ВІДГУК

офіційного опонента Кияк Наталії Ярославівни
на дисертаційну роботу Шахова Івана Валерійовича
«Механізми стрес-протекторної дії γ-аміномасляної кислоти на зернові злаки», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія»

Актуальність дисертаційної роботи. Глобальна проблема продовольчої безпеки, зумовлена зростанням населення планети, суттєво ускладнюється погіршенням умов навколишнього середовища та наслідками глобальних змін клімату. Прискорення індустріалізації та урбанізації створюють серйозні виклики для стабільного функціонування агроекосистем, де абіотичні стреси (посуха, засолення ґрунтів, підвищені температури) спричиняють вагомі щорічні втрати врожайності сільськогосподарських культур. Для пом'якшення наслідків дії цих чинників традиційні селекційно-генетичні методи часто виявляються занадто тривалими, що актуалізує стратегію застосування кліматично оптимізованих агротехнологій.

Важливою складовою таких підходів є використання фізіологічно активних речовин нового покоління, здатних цілеспрямовано регулювати клітинний метаболом й індукувати адаптивні реакції рослин. В останні роки особлива увага дослідників зосереджена на вивченні рослинних нейротрансмітерів, серед яких ключове місце займає γ-аміномасляна кислота (ГАМК). Ця сполука поєднує властивості стресового метаболіту і сигнального біорегулятора, накопичуючись у рослинах за несприятливих умов. Проте, незважаючи на широку феноменологію її захисної дії, знання про молекулярні механізми впливу ГАМК залишаються переважно емпіричними.

Актуальність дисертаційного дослідження І.В. Шахова зумовлена необхідністю з'ясування функціональних взаємозв'язків ГАМК із ключовими клітинними сигнальними месенджерами – активними формами оксисену, іонами кальцію та нітроген оксидом. Варто відзначити, що дотепер не було сформовано цілісної картини, яка би пояснювала вплив ГАМК на водний режим, антиоксидантну та осмопротекторну системи зернових злаків. Також вимагають детального вивчення і прикладні аспекти впливу цієї фізіологічно активної сполуки: порівняльна ефективність праймінгу насіння та фаліарної обробки й здатність ГАМК покращувати схожість старіючих зернівок злаків.

Таким чином, робота, спрямована на теоретичне обґрунтування та розробку методів застосування ГАМК у рослинницькій агробіотехнології, є своєчасною та має важливе наукове та практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами НДР. Дисертаційне дослідження виконувалося в рамках проєктів 14.00.02.05Пк

«Розроблення тест-системи для скринінгу стрес-протекторної дії нових фізіологічно активних речовин на зернові злаки» (№ держреєстрації 0123U100486) і 14.00.02.06П «Розробка методів праймінгу насіння зернових злаків дією донорів газотрансмітерів та сполук з гормональною активністю» (№ держреєстрації 0124U000126), згідно з Договором про наукову співпрацю між Державним біотехнологічним університетом та Інститутом рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, а також теми НДР кафедри землеробства та гербології Державного біотехнологічного університету «Регуляція адаптивних реакцій рослин з участю активних форм кисню і азоту та нейромедіаторів» (№ держреєстрації 0123U100582), що засвідчує інтеграцію досліджень у загальнодержавну систему науково-дослідних робіт, спрямованих на вирішення фундаментальних і прикладних завдань у галузі біології та розробку інноваційних метолів підвищення стресостійкості рослин.

Оцінка структури, змісту та обсягу дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, огляду літератури, опису об'єктів і методів досліджень, результатів власних досліджень (три експериментальні розділи), висновків та списку використаних джерел. У роботі подано 53 ілюстрації, що сприяє наочності поданого матеріалу. Перелік використаних джерел охоплює 237 найменувань, серед яких 234 – іноземні. Обсяг основного тексту дисертації – 198 стандартних сторінок.

Назва роботи відповідає її змісту.

У **«Вступі»** здобувачем обґрунтовано вибір теми дослідження та її актуальність, чітко сформульовано мету та конкретні завдання, а також визначено об'єкт, предмет та комплекс сучасних методів дослідження. Детально висвітлено наукову новизну, наукове значення виконаного дослідження та практичне значення роботи, її зв'язок з науковими програмами, планами та темами НДР. Охарактеризовано особистий внесок здобувача та наведено дані про апробацію результатів на міжнародних і всеукраїнських конференціях, Описано публікації за темою дослідження та представлено загальну структуру й обсяг дисертаційної роботи.

Перший розділ оглядовий і містить три підрозділи. Здійснено ґрунтовний аналіз сучасних наукових досліджень про роль сигнальних месенджерів та стресових метаболітів у механізмах адаптації рослин до несприятливих абіотичних факторів. Детально розглянуто концепцію АФО-сигналінгу та охарактеризовано основні ферментативні системи генерації АФО, зокрема роль НАДФ-оксидази та механізми рецепції сигналів через окиснювальні посттрансляційні модифікації білків. У розділі проаналізовано шляхи синтезу важливого внутрішньоклітинного посередника – нітроген

оксиду, особливості S-нітрозування білків та участь газотрансмітера у регуляції антиоксидантного захисту й синтезу осмолітів.

Центральне місце в розділі присвячене ГАМК як сполуці, що поєднує функції стресового метаболіту та сигнального регулятора. Детально описано синтез ГАМК через ГАМК-шунт й альтернативні шляхи синтезу з поліамінів та проліну, а також феноменологію захисної дії ГАМК при екстремальних температурах, дефіциті вологи, засоленні. Особливої уваги заслуговує аналіз функціональних зв'язків ГАМК з АФО, NO та іонами кальцію. Аргументовано доведено, що попри накопичений значний масив емпіричних даних, знання про взаємозв'язки ГАМК з ключовими внутрішньоклітинними месенджерами, так само як і прикладні питання ефективності різних способів застосування ГАМК та її видоспецифічні ефекти залишаються відкритими.

У **другому розділі** дисертаційної роботи представлено ґрунтовну методологічну базу, яка стала основою для отримання достовірних наукових результатів. Охарактеризовано сорти пшениці та тритикале, підібрані за принципом контрастності щодо їх стресостійкості. Варто відзначити комплексний підхід до розробки дизайну експериментів, що поєднує фізіологічні методи оцінки росту та водного режиму з біохімічним аналізом редокс-гомеостазу (генерація АФО, вміст МДА) та активності захисних систем (ферменти антиоксидантного захисту, осмоліти, вторинні метаболіти). Важливою методологічною перевагою роботи є застосування інгібіторного аналізу із залученням специфічних скавенджерів АФО і нітроген оксиду, антагоністів кальцію та інгібіторів НАДФ-оксидази, що дозволило здобувачеві верифікувати участь сигнальних посередників у реалізації ефектів ГАМК. Статистична обробка результатів виконана на високому сучасному рівні із застосуванням дисперсійного аналізу (ANOVA), аналізу головних компонент (PCA) та кореляційного аналізу, що забезпечило високу репрезентативність та достовірність отриманих результатів.

У **третьому розділі** дисертації здобувачем представлено результати експериментальних досліджень, спрямованих на встановлення інтегральних ефектів впливу екзогенної γ-аміномасляної кислоти (ГАМК) на стійкість зернових злаків до ключових абіотичних чинників. Цей розділ є базовим для подальшого вивчення механізмів стрес-протекторної дії ГАМК, оскільки тут обґрунтовано вибір оптимальних концентрацій ГАМК та виявлено видові й сортові особливості реакції рослин. Автором уперше встановлено, що попередня інкубація проростків пшениці на розчинах ГАМК (0,5 та 1,0 мМ) достовірно підвищує їх виживаність після дії потенційно летального теплового стресу (+45°С). Доведено, що ГАМК пом'якшує дію модельної посухи на ріст пагонів та коренів проростків пшениці. Важливим науковим результатом є виявлений диференційований характер дії ГАМК, оскільки

найбільш виражений стрес-протекторний ефект зафіксовано на чутливому до посухи сорті Досконала, де препарат сприяв відновленню відносного вмісту води в тканинах майже до контрольних рівнів.

Варто відзначити, що здобувачем уперше досліджено вплив ГАМК на тритикале в умовах осмотичного, сольового та комбінованого стресів. Доведено, що ГАМК (0,5 мМ) суттєво підвищувала стійкість проростків у стресових умовах та забезпечувала підтримання водного гомеостазу в тканинах за умов посухи та сольового стресу. Представлені результати мають вагоме значення, оскільки переконливо доводять стрес-протекторний вплив ГАМК. Автором чітко визначено оптимальну концентрацію ГАМК (0,5 мМ), яку було обрано для подальших біохімічних досліджень. Логічна побудова розділу, використання ростових тестів та статистичне підтвердження результатів свідчить про достовірність отриманих результатів.

Четвертий розділ дисертації є центральною експериментальною частиною роботи, у якій здобувач здійснив глибокий аналіз фізіолого-біохімічних механізмів дії γ-аміномасляної кислоти. Автором уперше експериментально доведено, що індукування теплостійкості проростків пшениці дією ГАМК опосередковано сигналінгом за участю активних форм оксигену та іонів кальцію. За допомогою інгібіторного аналізу встановлено, що ГАМК спричиняє транзиторне підвищення вмісту гідроген пероксиду, що генерується за участю НАДФ-оксидази. Застосування антагоністів кальцію ЕГТА та неоміцину показало, що ефекти ГАМК можуть реалізовуватися й за участю кальцію, зокрема, вплив ГАМК на активність ферментів антиоксидантного захисту у проростках пшениці опосередкований змінами концентрації кальцію у цитозолі саме за рахунок його вивільнення із внутрішньоклітинних депо, а не за рахунок поглинання із зовнішнього середовища.

Дослідження впливу модельної посухи на проростки пшениці сортів Тобак та Досконала показало, що прояв стрес-протекторної дії ГАМК має диференційований характер, що дозволяє рослинам максимально ефективно реалізовувати власні адаптивні стратегії. Такі результати мають важливе значення для селекційної практики.

Уперше показано роль ГАМК в регуляції редокс-гомеостазу та накопичення осмолітів у проростків тритикале за умов модельної посухи, сольового стресу і комбінованої дії цих чинників. Протекторна дія ГАМК проявлялася в активації синтезу вторинних метаболітів, підвищенні активності антиоксидантних ферментів та збільшенні вмісту осмолітів. Особливу практичну цінність має підрозділ 4.3, де порівняно вплив праймінгу насіння та фоліарної обробки на посухостійкість пшениці. Аргументовано доведено, що праймінг насіння забезпечує більш стійкий

позитивний ефект на ріст, водний режим та збереження пулу фотосинтетичних пігментів, порівняно з фоліарною обробкою рослин.

Варто відзначити високий рівень статистичного аналізу, зокрема застосування методів багатовимірної статистики (PCA), дисперсійного аналізу, інтегративної візуалізації та кореляційного аналізу, що забезпечує обґрунтованість висновків та свідчить про високу кваліфікацію здобувача в питанні обробки біологічних даних.

П'ятий розділ дисертації є завершальною експериментальною частиною роботи, де автор переходить до вивчення прикладних та фундаментальних аспектів впливу γ-аміномасляної кислоти на проростання зернівок пшениці і тритикале. Цей розділ має наукову і практичну цінність, оскільки фокусується на праймінгу насіння зернових злаків, як ефективному підході застосування ГАМК для індукції стрес-протекторних реакцій рослин, а також для підсилення схожості насіння, яке має знижені посівні якості. Зокрема, автором доведено, що попередня обробка насіння пшениці ГАМК суттєво підвищувала енергію проростання та схожість насіння в умовах сольового та осмотичного стресів, що зумовлене зниженням рівня окиснювального пошкодження та накопиченням в органах проростків розчинних вуглеводів.

У цьому розділі представлено одну з найбільш вагомих наукових новацій роботи – вперше доведено NO-залежний характер дії ГАМК на проростання насіння в умовах посухи. Автор показав, що ГАМК-індукована стійкість пов'язана з її впливом на сигнальні процеси, до яких залучений нітроген оксид, і реалізується через зміни в метаболізмі вуглеводів (підвищення амілазної активності та, відповідно, накопичення цукрів у пагонах проростків) та синтез вторинних метаболітів (фенольних сполук й антоціанів). Варто відзначити, що роль NO як сигнального посередника у цих реакціях була доведена поєднанням трьох експериментальних підходів: використанням скавенджера нітроген оксиду, аналізом ендогенного вмісту NO у пагонах і відтворенням стрес-протекторних ефектів ГАМК обробкою насіння пшениці донором нітроген оксиду нітропрусидом натрію.

Здобувачем вперше виявлено здатність ГАМК покращувати посівні якості насіння пшениці та тритикале зі зниженою життєздатністю внаслідок тривалого зберігання. Автор аргументовано довів, що цей ефект є специфічним регуляторним впливом ГАМК, що призводив до послаблення окиснювального стресу та посилення функціонування окремих ензиматичних та неензиматичних компонентів антиоксидантної системи.

Загалом, необхідно відзначити, що матеріали розділу базуються на комплексному поєднанні фізіологічних ростових тестів із глибоким біохімічних аналізом. Використання кореляційних матриць та теплових карт

дозволило автору системно узагальнити зв'язки між сигналінгом та метаболічними змінами у клітинах.

Висновки дисертаційної роботи є логічним завершенням проведеного дослідження, у яких узагальнено результати вивчення механізмів стрес-протекторної дії γ-аміномасляної кислоти на зернові злаки. Вони повністю відповідають меті та завданням, розкривають наукову новизну роботи й відображають обсяг дослідження захисної дії ГАМК за впливу абіотичних стресів, яка базується на активації сигнальних мереж за участю активних форм оксигену, іонів кальцію та нітроген оксиду; фіксують специфіку фізіологічної реакції та роль основних клітинних захисних систем – антиоксидантної та осмопротекторної; доводять диференційований характер впливу ГАМК, що залежить від адаптивної стратегії сортів пшениці; підтверджують методологічні переваги праймінгу насіння розчинами ГАМК над фоліарною обробкою, що забезпечує послаблення окиснювального стресу, активацію ензиматичних компонентів антиоксидантної системи, зростання вмісту осмолітів; доводять ефективність застосування ГАМК для покращення посівних якостей старого насіння.

Загалом, структура дисертаційної роботи за своїм змістом та обсягом повністю відповідає сучасному рівню вимог до кваліфікаційних праць на присудження наукового ступеня доктора філософії. Результати проведених досліджень є достатніми, достовірними та належним чином обґрунтованими, а наукові положення, висновки та рекомендації, викладені в роботі є цілком аргументованими. Високий ступінь вірогідності отриманих результатів забезпечено використанням сучасних методів дослідження та застосуванням апарату багатовимірної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у суттєвому розширенні та поглибленні знань про фізіолого-біохімічні механізми реалізації стрес-протекторної дії γ-аміномасляної кислоти на зернові злаки. Вперше показано, що індукування теплостійкості проростків пшениці дією ГАМК опосередковано генерацією активних форм оксигену за участю НАДФ-оксидази. Із застосуванням інгібіторного аналізу вперше з'ясовано залучення іонів кальцію, що надходять у цитозоль з внутрішньоклітинних компартментів, в регуляцію утворення АФО і активності антиоксидантних ферментів.

Уперше обґрунтовано, що позитивний вплив праймінгу ГАМК на проростання зернівок пшениці в умовах осмотичного стресу реалізується за участю нітроген оксиду. Доведено, що цей сигнальний посередник забезпечує ГАМК-індуковані зміни в метаболізмі вуглеводів (активація амілази, накопичення цукрів) та стабілізацію пулу вторинних метаболітів – фенольних сполук та антоціанів.

Уперше здійснено комплексне дослідження реакції на екзогенну ГАМК міжродового гібрида – тритикале. Доведено ефективність ГАМК у підвищенні стійкості тритикале до посухи, засолення та їх поєднаної дії, що виражається у стабілізації водного гомеостазу, активації антиоксидантного захисту, накопиченні проліну, стабілізації пулу розчинних вуглеводів та посиленому синтезі фенольних сполук й антоціанів.

Уперше встановлено здатність праймінгу ГАМК стимулювати проростання насіння зі зниженими посівними якостями, що зумовлене здатністю ГАМК нівелювати інтенсивний окислювальний стрес, властивий для старіючих зернівок.

Загалом, отримані результати є вагомим внеском у розвиток фундаментальних основ застосування фізіологічно активних речовин для підвищення адаптивної здатності культурних рослин.

Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати. Теоретичні та практичні результати дисертації можуть бути впроваджені в освітній процес закладів вищої освіти для підготовки фахівців за спеціальностями 091 «Біологія» та 201 «Агрономія». Зокрема, матеріали дослідження доцільно використовувати у межах викладання профільних курсів, присвячених фізіології та біохімії рослин й адаптації рослинних організмів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено та обґрунтовано ефективні способи підвищення адаптивного потенціалу зернових злаків – пшениці та тритикале за допомогою праймінгу насіння розчинами ГАМК, що підвищує їх стійкість до осмотичних стресів як на етапі проростання насіння, так і на стадії вегетуючих рослин. Вперше здійснено порівняння способів внесення препарату та доведено, що праймінг насіння ГАМК забезпечує помітніші позитивні ефекти на ріст, водний режим, фотосинтетичний апарат та функціонування захисних систем, порівняно з фоліарною обробкою, що може бути важливим агробіотехнологічним прийомом для підвищення стійкості рослин до осмотичних стресів. Окрему цінність для селекції та насінництва має підтверджена можливість використання ГАМК як засобу для підвищення схожості насіння зі зниженими посівними якостями. Результати дослідження вже отримали практичну реалізацію та включені до трьох видань науково-методичних рекомендацій (2023; 2024; 2025 рр.), опублікованих Інститутом рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України за співавторства здобувача. Отримані дані можуть бути впроваджені у навчальний процес ЗВО для підготовки здобувачів за напрямами «Біологія», «Екологія», «Біотехнологія» та «Агрономія».

Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях. Матеріали дисертації достатньо повно представлено у 16 наукових публікаціях, у тому числі, 6 статей у наукових періодичних виданнях, що індексуються у наукометричній базі Scopus, 1 стаття у науковому фаховому виданні України, 6 тез доповідей на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях і 3 науково-методичні рекомендації.

Відповідність теми дисертації профілю спеціальності. Дисертація Шахова Івана Валерійовича повністю відповідає стандарту спеціальності 091 «Біологія», галузі знань 09 «Біологія».

Відсутність порушення академічної доброчесності. Дисертаційна робота Шахова Івана Валерійовича не містить порушення академічної доброчесності. Біоетичні норми при виконанні роботи не порушені.

Пропозиції та зауваження до дисертаційної роботи. Принципових недоліків у дисертаційній роботі Шахова І.В. не виявлено. Однак, є окремі запитання та зауваження, зокрема:

1. У Розділі 2 «Матеріали та методи досліджень» автор логічно та докладно обґрунтовує вибір сортів пшениці Досконала, Тобак, Етана, Скорпіон для досліджень за ознакою посухостійкості чи схожості насіння. Однак, для різних блоків досліджень (впливу ГАМК на стійкість пшениці до модельної посухи та теплового стресу, вивчення ефектів праймінгу та фоліарної обробки ГАМК, впливу праймінгу ГАМК на проростання зернівок пшениці) використовували різні сорти. Можливо, для формування цілісної моделі стрес-протекторної дії ГАМК, доцільно було би застосувати хоча би один сорт для виконання усіх завдань.
2. Згідно з описом методів дослідження, здобувач використовував комплексний статистичний аналіз, включаючи тест Тьюкі та критерій найменшої суттєвої різниці Фішера (LSD-тест) для множинних порівнянь, тому у підписах до рисунків доцільно конкретизувати статистичне значення літерних позначень над стовпцями чи точками графіків, що дозволило б уникнути неоднозначності при сприйнятті значного масиву експериментальних даних. Також для підсилення доказової бази та поглибленого підтвердження вірогідності отриманих результатів, у тексті експериментальних розділів доцільно було б вказувати, окрім рівня значущості ($p \leq 0,05$), інші додаткові параметри дисперсійного аналізу ANOVA зокрема, F-критерій, коефіцієнт детермінації η^2.
3. У роботі показано, що ГАМК забезпечує як універсальні, так і видоспецифічні захисні ефекти для досліджуваних злаків – пшениці та тритикале в умовах різних абіотичних стресів. Які ключові відмінності у функціонуванні стрес-протекторних систем досліджуваних видів?

4. У висновках дисертаційної роботи зафіксовано «диференційований прояв стрес-протекторної дії ГАМК, залежний від адаптивних стратегій конкретних сортів пшениці» (чутливого «Досконала» та стійкого «Тобак»). Як Ви можете охарактеризувати адаптивні стратегії досліджуваних сортів?

5. У «Висновках до розділу 4» (с. 128) автор дещо узагальнено формулює висновок щодо результатів інгібіторного аналізу впливу іонів кальцію, зазначаючи, що його антагоністи «тією чи іншою мірою модулювали ефекти ГАМК». Проте результати експериментів, наведені у підрозділі 4.1, містять достатньо фактологічного матеріалу для конкретизації механізму дії. У висновку варто було б акцентувати увагу на тому, що сигнальні ефекти ГАМК у проростків пшениці опосередковані змінами концентрації кальцію в цитозолі саме за рахунок його вивільнення із внутрішньоклітинних депо, а не через поглинання із зовнішнього середовища. Таке уточнення суттєво підсилило б наукову цінність отриманих даних щодо механізмів ГАМК-сигналінгу.

6. У розділі 5 в експериментах із впливом модельованої посухи та осмотичного стресу вміст показників окиснювального стресу (супероксидного аніон-радикалу, H_2O_2, МДА) розраховували на масу сирої речовини, тоді як активність антиоксидантних ферментів, вміст цукрів і проліну обчислювали з розрахунку на масу сухої речовини, що показує більш об'єктивні результати в умовах осмотичного стресу, який знижував вміст води в пагонах проростків пшениці, як показано на рис. 5.3. Доцільно уніфікувати обчислення отриманих даних.

7. У тексті дисертації трапляються деякі технічні помилки та термінологічні неточності:

- у першому розділі (стор. 50–51) спостерігається використання скорочених назв сполук українською та англійською мовами. Поряд із українськими абревіатурами (ГАМК, ЦТК, ГАМК-Т) використовуються англомовні відповідники глутаматдекарбоксилази (GAD) та дегідрогенази янтарного напівальдегіду (SSADH). Доцільно уніфікувати підхід до використання скорочень, що сприятиме покращенню логічної узгодженості та читабельності тексту;

- у дослідженнях ефектів впливу ГАМК на розвиток ПОЛ, у розділі 4.1 (стор. 91) автор вживає термін МДА (малоновий диальдегід), тоді як у розділі 4.2 – ТБК-активні продукти (стор. 95). Для забезпечення логічної наступності результатів варто уніфікувати термінологію.

- в експериментальній частині (стор. 98, рис. 4.9.В) представлено результати щодо вмісту флавоноїдів у пагонах проростків пшениці, однак

опис методики їх визначення у Розділі 2 «Матеріали та методи досліджень» відсутній.

Проте, вказані зауваження не є принциповими і не впливають на загальну високу оцінку наукової й практичної цінності результатів дисертаційної роботи.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Шахова Івана Валерійовича є завершеним самостійним науковим дослідженням, яке містить оригінальні результати, характеризується науковою новизною та має вагоме теоретичне і практичне значення для сучасної біологічної науки. Отримані автором експериментальні дані свідчать про те, що здобувач на високому професійному рівні опанував комплекс сучасних методів дослідження, проявив уміння глибоко аналізувати й об'єктивно оцінювати результати та формулювати ґрунтовні наукові узагальнення.

Вважаю, що дисертаційна робота пройшла належну апробацію, відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» від 12 січня 2017 року №40 (зі змінами, внесеними згідно з Наказом МОН України від 31.05.2019 р. № 759) та постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12 січня 2022 року № 44 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 3 травня 2024 року №507), а її автор Шахов Іван Валерійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 09 Біологія за спеціальністю 091 Біологія.

Офіційний опонент
доктор біологічних наук, старший науковий співробітник,
заступник директора з наукової роботи
Інституту екології Карпат
НАН України Наталія КИЯК

Підпис Наталії КИЯК засвідчую:

Учений секретар Інституту
екології Карпат НАН України
к.б.н., с.н.с. Володимир БІЛОНОГА

27 травня 2026 р.