Подальший розвиток отримали дослідження як аналізування активності ферментів у рослинах ряски малої (*Lemna minor* L.), яку можна застосовувати для оцінки стану водойм як середовища життя плейстофітів, а саму рослину – як тест-об'єкт у методах фітоіндикації.

Запропоновано ввести рослину ряску малу до системи аквакультування в агропромисловому комплексі України для забезпечення біокормом галузі тваринництва та біофільтром – сфери водоочистки.

Ключові слова: важкі метали, плейстофітон, біоіндикація, антиоксидантна система, ряска мала, ферменти, біотестування, гідроекосистема, фітомоніторинг, біокорм, біофільтр.

ABSTRACT

Bubys O. Ye. Ecotoxicological mechanisms of impact of heavy metals on metabolism processes in the cells of pleustophyton plants. – On the rights of manuscript.

The dissertation for the scientific degree of Candidate of Agriculture on the specialty 03.00.16 “Ecology”. – Lviv National Agrarian University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2018.

The dissertation describes results of the research concerning changes in the processes of antioxidant system of pleustophyton plants on the example of *Lemna minor* variety under conditions of water environment pollution with ions of heavy metals, particularly plumbum, cadmium, chrome (VI). It is argued that adaptation of pleustophyton plants to water contamination with heavy metal happens due to some changes in the processes of antioxidant metabolism.

Novelty of the work is in the performed comparative analysis of antioxidant potential of different kinds of the representatives of *Lemnoideae* – *Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza*.

The research confirms that the defined particularities of adaptation reactions of duckweed are of informative character for assessment of the level of toxic pollution of water environment, caused by heavy metals. The paper specifies typical peculiarities of the processes of peroxide oxidation of lipids and conditions of antioxidant system, as well as seasonal particularity in the intensity of synthesis of enzymes molecules, engaged in detoxification of active forms of oxygen, including superoxide-anion of the radical and hydrogen of peroxide in the cells of water microphytes during the vegetation period. The determined seasonal dynamics of the components of antioxidant system of plants can be forced by the changes of physiological and phytohormonal conditions in the period from spring to autumn, as well as by a different level of creation of oxygen active forms in the cells under the impact of environmental factors.

The work improves approaches to analysis of the impact of heavy metals on metabolic processes in the cells of pleustophytes: adaptation, bio-indicative and phytoremediation potential of the plants of duckweed kind. A low level of Cd^{2+} , Pb^{2+} and

$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ forces activation of superoxide dismutase and catalase, as one of adaptation reactions to income of ions into cells and their pro-oxidant effect. A high concentration of metals depresses enzymes' activity.

The thesis assesses ecological conditions of water objects on the territory of Dubliany town and conditions of water in the central water supply system of the town. The work has improved monitoring of ecological conditions of water objects on the territory of Lviv and Volyn regions with different levels of anthropogenic load according to the indicators of water quality of surface and ground waters. A complex of methods and system approach to investigation of the problem of water purity secures an adequate assessment of the conditions of water objects, water plants and possible threats from consumption of contaminated water or polluted phytomass of pleustophyton by agricultural animals, particularly poultry.

The following schemes have been deeper developed, i.e. study concerning the analysis of ferments' activity in the plants of little duckweed (*Lemna minor* L.), which can be applied for assessment of the conditions of waters as life environment for pleustophytes, and the very plants can be used as test-objects in the methods of phyto-identification; introduction of methodic approaches, which can be used for ecological assessment and bio-identification of the conditions of fresh water bodies of Ukraine, in monitoring programs of preservation and protection of biodiversity of water resources.

Resistance of the antioxidant system of duckweed cells to inhibitory action of cadmium, lead and chrome (VI) in a wide range of concentrations can be of crucial importance for remediation properties of the plants, particularly ability to accumulate the elements in case of their presence in natural bodies of water and purification of the water from heavy metals.

The work proposes to introduce the plant of little duckweed into the system of aquacultivation in agro-industrial complex of Ukraine for supply of animal breeding industry with bio-forage and the sphere of water-purification – with a biological filter. The duckweed can be easily grown at farms, also with application of sewage waters of animal farms. Thus, application of the plant biomass (under conditions of analysis of their chemical contents) in feeding of animals can supply an economic effect in poultry breeding.

Key words: heavy metals, pleustophyton, bio-identification, antioxidant system, little duckweed, enzymes, bio-testing, hydroecosystem, phyto-monitoring, bio-forage, biological filter.

АННОТАЦИЯ

Бубис О. Е. Экотоксикологические механизмы влияния тяжелых металлов на процессы метаболизма в клетках растений плейстофитона. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 03.00.16 «Экология». – Львовский национальный аграрный университет Министерства образования и науки Украины, Львов, 2018.

В диссертационной работе впервые описаны результаты исследования изменений в процессах антиоксидантной системы растений плейстофитона на примере вида *Lemna minor* в условиях загрязнения водной среды ионами тяжелых металлов, а именно: Свинца, Кадмия, Хрома (VI). Установлено, что адаптация растений плейстофитона к загрязнению водоемов тяжелыми металлами осуществляется путем изменений в процессах антиоксидантного метаболизма.

Новизной в работе является проведенный анализ сравнения антиоксидантного потенциала различных видов представителей *Lemnoideae* – *Lemna minor* и *Spirodela polyrhiza*.

Дальнейшее развитие получили исследования как анализ активности ферментов в растениях ряски малой (*Lemna minor* L.), которую можно применять для оценки состояния водоемов как среды жизни плейстофитов, а само растение – как тест-объект в методах фитоиндикации.

Предложено ввести растение ряску малую в систему аквакультивирования в агропромышленном комплексе Украины для обеспечения биокормом отрасли животноводства и биофильтром – сферы водоочистки.

Ключевые слова: тяжелые металлы, плейстофитон, биоиндикация, антиоксидантная система, ряска малая, ферменты, биотестирование, гидроэкосистема, фитомониторинг, биокорм, биофильтр.

Підписано до друку 4 травня 2018 р. Папір офс. Гарнітура «Times New Roman».

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. № 189.

Друк СПДФО Марусич М.М.
Свідоцтво №1252 від 30.12.1996
м. Львів, пл. Осмомисла, 5/11
тел/факс: (032) 261-51-31.
e-mail: interprint-m@ukr.net