

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету захисту рослин,
біотехнологій та екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри фізіології,
біохімії рослин та біоенергетики

_____ Коломієць Ю.В.
« ____ » _____ 2026 р.

_____ Прилуцька С.В.
« ____ » _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: «Розробка методики створення замкнутого біоценозу з
використанням базальтових та вуглецевих структур»

Спеціальність 162 **«Біотехнологія та біоінженерія»**

Освітньо-професійна програма **«Біотехнологія та біоінженерія»**

Гарант освітньої програми

Кандидат біологічних наук, доцент _____

Олена КВАСКО

Керівник бакалаврської

кваліфікаційної роботи

доктор біологічних наук, професор _____

Світлана ПРИЛУЦЬКА

Виконав

_____ **Нікіта ОЛЕЙНІКОВ**

Київ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
фізіології, біохімії рослин та біоенергетики
д.б.н., проф.
Світлана ПРИЛУЦЬКА
«__» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Здобувачу

Олейнікову Нікіті Максимовичу

Спеціальність: 162 **«Біотехнології та біоінженерія»**

Освітньо-професійна програма: **«Біотехнології та біоінженерія»**

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: **«Розробка методики створення замкненого біоценозу з використанням базальтових та вуглецевих структур»**

Затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» жовтня 2025 року № 2596 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 31 травня 2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: горох посівний *Pisum sativum*, базальтового борошно, борошно вулканічного туфа, двічі активоване вугілля

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Виявлення основних функціональних характеристик експериментальної ґрунтосуміші
2. Проростити та виростити протягом 14 дію виростити насіння гороху посівного *Pisum sativum* в різних ґрунтах включаючи експериментальний
3. Дослідити основні показники росту досліджуваних рослин

Перелік графічних документів: рисунки, таблиці

Дата видачі завдання: «30» жовтня 2025 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

Світлана ПРИЛУЦЬКА

Завдання взяв до виконання

Нікіта ОЛЕЙНІКОВ

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота представлена на 50 сторінках формату А4, містить 6 таблиць, 21 рисунок, 24 використаних джерела.

Ключові слова: ЗАМКНЕНИЙ БІОЦЕНОЗ, «ШТУЧНИЙ ҐРУНТ», БАЗАЛЬТОВЕ БОРОШНО, ТУФ, ВУГЛЕЦЕВІ СОРБЕНТИ, ПІГМЕНТИ, *PISUM SATIVUM*.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю у відновленні орних земель України, які частково є забруднені, зруйновані родючі шари ґрунту, а деякі заміновані. Використання хімічних добрив для підвищення родючості земель негативно впливатимуть на екологічний стан довкілля, який і так знаходиться в жахливому стані.

Метою дослідження є обґрунтування доцільності використання складових ґрунту на основі базальту та туфу з додаванням спеціальних вуглецевих сорбентів.

Об'єктом дослідження є технологія створення та оцінка ефективності використання штучного ґрунту для створення замкненого біоценозу.

Предметом дослідження є насіння гороху *Pisum sativum*, експериментальна ґрунтосуміш (базальтове борошно, вулканічний туф, двічі активоване вугілля, вермикомпост і біоактиватор)

Методами дослідження є морфометричний аналіз рослин гороху та спектрофотометричний метод оцінки вмісту пігментів. Для обґрунтування переваг запропонованого ґрунту дослідження проводилися з рослинами вирощеним на інших ґрунтах – лісний ґрунт, взятий з віддаленої від урбанізації точки у Голосіївському лісі та торф'яна ґрунтосуміш COMPO SANA.

Рекомендації до використання полягають у тому, що розроблений склад а ґрунтової суміші, який складається лише з екологічно чистих матеріалів і може використовуватися на території України та за її межами для відновлення та створення ґрунтів.

ABSTRACT

This bachelor's thesis consists of 50 A4 pages and includes 6 tables, 21 figures, and 24 references.

Keywords: CLOSED BIOCECENOSIS, "ARTIFICIAL SOIL," BASALT FLOUR, TUFF, CARBON SORBENTS, PIGMENTS, PISUM SATIVUM.

The relevance of this work stems from the need to restore Ukraine's arable lands, which are partially contaminated, have destroyed fertile soil layers, and in some cases are mined. The use of chemical fertilizers to increase soil fertility will negatively impact the ecological state of the environment, which is already in a dire condition.

The aim of the study is to justify the feasibility of using soil components based on basalt and tuff with the addition of special carbon sorbents.

The object of the study is the technology for creating and evaluating the effectiveness of using artificial soil to create a closed biocenosis.

The subject of the study is *Pisum sativum* pea seeds and an experimental soil mixture (basalt flour, volcanic tuff, twice-activated carbon, vermicompost, and a bioactivator).

The research methods include morphometric analysis of pea plants and a spectrophotometric method for assessing pigment content. To substantiate the advantages of the proposed soil, studies were conducted with plants grown in other soils—forest soil taken from a location remote from urbanization in the Holosiivskyi Forest and the COMPO SANA peat soil mixture.

Recommendations for use are that the developed soil mixture, which consists solely of environmentally friendly materials, can be used within Ukraine and beyond its borders for soil restoration and creation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	11
1.1. Етапи відновлення орних земель	11
1.2. Аналіз методів відновлення родючості землі	13
1.2.1. Метод сидерації.....	13
1.2.2. Метод фіторемедіації.....	13
1.2.3. Метод хімічної меліорації	14
1.3. Принципи створення замкненого біоценозу	14
1.4. Вуглецеві сорбенти на основі двічі активованого вугілля	15
Висновки до першого розділу	16
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ	17
2.1. Базальт та базальтове борошно	17
2.2. Вулканічний туф	20
2.3. Оцінка Морфометричних показників рослин.....	23
2.4. Оцінка вмісту пігментів за використання спектрофотометричного аналізу	25
2.5. Протокол експерименту.....	27
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
3.1. Дослідження росту <i>E. coli</i>	35
3.2. Обґрунтування вибору складових експериментального грунтосуміші.....	35
3.3. Морфометричні показники у рослин гороху вирощених на суміші ґрунту різного складу.....	38

3.4. Вміст фотосинтетичних пігментів у рослин гороху вирощених на суміші ґрунту різного складу.....	39
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47

ВСТУП

Оскільки земельний ресурс є провідним для економіки України, важливим є пошук та розробка різних біотехнологічних підходів щодо відновлення та збагачення цього ресурсу. На сьогодні із-за бойових дій приблизно 25% орних земель стали непридатними для використання. Така ситуація наносить суттєвий удар не лише економіці України, а всій екосистемі в цілому. Якщо питання не буде вирішуватися, то Україна може втратити свій потенціал в галузі виробництва сільськогосподарської продукції. З іншого боку, розвиток сучасних біотехнологій надає можливість перетворювати матеріали, що знаходяться в надрах землі на сировину для створення «штучного ґрунту».

Актуальність теми обумовлена тим, що для відновлення родючості земель України слід застосовувати спеціальну методику, що включає в себе послідовні етапи, зокрема, процес створення закритого біоценозу на основі використання спеціального ґрунту та аналіз ефективності його використання для вирощування дослідних рослин. Акцентування уваги на екологічних натуральних складових зумовлене розвитком базальтового напрямку в виробництві та унікальністю їх властивостей.

Метою дослідження є обґрунтування доцільності використання складових ґрунту на основі базальту та туфу з додаванням спеціальних вуглецевих сорбентів. Основним напрямком цього дослідження є розроблення власної унікальної методики створення штучного ґрунту з використанням дрібних фракцій твердих порід мінералів, що добуваються в різних територіальних зонах України.

Завдання дослідження:

- Проаналізувати сучасні літературні дані щодо створення «штучних ґрунтів».
- Дослідити термічні та абсорбуючі властивості складових матеріалів експериментальної ґрунтосуміші для оцінки ефективності їх використання.

- Оцінити можливості використання базальтового борошна та туфа з Рафалівського кар'єру (Україна).
- Запропонувати методику виготовлення субстрату для створення замкнутого біоценозу.
- Провести експериментальний моніторинг якості росту рослин на досліджуваному ґрунті.
- Зробити порівняльний аналіз з рослинами, що вирощені на інших видах ґрунту.
- Оцінити показники фізіологічного стану, вирощених на експериментальних та інших ґрунтах, рослин гороху за вмістом фотосинтетичних пігментів

Об'єктом дослідження стала технологія створення та оцінка ефективності використання штучного ґрунту для створення замкнутого біоценозу.

Відносно поданої наукової роботи застосовано наступні **методи дослідження:**

- загальний метод наукового пізнання за аналізом літературних джерел щодо створення спеціальних ґрунтів для замкнутого біоценозу;
- експериментальний метод підбору для створення оптимального складу субстрату для вирощування ніддослідних рослин;
- оцінка морфометричних показників рослин — висота рослини, довжина кореню, діаметр пагона, кількість листків, маса рослини і маса листків
- оцінка вмісту пігментів за використання спектрофотометричного методу
- порівняльний аналіз для визначення переваг та недоліків запропонованої методики з іншими.
- метод узагальнення було використано для окреслення перспектив використання даної методики для створення оптимальних умов реалізації замкнутого біоценозу.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень був створений субстрат, який може масштабуватися у різні сфери, що пов'язані з вирощуванням рослин.

Дослідження проводилося за допомогою експериментальних досліджень, аналізу з використанням ІІІ, наукової літератури, прикладів наявних аналогів.

Елементи наукової новизни одержаних результатів представлено у вигляді розробленого унікального складу штучного субстрату з використанням екологічних матеріалів. Створення такого матеріалу для «штучного ґрунту» стало можливим завдяки сучасним технологіям перетворення базальту у борошно з різними розмірами частинок. Поєднання базальтових та вуглецевих складових дозволяє частково вирішити питання очищення ґрунту та частково відновити водний баланс під час посухи. Ця методика має право називатися оригінальною, оскільки поєднує в собі нові матеріали вітчизняного виробництва та продукт наукових розробок в галузі вуглецевих сорбентів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості частково відновити орні землі України шляхом масштабування даної методики, а також покращити умови вирощування рослин в теплицях з обмеженими об'ємами ґрунтів. Користь представленої роботи полягає у можливості розвитку рослинництва в місцях, що вважалися непридатними для цього.

Апробація результатів дослідження. Участь в:

- Всеукраїнському конкурсі стартапів «Кращий стартап КНУТД» з отриманням 2-го призового місця (сертифікат Додаток А),
- XXII Міжнародна спеціалізована виставка "Технології Захисту/Пожтех".
- Міжнародній конференції та виставці "Актуальні проблеми та інноваційні технології у сфері цивільного захисту, екологічної безпеки, гуманітарного розмінування та захисту критичної інфраструктури" (9-10 грудня 2025 р)
- Олейніков Н., Прилущка С. В., Вплив мінерально-органічного субстрату на основі базальту та вулканічного туфу на фізіологічний стан і стійкість рослин, Збірник тез V Всеукраїнської науково-практичної конференції

здобувачів вищої освіти, присвяченій 128-річчю НУБіП України с 251-252
2026 р

Структура роботи. Дипломна бакалаврська робота складається з вступу, трьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Етапи відновлення орних земель

Кількість орних земель на території України зменшилися внаслідок постійних атак збоку ворога, а частина з них знаходиться під окупацією.

Відновлення таких земель розділяється на 3 етапи (рис. 1.1).

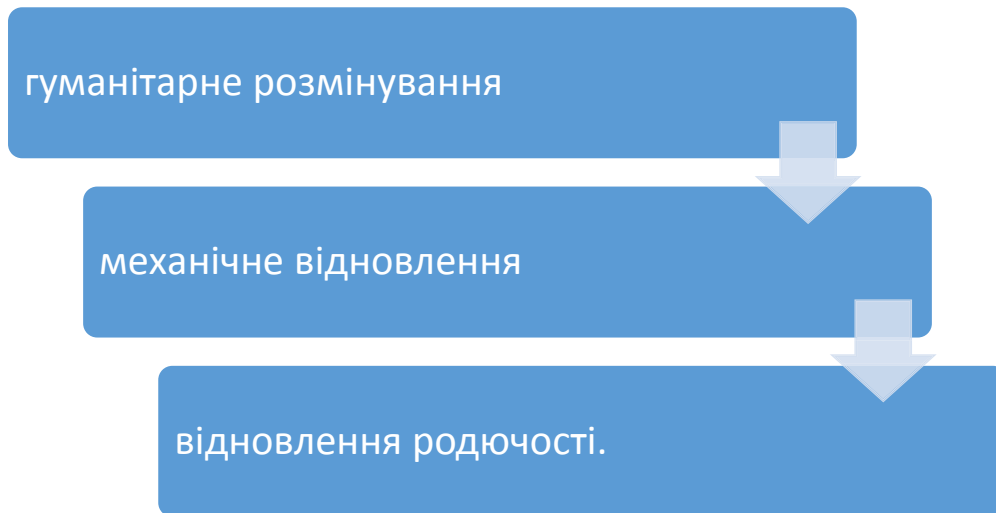


Рис. 1.1. Етапи відновлення земель, непридатних для росту рослин

Перший етап відновлення ґрунтів - це гуманітарне розмінування. Це комплекс заходів, спрямованих на повну ліквідацію небезпек, пов'язаних із вибухонебезпечними предметами, щоб зробити територію придатною для безпечного життя та господарського використання [1]. На відміну від оперативного розмінування, гуманітарне має на меті не лише знешкодження мін, а й надання офіційної гарантії безпеки на очищених землях. Воно проходить у 6 етапів. Першим етапом є пошук і знищення боєприпасів одразу після обстрілів, другим - розблокування об'єктів життєзабезпечення. Третій етап це збір даних про ймовірне забруднення без безпосереднього втручання. Четвертий - детальне дослідження підозрілих ділянок за допомогою технічних засобів. І останні це безпосереднє розмінування і зовнішній контроль якості.

Другим етапом є механічне очищення орних земель, що розпочинається з повного вилучення твердих військових відходів, таких як уламки боєприпасів, пошкоджена техніка та залишки вибухових пристроїв, що мають здійснювати спеціалізовані організації для мінімізації ризиків довгострокового забруднення [2]. Важливим складником цього етапу є відновлення фізичної цілісності рельєфу шляхом ліквідації вирв від вибухів авіабомб та снарядів, засипання траншей, капонірів та нівелювання насипних фортифікаційних споруд, які руйнують послідовність ґрунтових горизонтів. Лише повне вирівнювання поверхні дозволяє відновити цілісність ландшафту, забезпечити безпечну роботу сільськогосподарської техніки та підготувати ділянку до подальшої технічної рекультивації.

Наступним критичним завданням є боротьба з ущільненням ґрунту, спричиненим інтенсивним рухом важкої гусеничної та колісної техніки, яка руйнує структуру верхнього шару і створює глибокі колії, що часто призводять до перезволоження місцевості. Для відновлення здатності ґрунту пропускати повітря, воду та поживні речовини використовують метод чизелювання. Це метод обробки ґрунту за допомогою чизельного плуга, глибокорозпушувача. Цим методом руйнується утрамбований шар землі, що утворився після багаторічної обробки плугом, а також військової техніки. Метод покращує структуру землі, забезпечує доступ повітря та доступ до корисних мікроелементів для кореневої системи рослин. Однак це енергозатратний процес, а його використання є дуже ризиковане на післявоєнних територіях [3]. Крім того, на місцях стоянок або ремонту техніки проводять фізичну детоксикацію, щоб видалити розливи паливно-мастильних матеріалів та оливи, які знищують мікроорганізми та здатність ґрунту до самовідновлення. Ці заходи створюють необхідну базу для переходу до фінального етапу - біологічного відновлення родючості земель. Дана робота націлена на розробку методу для відновлення родючості ґрунту, тому для прикладу було наведено методи відновлення родючості землі та їх недоліки.

1.2. Аналіз методів відновлення родючості землі

Внесення органічних добрив - класичний метод повернення гумусу та мікрофлори у ґрунт. За такою методикою відновлення активності бактерій швидке, а також покращується структура ґрунту. Але в зв'язку з повномасштабним вторгненням сильно скоротилось поголів'я худоби, а транспортування таких добрив є занадто дорогим [4].

1.2.1. Метод сидерації

Сидерація - це агротехнічний метод, що полягає у вирощуванні спеціальних рослин-сидератів з подальшим заорюванням їх у ґрунт як зеленого добрива. Рослинами-сидератами є: люпин, гірчиця, фацелія, конюшина чи жито. Такий метод широко застосовується в органічному землеробстві для підвищення родючості ґрунту, покращення його структури, збагачення органічними речовинами та поживними елементами, зокрема азотом. Сидерати також допомагають зменшити ерозію ґрунту, пригнічують бур'яни, покращують водний і повітряний режим ґрунту та сприяють активізації корисних мікроорганізмів, що позитивно впливає на врожайність сільськогосподарських культур [5]. Однак відновлення йде більше одного сезону під час якого землю не можна використовувати. Але цей метод є дуже небезпечним, при недотриманні якості роботи першого етапу відновлення, а саме - гуманітарного розмінування.

1.2.2. Метод фітореMediaції

ФітореMediaція - метод очищення ґрунтів, вод і повітря від забруднень за допомогою зелених рослин. Базується на принципі аккумуляції рослинами токсинів з подальшим розщепленням/зв'язуванням. Рослини гіперакумулятори - рослини, що можуть рости на ґрунтах, багатих на важкі метали і відповідно поглинають велику кількість цих металів під час періоду вегетації без прояву

жодних ознак фітотоксичності. До таких рослин належать: міскантус (*Miscanthus giganteus*), гірчиця (*Brassica juncea* L.), гречка звичайна (*Fagopyrum esculentum* Moench), рицина (*Ricinus communis* L.), сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), горох (*Pisum sativum* L.) і кіноа (*Chenopodium quinoa* Willd). Однак урожай який отримується є дуже токсичним, а на відновлення даним методом піде більше 3 років [6].

1.2.3. Метод хімічної меліорації

Хімічна меліорація - метод, що базується на комплексному внесенні меліорантів для докорінного поліпшення ґрунту, що в результаті підвищить продуктивність сільськогосподарських культур. У принципі лежить заміна катіонів у складі ґрунтового комплексу. Однак для вдалої реалізації цього методу потрібне дуже чітке дослідження ґрунтів для внесення відповідної дози, що не погіршить ситуацію [7].

Також варто враховувати, що найголовніші експортні культури України є досить вимогливими до ґрунтів. Беручи соняшник, як приклад, він потребує дуже багато поживних речовин, а також доволі багато води, після чого ґрунт є дуже виснаженим. Також кукурудза, головний експортний об'єм, є залежною від азоту та вологи, без якої вона втрачає 50% врожаю. І продовольчою базою є озима пшениця, що займає найбільші площі в країні - потребує стабільний фосфор і нейтральну кислотність, яка є складною умовою для підтримання за рахунок окислення ґрунтів залишками від снарядів та палива [8].

1.3. Принципи створення замкненого біоценозу

Замкнений біоценоз - це екологічна система, яка майже не обмінюється поживними речовинами з зовнішнім середовищем але залишається відкритою для отримання енергії, в випадку з рослинами - сонячне випромінювання. Підтримання життя замкненого біоценозу напряму залежить від її здатності ефективно використовувати і переробляти наявну матерію [9].

Жодна жива система не може існувати без постійного припливу енергії. Оскільки поняття замкненої системи виключає надходження будь-якої маси і, відповідно, енергії, що за законами фізики та термодинаміки є еквівалентними поняттями, ентропія такої системи завжди зростає. З точки зору біології ріст рослин можливий лише за рахунок зменшення ентропії в фізичній замкненій системі не може відбуватися розвиток біологічних об'єктів. За теорією сінергетики процес удосконалення, що є аналогом розвитку рослин, можливо лише у відкритих системах. Тому поняття закритого біоценозу не можна розглядати без включення до його складу сонячного світла та речовин, що знаходяться в атмосфері.

Колонки Виноградського [10] є класичним експериментом із закритими скляними колонами, заповненими мулом, де мікробні спільноти десятиліттями підтримують цикли елементів лише за рахунок світла. Узагальнюючи слід зауважити, що для створення моделі замкненого біоценозу достатньо створити ізольовану систему, в якій допускається наступні процеси. Кругообіг води реалізується через конденсацію, випаровування або інший механізм перетворення води. Доступ до світлового випромінювання в певному діапазоні частот забезпечується прозорістю матеріалів, що обмежують простір. Інші складові ґрунту та рослин обираються з врахуванням оптимального споживання енергії та матерії.

1.4. Вуглецеві сорбенти на основі двічі активованого вугілля

Одним з основних варіантів вуглецевих структур є сорбенти. Вуглецеві сорбенти – це речовини, які мають високий показник абсорбції різних речовин. Вуглецеві сорбенти утворюються за рахунок активації вуглецю. Всі вуглецеві сорбенти можуть розрізнятися, але при цьому виконувати три основні функції. Перша функція – це функція очищення води і повітря. Принцип роботи таких вуглецевих сорбентів базується на абсорбції шкідливих речовин з повітря та води, особливо що стосується важких металів, катіонів та різного виду

біологічних забруднень. Другий варіант застосування вуглецевих сорбентів полягає в створенні чистої води за рахунок абсорбції парів води з повітря. Такі сорбенти використовуються для отримання води в випадках посухи або якщо вода, що випадає у вигляді значних опадів має високий рівень забруднення. Третій варіант використання вуглецевих сорбентів полягає в акумуляції води за рахунок наявності великих пор, що утворюються на поверхні таких вуглецевих структур. Ця волога надалі може бути використана для живлення рослин.

Розглянемо механізм використання вуглецевих сорбентів в якості очисників води. Якщо сорбент розташувати на поверхні ґрунту, то а порах, що утворюються в процесі активації будуть знаходитися активні центри нуклеації [11]. Кластери води виникають навколо таких центрів за рахунок об'єднання молекул води.

Під час високої вологості повітря вуглецевий сорбент максимально поглинає воду, заповнюючи пори, що знаходяться на його поверхні. Будемо вважати, що в цей час концентрація води в сорбенті та тканинах кореня рослини будуть приблизно однакові. Під час посухи в коренях рослини створюється дефіцит води і концентрація води значно зменшується. Між концентрацією води у вуглецевому сорбенті і коренях рослини створюється велика різниця, тобто - градієнт концентрації. Завдяки механізму осмосу [12] та капілярними силами виникає потік маси води, що зазвичай описується законам Фіка. При незначних відстанях від сорбенту до волосків кореня, виникає явище дифузії зумовлене наявністю даного градієнту.

Висновки до першого розділу

З аналізу стану орних земель України можна зазначити, що є значна потреба у застосуванні ефективних методів їх покращення.

Описані основні етапи відновлення земельного ресурсу країни після наслідків військових дій на її території.

Проаналізовані можливі методи, що можна застосувати для реалізації третього етапу відновлення родючості ґрунтів.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1. Базальт та базальтове борошно

Базальт – вулканічний мінерал, що в значній кількості знаходиться в надрах України. Одним з варіантів продукції з базальту може бути спеціальне борошно з різними розмірами фракцій. Це борошно може стати сировиною для інших виробів з базальту. Відомі спеціальні вироби, в яких використовується базальтова нитка. В залежності від її товщини, нитка може використовуватися, як армуючи складову композиту. Завдяки високим термостійким властивостям нитка може стати складовою протипожежних засобів. Високий термічний опір дозволяє її використовувати в якості тепло ізолятора. Зауважимо, що базальт відноситься до речовин, що мають високу хімічну стійкість і можуть взаємодіяти лише з деякими розчинами лугів. Все це дозволяє розглядати базальт, як дуже функціональну складову деяких композитів.



Рис. 2.1. Види виробів з базальту, представлених на XXII Міжнародній спеціалізованій виставці «Технології Захисту/Пожтех»

Але останнім часом все більше привертає увагу безпосереднє його використання у рослинництві. Це в першу чергу пов'язано з унікальним багатокомпонентним складом, що містить значну кількість корисних

мікроелементів. Деякі рекламні сайти надають інформацію, що завдяки використанню в ґрунті базальтового борошна, можна покращити смак деяких плодових дерев та чагарників, наприклад оливок [13].

Лабораторні дослідження продемонстрували, що значну роль відіграє відсоток базальтового борошна в ґрунті. Так в [14] зразки ґрунту були зібрані для аналізу після 60 і 170 днів інкубації для оцінки характеристик ґрунту. Результати показали, що вищі дози внесення базальтового порошку призвели до підвищення рівня рН, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cu , V та S .

В багатьох роботах, зокрема [15], розглядається проблема сталого розвитку сільського господарства. Зрозуміло, що використання хімічного добрива порушує екологічну ситуацію не лише ґрунту, а і навколишнього середовища також. Водночас, використання мінерального добрива на основі гірських порід не суперечить основним екологічним закономірностям, оскільки ці породи довгий час знаходились в надрах Землі і по суті саме завдяки ним утворився родючий пласт ґрунту.

Для оцінки впливу базальтового субстрату на біохімічні властивості рослин томатів [16], проводилися досліді в горщикових системах з невеликим вмістом базальтового борошна від 1,5-4,5%. При цьому основним субстратом залишалися горщикова земля та перліт. Великий вміст базальтового борошна призводив до збільшення параметрів росту рослин томату але довжина пагонів збільшувалася в набагато менших пропорціях. Результати показали, що збільшення дози базальту може негативно вплинути на вміст сухої речовини в листі, флавоноїдів, поліфенолів. Оптимальною кількістю базальтового борошна виявилась 3% концентрація, яка покращувала антиоксидантні властивості ґрунту.

Важливою характеристикою ґрунту є властивість накопичувати тепло для подальшого захисту підземних частин рослин від промерзання. Для перевірки цих властивостей був проведений експеримент по визначенню темпів нагрівання та охолодження. Для цього щуп вимірювача температури

занурювали всередину базальтового борошна, щоб забезпечити віддалене розташування від джерела тепла. За допомогою газової запальнички нагрівався верхній шар (рис.2.2).

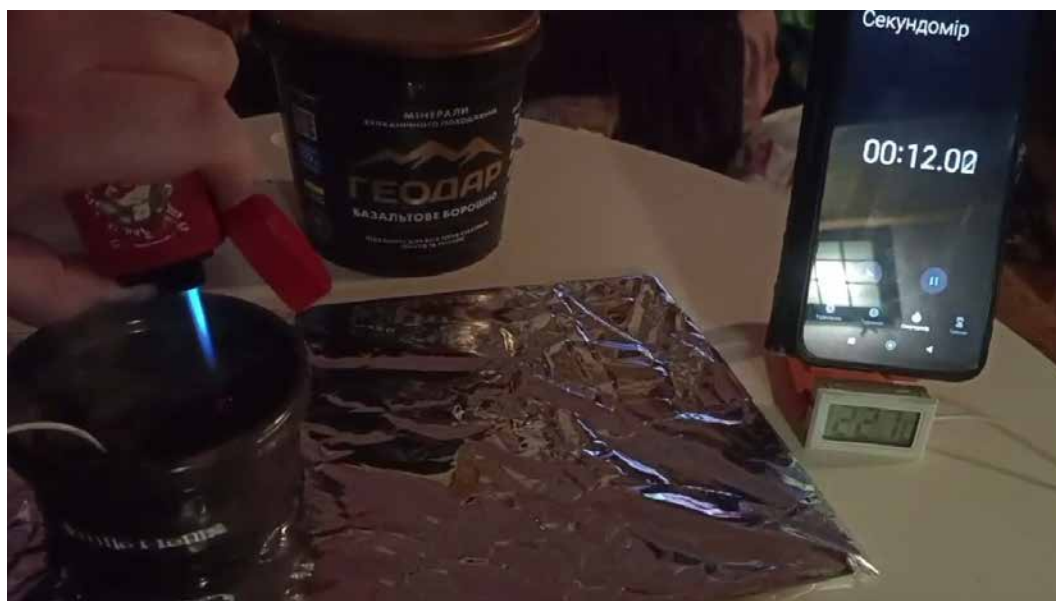


Рис. 2.2. Процес нагрівання базальтового борошна

Через деякий час процес прогрівання продовжувався навіть після прибирання вогню. Секундоміром фіксувався час нагрівання нижнього шару базальтового борошна. При досягненні максимального значення почався процес охолодження.

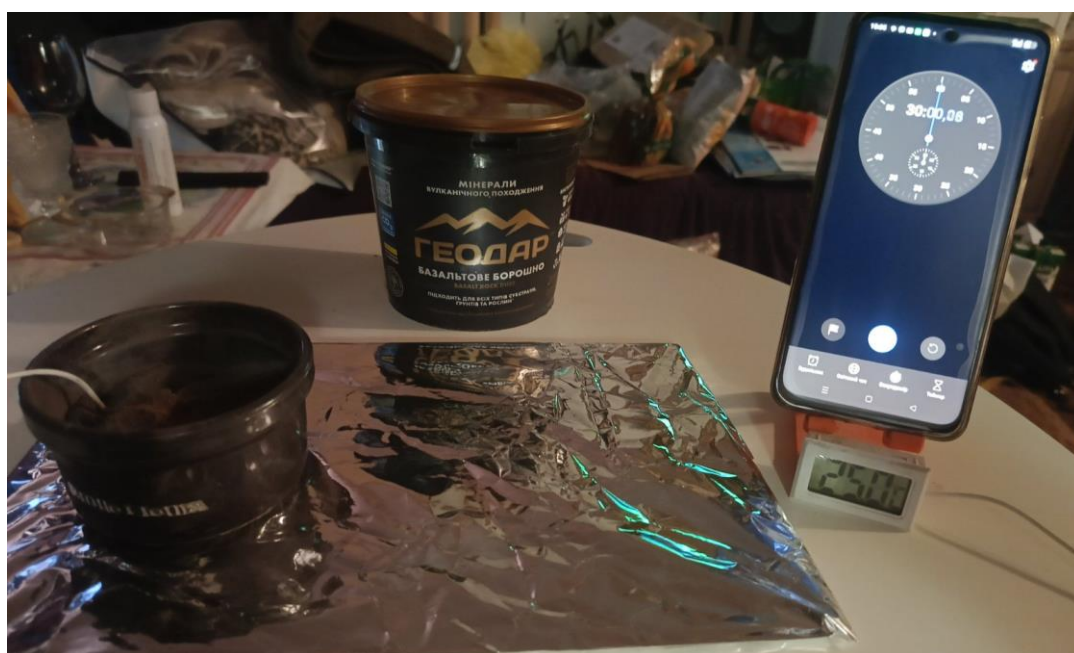


Рис. 2.3. Фіксація процесу охолодження базальтового борошна

Були визначенні темпи нагрівання та охолодження відповідно.

2.2. Вулканічний туф

На відміну від базальтового борошна, вулканічний туф та борошно з нього є менш дослідженим матеріалом. У даній роботі була представлена ґрунтова суміш, однією з складових частин якої є саме борошно з вулканічного туфу. Туф - це природна пірокластична гірська порода, що утворилася в результаті ущільнення та цементації вулканічного попелу, пилу та інших уламкових викидів під час вибухових вивержень. Ці матеріали виникають як пухкі вулканікластичні осади, які з часом піддаються процесам діагенезу та різноманітним гідротермальним змінам [17].

В досліді вулканічний туф використовувався як регулятор водного режиму. Він має унікальну внутрішню структуру, що дозволяє вбирати значну кількість води, утримувати її і терморегулювати. Туф має високу відкриту пористість, що і дає йому можливість вбирати в себе великий об'єм води.

Для визначення вологості борошна з туфу, що використовувалося в даному дослідженні був проведений експеримент. Борошно з туфу поміщалося в спеціальні паперові пакетики, які зважувалися у сухому (рис. 2.4 а) та вологому стані (рис. 2.4 б). Потім в сухий пакет додавався сухе борошно і також зважувалося (рис. 2.4 в). Після цього пакетик з борошном з туфу занурювали у воду і через певний проміжок часу витягували потім висувували, аж поки з пакетика не запинилася поява крапель води. Після цього вологий пакетик зважувався (рис. 2.4 г).

Зауважимо, що завдяки вмісту цеолітів, туф діє як природний регулятор вологості. Він утримує воду в періоди надмірних опадів і поступово віддає її рослинам під час посухи. При цьому, якщо температура досягає вище 100 °С, вулканічний туф здатен вивільняти молекулярно зв'язану воду [18], хоч це і не

має практичного сенсу у даній роботі, однак це вказує на надзвичайну здатність до терморегуляції та утримання гідратів у структурі.



Рис 2.4. Послідовність процесів визначення вологовмісту борошна з туфу.

В основному сам туф складається з оксидів кремнію, алюмінію, заліза та магнію. При додаванні туфу з таким хімічним складом, ґрунт легко збагачується мікроелементами. Мінеральний склад туфу це - кварц, польовий шпат, гематит, піроксен, кальцит, хлорит, каолінит, анальцит, сапоніт, монтморилоніт. Серед них хлорит, каолінит, анальцит забезпечує високу катіонообмінну здатність, що дозволяє ефективно очищувати ґрунтове середовище. Туф здатний вилучати з ґрунтового розчину небезпечні іони важких металів, такі як свинець (Pb^{2+}), цинк (Zn^{2+}), кадмій (Cd^{2+}), нікель (Ni^{2+}), мідь (Cu^{2+}) та марганець (Mn^{2+}). Захоплення відбувається за механізмом - мінерал анальцит завдяки високій поляризованості може вбирати навіть великі іони свинцю, утримуючи їх у своїх тонких каналах. Також туф створює фільтраційний бар'єр, який перешкоджає міграції забруднювачів у глибші горизонти та підземні водоносні шари.

Також туф може виконувати детоксикуючу дію, за рахунок наявності заліза у двовалентній формі (Fe^{2+}). У кислому середовищі, у межах pH 4–5, хлорит і піроксен вступають у реакцію з високотоксичним хромом Cr^{6+} , відновлюючи його до значно менш небезпечного Cr^{3+} , який згодом адсорбується на поверхні мінералів. Туф може сприяти розкладанню стійких органічних забруднювачів, до нетоксичних речовин, які потім біологічно розкладаються мікроорганізмами до вуглекислого газу. В випадку хлоретену він розкладається до етену або етану, після чого до вуглекислого газу.

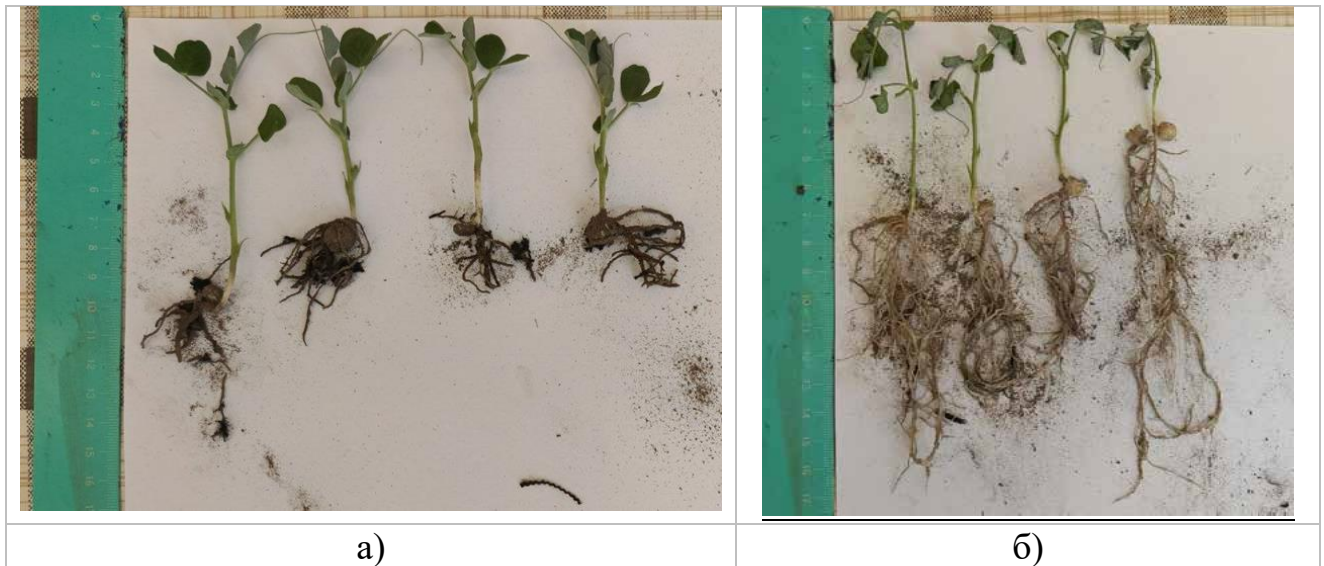
Туф може бути дуже корисний як джерело мікроелементів. Внесення туфу дозволяє ремінералізувати виснажені ґрунти, виправляючи їхній хімічний баланс та забезпечуючи стале джерело елементів, у вигляді оксидів, необхідних для здорового росту культур протягом тривалого часу.

Туф, що був люб'язно наданий українською компанією “Геодар”, характеризується ідентичним складом, що і базальт, однак за структурою є іншим мінералом за рахунок іншої ізомеризації. Туф як і базальт складається з SiO_2 (48,4%), Al_2O_3 (13,9%), Fe_2O_3 (14,4%), CaO (9,6%), MgO (6,4%), MnO

(0,2%), K_2O (0,7%), P_2O_5 (0,2%), Na_2O (2,4%), TiO_2 (1,6%). Його pH = 8,3 (Додаток Б).

2.3. Оцінка морфометричних показників рослин

Форма та розмір рослинних організмів є базовими характеристиками. Морфометрію визначають як розділ ботаніки, що вивчає форму й розмір рослин кількісними методами. [19]. На 14 день, після проростання рослини акуратно були очищені від залишків ґрунту на коренях, а потім відмиті, щоб не пошкодити корені, для точної морфометрії. Наступним проводили власне морфометрію. Вимірювали наступні показники: висота рослини, ширина пагона, довжина кореня, кількість листків, загальна маса рослини та маса листя. У досліді 1 було пророщено 17 рослин в період 22.04.2026 - 06.05.2026, а у досліді 2, що проходив у період 07.05.2026 – 21.05.2026 – 11. На рисунках 2.5 – 2.7 наведені підготовлені зразки рослин гороху для проведення морфометричного аналізу.





в)

Рис. 2.5. Фото рослин гороху дослідів 1 пророщених на 14 день експерименту. а - на експериментальному ґрунті, б - на лісовому ґрунті, в - на торф'яному ґрунті



Рис. 2.6. Фото рослин гороху дослідів 2 пророщених на експериментальному ґрунті на 14 день експерименту.



Рис. 2.7. Визначення показників морфометрії зважуванням

2.4. Оцінка вмісту пігментів за використання спектрофотометричного аналізу

Вміст пігментів рослин гороху оцінювали на спектрофотометрі UVmini-1240 SHIMADZU (Японія) (рис.2.8).

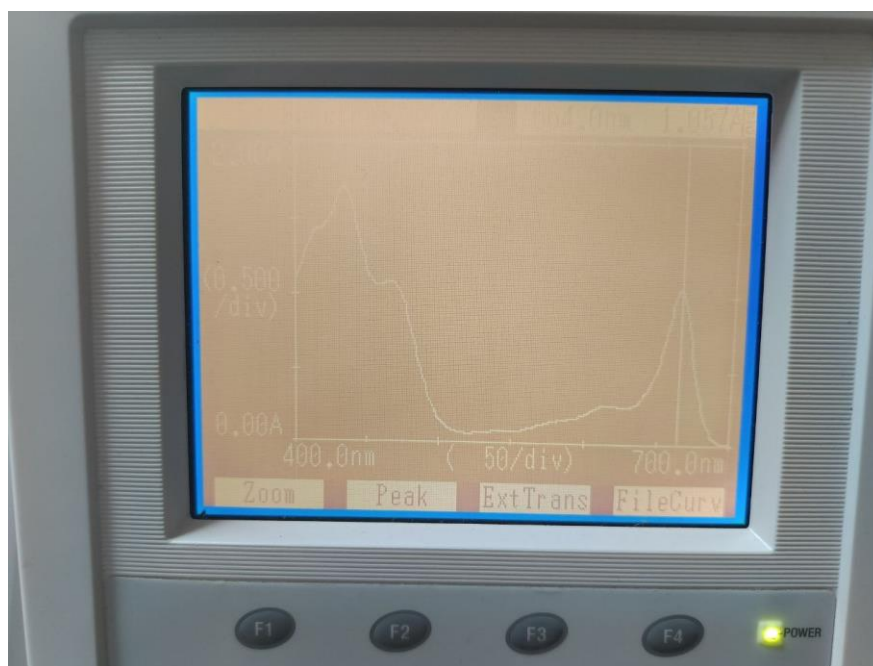


Рис. 2.8. Дисплей спектрофотометра та результати отримані з екстракту листку на основі етанолу 96% при довжині 665 нм.

Суть методу полягає у кількісному вимірюванні взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною, де кожна сполука має унікальну здатність поглинати, пропускати або відбивати світло на певних довжинах хвиль. В основі аналізу лежить закон Бугера - Ламберта – Бера (1.1), який стверджує, що абсорбанс прямо пропорційна концентрації речовини та товщині шару зразка.

$$A = \varepsilon cl, \quad (2.1)$$

Де A — оптична густина або абсорбція, ε — молярний коефіцієнт поглинання, c — концентрація речовини у розчині, l — товщина шару розчину, через який проходить світло. Це дозволяє не лише ідентифікувати сполуку за її специфічним спектральним «відбитком», а й з високою точністю визначити її вміст у досліджуваному середовищі.

Спираючись на методику досліджень рослинних екстрактів [20] метод використовує властивість пігментів інтенсивно поглинати світло у видимій частині спектра від 400 до 700 нм. Нв підтвердження цього факту на рисунку 2.9 представлений графік залежності інтенсивності поглинання світла від довжини хвилі для хлорофілу а (темно-зелена лінія), хлорофіл b – зелена лінія, хлорофіл c – світло-зелена лінія, перидиніну (помаранчева лінія), міксоксантофілу (червона лінія) та лютеїну (жовта лінія). З графіку видно, що хлорофіли а та b мають характерні максимуми поглинання у синьо-фіолетовій та червоній областях, тоді як каротиноїди поглинають переважно у синій частині.

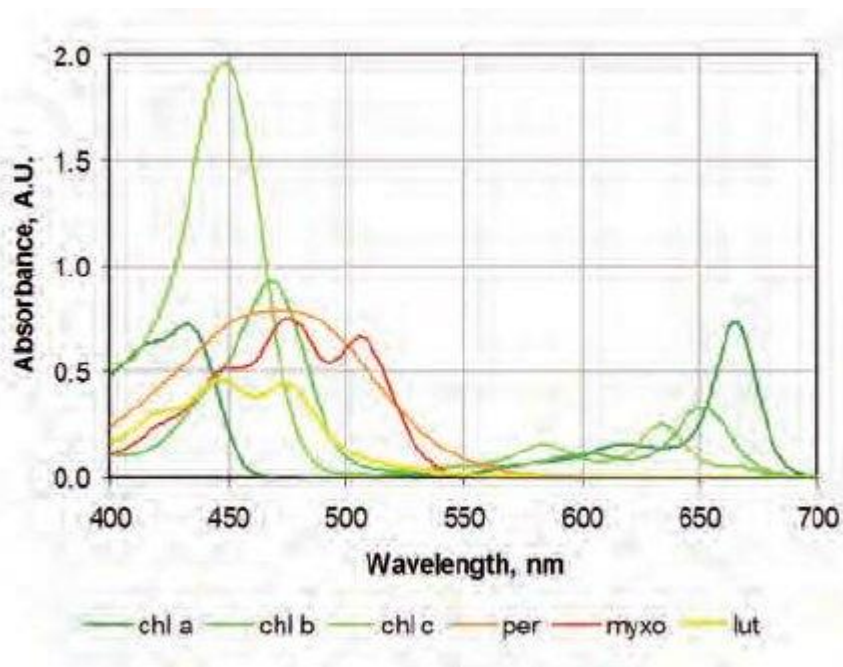


Рис. 2.9. Лінії спектрів поглинання хлорофілів а (темно-зелена), b (зелена) та c (світло-зелена), а також каротиноїдів: перидиніну (помаранчева), міксоксантофілу (червона) та лютеїну (жовта) [20].

Цим методом було знайдено коефіцієнти поглинання рослинних екстрактів, на основі яких подальше можна розрахувати їх концентрацію. У спектрофотометрії монохроматор виділяє з поліхроматичного світла вузькі смуги заданих довжин хвиль. Це світло проходить крізь кювету зі зразком, де частина енергії поглинається молекулами пігментів, а детектор вимірює інтенсивність світла, що пройшло крізь розчин. Оскільки спектри поглинання хлорофілів та каротиноїдів частково перекриваються, остаточний розрахунок їхньої концентрації здійснюється за допомогою математичних алгоритмів, що використовують специфічні коефіцієнти екстинкції для обраного розчинника.

2.5. Протокол експерименту

Для експериментально дослідження були використані такі матеріали: ґрунтова суміш, торф'яний ґрунт Compo Sana, лісовий ґрунт, перекис водню 3%, етиловий спирт 96%, карбонат кальцію. Експериментальним матеріалом для дослідження був обраний посівний горох *Pisum sativum* сортів Скінадо і Джоф.

Під час виконання кваліфікаційної роботи були проведені дві групи дослідів. У першій групі (№1 – дата) було висаджено і пророщено насіння на трьох видах ґрунтів: експериментальна ґрунтосуміш, лісовий ґрунт і універсальна торф'яна ґрунтосуміш. Метою роботи було провести порівняльне дослідження фізіологічних показників рослин гороху, вирощених на даних ґрунтах різного складу.

Попередня робота з насінням була в обох дослідях ідентичною і складалася з таких етапів. На першому етапі насіння гороху сортів Скінадо і Джоф були промиті в проточній воді для видалення забруднень. Для відбракування некондиційованого насіння проводився візуальний аналіз ознак уражень шкідниками, пошкоджень оболонки. Насіння з такими ознаками відбирали і відповідно не використовували для висадки.

Щоб розділити горох заможували на придатність - у 2 л води було ретельно перемішано до розчинення кристалів з 40 г солі (NaCl), після чого було додано відібране насіння гороху до розчину. Протягом 10 хвилин горох було розділено на придатний і непридатний для вирощування за принципом перебування в рідині на різних рівнях. Перший - знаходився на дні, другий - залишався на поверхні розчину.

Метою подальшої обробки було пришвидшення проростання відібране насіння упродовж 25 хвилин змочували у розчині 0,02% борної кислоти. Борна кислота поглинається насінням, що збагачує мікронутрієнтами і стимулює активний поділ клітин та синтез РНК у меристемах. Це забезпечує швидкий ріст пагонів та зародкового кореня, а також заздалегідь активує антиоксидантні системи захисту [21]. Потрійне промивання під проточною водою дозволило змити залишки розчину.

Важливим етапом підготовки насіння була стерилізація у розчині перекису водню. Насіння стерилізували упродовж 15 хвилин у 3% розчині перекису водню H_2O_2 .

Ґрунтова суміш для дослідження складалася з: 50% - подрібненого вулканічного туфу, як основу структури; 25% - базальтового борошна, як джерело мінеральних речовин; 20% - вермикомпосту, як джерело органіки; 5% - двічі активованого вугілля, як сорбенту і резервуару вологи; 10% - біоактиватору. Насіння краще проростає за температури у діапазоні: 17-23 °С [22]. Регулярний контроль параметрів, що характеризують умови росту: полив, температура, освітлення, провітрювання. Полив проводився двома способами шляхом розприскування та за допомогою зволожувача 1 раз на добу у розмірі 7 мл. Середнє значення температури повітря при рості рослини дорівнювало 19 °С. Освітленням була фітолампа (Feron AL7001 LED 9W), що працювала 16 годин на добу. Також освітленням було сонячне світло, в той самий проміжок часу, що і фітолампа. В результаті були отримані такі результати проростання, як показано на рисунках 2.10 та 2.11.



Рис. 2.10. Проростання гороху на 14-й день в трьох різних видах ґрунтів

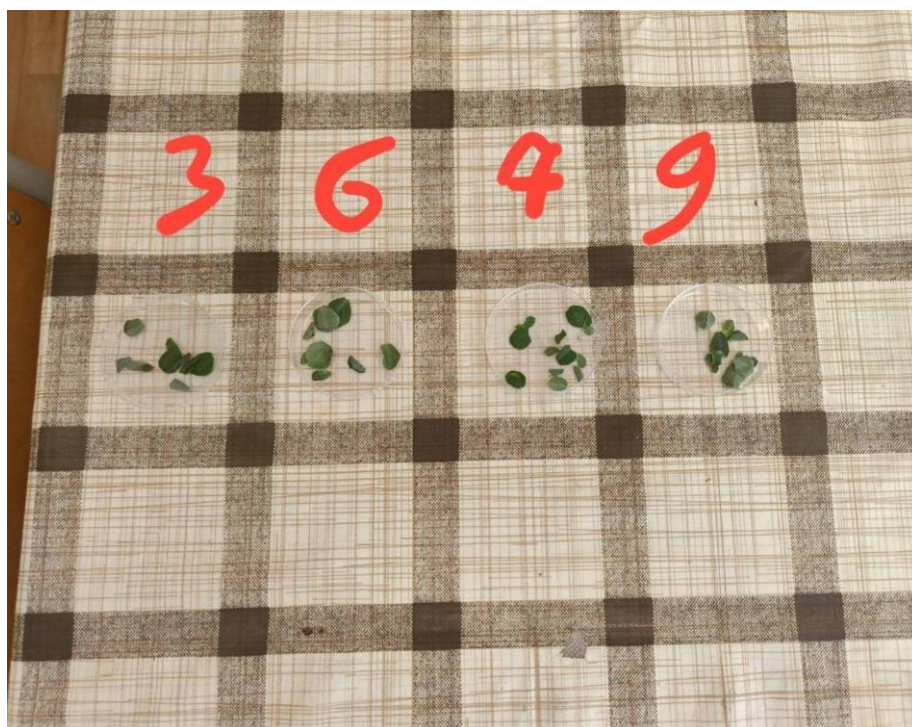


Рис. 2.11. Проростання насіння на експериментальній ґрунтосуміші на 14 день
росту

Для морфометричного аналізу групи дослідів №1 і №2, була підрахована кількість листків що утворились в процесі росту. На рисунку 2.12. та 2.13. представлені результати підрахунку.



а)



б)

Рис. 2.12. Наважки листків рослин з дослідів №1 а – для всіх трьох ґрунтів , б – для дослідного ґрунту



Рис. 2.13. Наважки листків рослин дослідів №2

Після отримання даних морфометричного аналізу була підготовка зразків для спектрофотометричного аналізу. На цьому етапі була зважена маса листків, На основі отриманих даних морфометрії було розраховано потрібні маси

реагентів для приготування екстракту. Листки зважували та відбирали для отримання 100 ± 1 г, 50 ± 1 г і 25 ± 1 г наважки (рис. 2.14).



Рис. 2.14. Зважування листків рослин дослідів №2

Надалі наважки було розтерто у фарфоровій ступці (рис. 2.15) з додаванням CaCO_3 , для попередження феофітинізації пігментів, що нейтралізує кислоти клітинного соку. Далі було додано 1-2 мл етанолу і профільтровано (рис. 2.16). Фільтрат розбавляли до відповідного до маси об'єму, для підтримання однакової концентрації, а саме: для 100 мг - доливали до 10 мл етанолом, для 50 мг - до 5 мл і для 25 мг - до 2,5 мл.



Рис. 2.15. Розтирання у листків у ступці

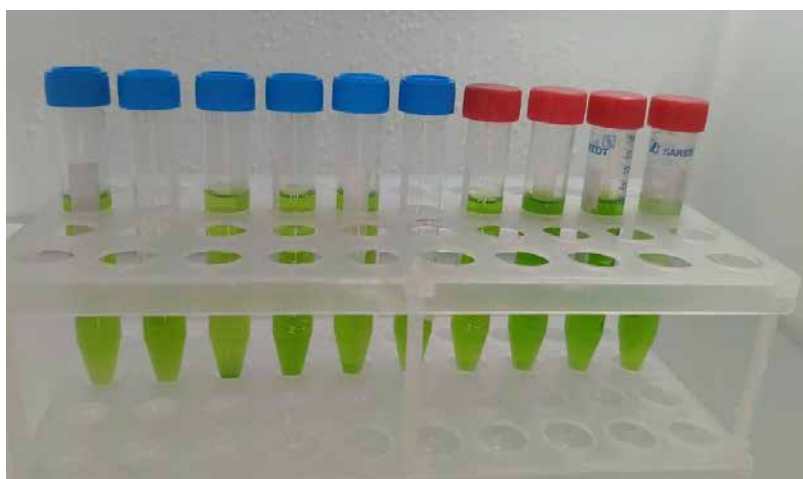


Рис. 2.16. Профільтровані екстракти

Для однорідності розчину спиртові екстракти було ретельно перемішано та перенесено для вимірювання екстракт у пластикову кювету (рис. 2.17). Для дослідження вмісту фотосинтетичних пігментів було обрано довжини хвиль 470, 649 та 665 нм, це зумовлене тим, що саме в цих точках спостерігається найбільша чутливість до концентрації пігментів хлорофілу а, хлорофілу b та каротиноїдів, що дозволяє чітко диференціювати їх у суміші екстракту.



Рис. 2.17. Кювета з спиртовим екстрактом пігментів

Висновки до другого розділу

Проведені експериментальні дослідження теплопровідних та абсорбційних властивостей базальтового борошна та борошна з туфа

Проведені дослідження по вирощуванні насіння гороху *Pisum sativum*, з попередньою обробкою насіння та при створенні умов замкненого біоценозу.

Експериментально досліджені морфометричні показники рослин та вміст пігментів в них.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Дослідження росту *Epipremnum aureum*

За замовленням флористів, що займаються вирощуванням кімнатних рослин, проводились дослідження можливості використання субстрату на основі базальту та туфу в якості ґрунту для пересадки *Epipremnum aureum*. Оскільки склад такого субстрату суттєво відрізняється від того в якому рослина вирощувалася протягом певного часу до досягнення стадії, що може бути придатною для продажу. Це дослідження мало якісний характер і доросла рослина була пересаджена у ґрунти: контроль, за типом ґрунту за яким воно вирощувалося, базальтовим ґрунтом і лісовим. В результаті, здоровий розвиток спостерігався лише у рослин, що вирощувалися у лісному ґрунті, а також менш краще у контрольному. Такий факт можна пояснити тим, що за своїм складом запропонований ґрунт суттєво відрізняється від контрольного і лісного і оскільки рослини адаптувалася до традиційного ґрунту але при цьому не змогла адаптуватися до експериментального ґрунту. З цього можна зробити висновок, що субстрат на основі базальту та туфу краще використовувати з самого початку розвитку рослини.

Пересаджування дорослих рослин на прикладі *Epipremnum aureum* у запропонований в роботі субстрат продемонструвала неможливість підтримувати розвиток рослин, що пояснюється відсутністю адаптованості до нового середовища, що суттєва відрізняється від традиційного кімнатного ґрунту.

3.2. Обґрунтування вибору складових експериментального ґрунтосуміші

Експериментальні результати темпів нагрівання та охолодження базальтового борошна були оброблені і представлені у вигляді двох графіків.

На першому графіку (рис. 3.1) представлена залежність температури прогрівання базальтового борошна від часу. .

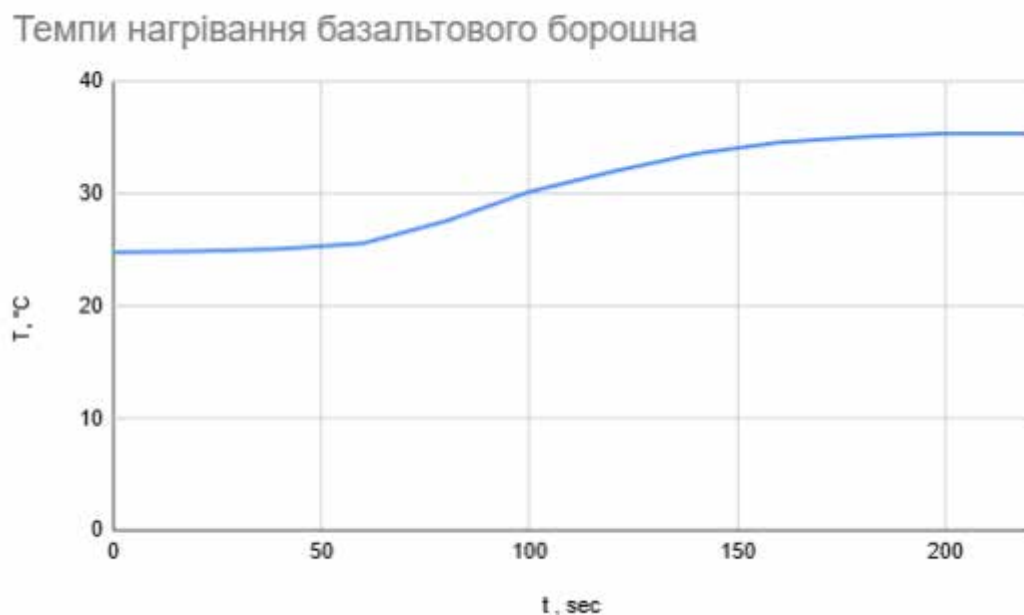


Рис. 3.1 Темп нагрівання базальтового борошна

З графіку видно, що процес нагрівання на 10°C тривав близько 3,5 хвилин. При цьому температура всередині залишалася достатньо невисокою, хоча верхній шар нагрівався до 60°C . З цього можна зробити висновок, що базальтове борошно має властивість акумулювати тепло при цьому зменшуючи градієнт температури.

Процес охолодження демонструє іншу тенденцію (рис. 3.2). На повернення до початкової температури знадобилося близько 30 хвилин.

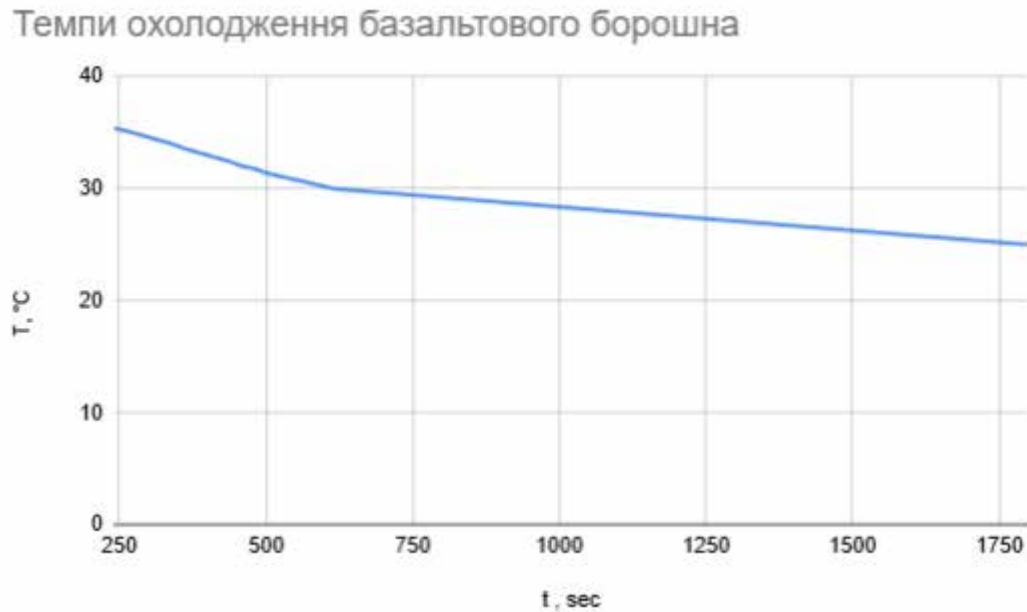


Рис. 3.2. Темп охолодження базальтового борошна

Цей факт свідчить, що віддача тепла від базальтового борошна відбувається в 10 разів повільніше ніж його поглинання. Цей факт означає, що базальт може стабілізувати добові перепади температури, що значно знизить стресову ситуацію для рослин. Це також стосується і властивості витратити теплову енергію для перетворення води з твердого стану – льоду в рідкий стан, що дозволить зволожувати ґрунт.

Проведені дослідження по визначенню вологовмісту борошна з туфу продемонстрували такі результати. Враховуючи, що маса сухого борошна туфу в чистому вигляді склала:

$$m_{\text{сух}} = 28,67 - 0,43 = 28,24 \text{ г},$$

а маса вологого:

$$m_{\text{волог}} = 44,15 - 2,3 = 41,85 \text{ г},$$

маса води, яку абсорбувало борошно туфу склала:

$$m_{\text{волог}} = 41,85 - 28,24 = 13,61 \text{ г}$$

Отже, можна зробити висновок, що борошно туфу може абсорбувати до 48% від власної маси. В підсумку зауважимо, що проведені досліді надають

обґрунтування вибору базальтового борошна та борошна з туфу для створення «штучного ґрунту».

3.3. Морфометричні показники у рослин гороху вирощених на суміші ґрунту різного складу

В таблиці 3.1. представлені результати морфометричних показників рослин вирощених на ґрунтах різного складу. Кількість вимірювань в експериментальному ґрунті та лісному дорівнювала 4, а в торф'яному – 9.

Таблиця 3.1.

Результати морфометрії рослин вирощених на трьох типах ґрунтів (№1)

Морфометричний показник	Ґрунт					
	Експериментальний		Лісний		Торф'яний	
	Середній показник	Медіана	Середній показник	Медіана	Середній показник	Медіана
Висота рослини, мм	107,25±10,1	106	164,75±16,4	171	148,3±21,9	131
Діаметр пагона, мм	2±0	2	1,225±0,2	1,2	1,9±0,09	2
Довжина кореня, мм	43,75±5,6	45	100,25±32,5	94	73,3±17	65
Кількість листків, шт.	12,25±0,5	12	10±1,6	10	10,89±0,75	10
Загальна маса рослини, мг	736±206	748,5	377,25±42,5	386,5	667,2±115,7	631
Маса листків, мг	112,25±17	105	38,25±13,9	41,5	107,8±17,3	111

В дослідній групі №2 для експериментального ґрунту було вирощено 10 зразків і результати їх морфологічного аналізу представлені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2.

Результати морфометрії рослин вирощених на дослідному ґрунті (№2)

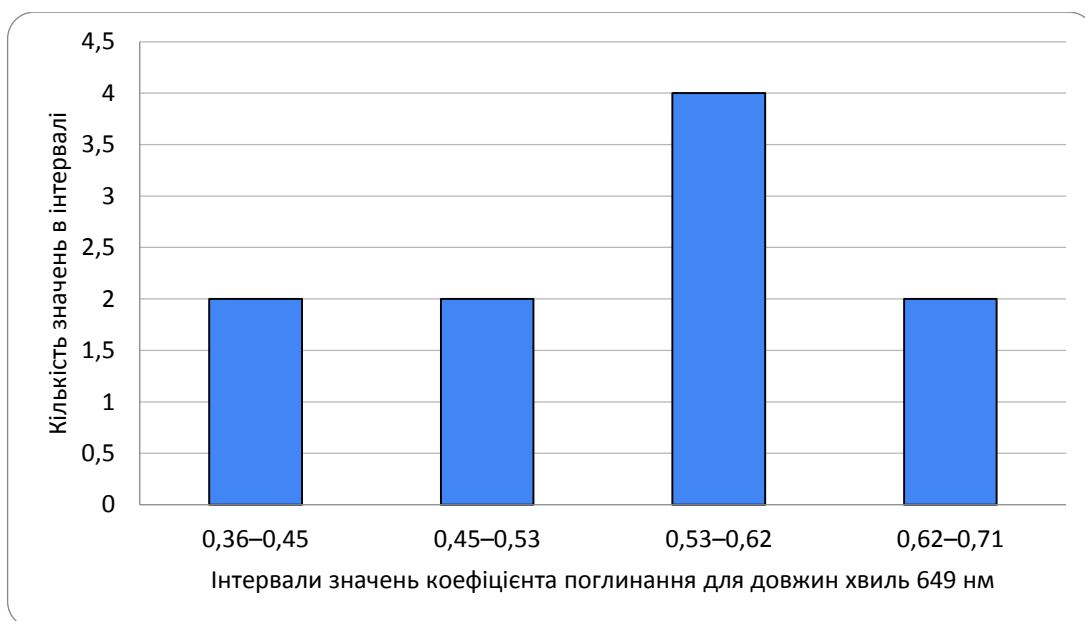
Морфометричний показник	Ґрунт		
	Експериментальний		
	Середній показник	Медіана	Мода
Висота рослини, мм	157,2±27,3	149,5	154

Діаметр пагона, мм	$1,88 \pm 0,09$	1,9	2
Довжина кореня, мм	$70,9 \pm 22,2$	73	83
Кількість листків, шт.	$10 \pm 1,35$	10	10
Загальна маса рослини, мг	$991,1 \pm 119,1$	978	-
Маса листків, мг	$152,2 \pm 43,7$	138	-

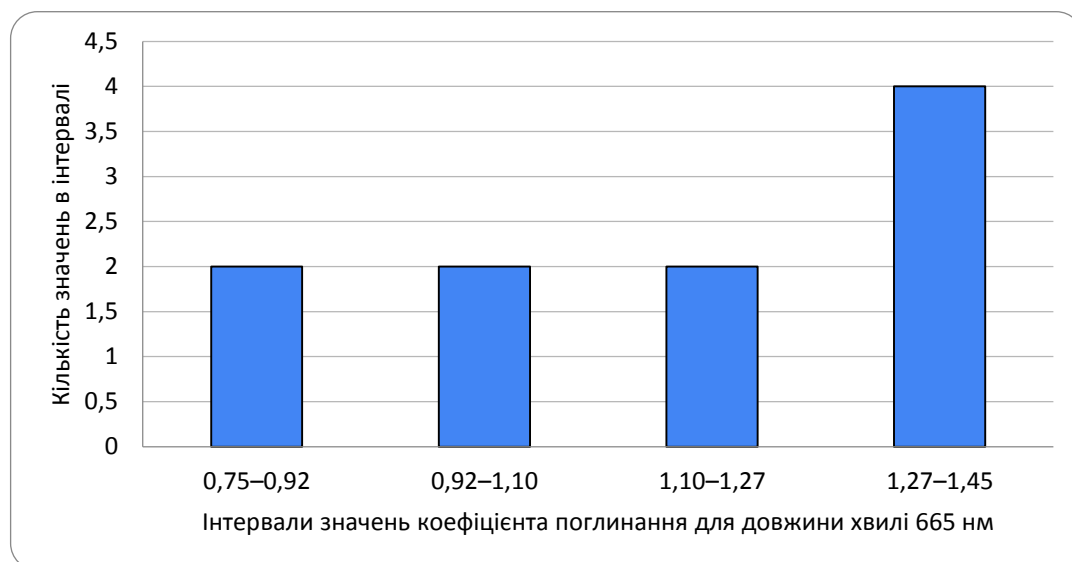
На основі результатів морфометричного аналізу гороху, що вирощувався з насіння на трьох різних ґрунтосумішах, можна зробити висновок, що рослини, які вирощувалися на лісному та торф'яному ґрунті хоч і мають на 53% та 38% більшу висоту порівняно з експериментальним ґрунтом, водночас мають на 40% та 5% менший діаметр пагону та на 17% меншу кількість листків. Також корені рослин у ґрунтах мають суттєву різницю, бо довжина кореня у лісного ґрунту є на 138% більша, а торф'яна – на 73%. Хоча корінь є доволі нерозвинений на відміну від інших складових рослини, це зумовлено тим, що на верхніх шарах ґрунту знаходиться необхідна кількість вологи та поживних речовин, таких, як мікроелементи. Тому рослина витрачає основну енергію на розвиток наземних складових рослини, аніж на видовження кореня. Ці твердження підкріплюються також тим, що маса листків рослин гороху, що вирощені на лісному ґрунті є на 65% меншою за вирощений на експериментальному, а на торф'яному ґрунті – на 4%.

3.4. Вміст фотосинтетичних пігментів у рослин гороху вирощених на суміші ґрунту різного складу

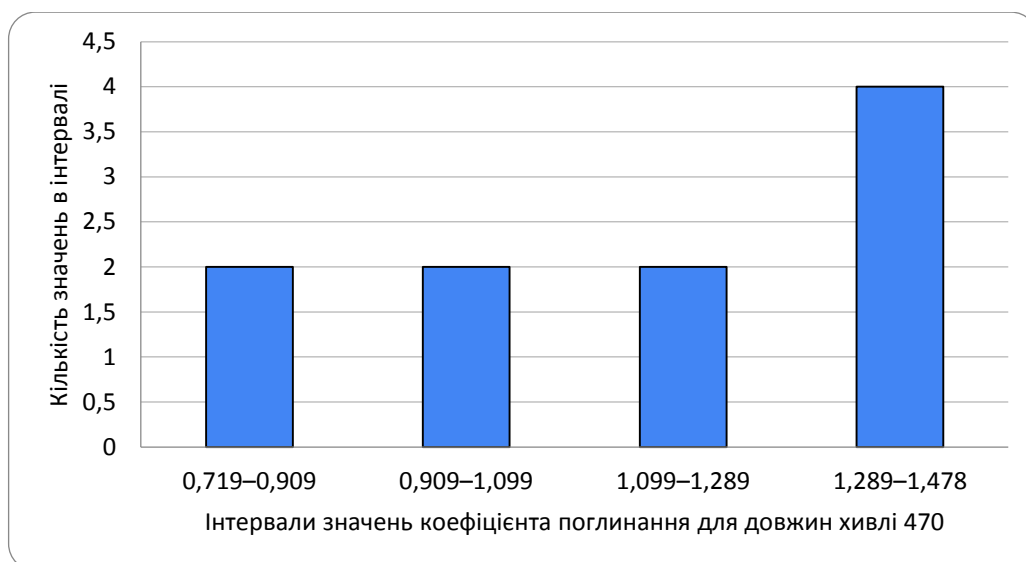
За результатами вимірювань спектрофотометрії в досліді 2 для рослин гороху, що вирощувалися на експериментальному ґрунті, були отримані коефіцієнти поглинання для трьох довжин хвиль: 470 нм, 649 нм, 665 нм. Результати вимірювань представлені на рис. 3.3.



а)



б)



в)

Рис. 3.3. Значення коефіцієнтів поглинання для рослин з досліді номер 2 на експериментальному ґрунті для довжин хвиль *a* – 649 нм, *б* – 665 нм, *в* – 470 нм

Для розрахунку концентрації пігментів у екстрактах використовувалась формула Ліхтенталера. Коефіцієнти у формулах залежать від розчинника, що використовується для отримання екстракта. Оскільки розчинником був етанол, тому при дослідженні активності синтезу пігментів було обрано довжини хвиль 470, 649 та 665 нм. Формули для розрахунку концентрації пігментів записуються у вигляді:

Для розрахунку концентрації хлорофілів *a* мкг/мл:

$$C_a = 13,95 \cdot A_{665} - 6,88 \cdot A_{649} \quad (3.1)$$

Для розрахунку концентрації хлорофілів *б* мкг/мл:

$$C_b = 24,96 \cdot A_{649} - 7,32 \cdot A_{665} \quad (3.2)$$

де, A_{665} - коефіцієнт поглинання речовиною при довжинах 665 нм, A_{649} - коефіцієнт поглинання речовиною при довжинах 649 нм

Для концентрації каротиноїдів

$$C_{\text{кар}} = \frac{1000 \cdot A_{470} - 2,05 \cdot C_a - 114,8 \cdot C_b}{245} \quad (3.3)$$

де, A_{470} - коефіцієнт поглинання речовиною при довжинах 470 нм, C_a - концентрація пігменту хлорофілу а, мкг/мл, C_b - концентрація пігменту хлорофілу б, мкг/мл.

Надалі розраховується маса пігментів на свіжій сировині за формулою, мг/г:

$$m_{\text{пігм}} = \frac{C_{\text{пігм}} \cdot V_{\text{розчинника}}}{m_{\text{наваж}} \cdot 1000} \quad (3.4)$$

Розрахунок похибки для невеликої кількості вимірювань проводилося за допомогою розподілу Стюдента. Оскільки в дослідах не вдалося отримати достатню кількість зразків для проведення повного аналізу, для розширення довірчого інтервалу похибки, для досліду 1 було застосовано коефіцієнт Стюдента для 3 вимірювань. З одного боку це призвело до значної відносної похибки але в межах цієї похибки концентрація хлорофілу а та б вказує на достатньо безстресовий процес росту.

Цих даних достатньо для проведення порівняльного аналізу концентрації хлорофілу типів а і б, в різних ґрунтах що свідчить про можливість розгляду штучного ґрунту в якості ґрунтового середовища для закритого біоценозу. Щоб оцінити випадкову похибку визначення характеристик рослин були проведені дослідження лише для експериментального ґрунту з імітацією умов закритого біоценозу.

Спектрофотометричні вимірювання дозволили розрахувати концентрації пігментів. Для вимірювань, що проводилися з рослинами, які вирощувалися в трьох різних типах ґрунтів були отримані середні значення та похибки. Оскільки зразків виявилось достатньо мало відносна похибка більшості вимірювань склала порядку 50 %. Результати представлені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3.

Вміст пігментів рослин гороху вирощених на ґрунтах різного складу

Пігмент	Ґрунт		
	Експериментальний	Лісний	Торф'яний
Хлорофіл а, мкг/мл	7,59±4,49	6,49±3,21	5,71±3,18
Хлорофіл б, мкг/мл	3,40±1,96	3,06±1,55	2,51±1,44

Повторні вимірювання для експериментального ґрунту з 10 зразків дозволили зменшити відносну похибку до 10-16%. Результати представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4.

Середні значення концентрацій

Пігмент	Ґрунт
	Експериментальний
Каротиноїди, мг/г	$2,082 \pm 0,35$
Хлорофіл А, мкг/мл	$12,252 \pm 1,71$
Хлорофіл Б, мкг/мл	$5,550 \pm 0,84$

В деяких роботах більш інформативними вважаються показники, що відображають вміст пігменту по відношенню до всієї маси листка. Розрахунки за формулою (3.6) представлені в таблицях 3.4, 3.5 та 3.6

Таблиця 3.5.

Вміст на одиницю маси живої сировини (дослід №1)

Пігмент	Ґрунт		
	Експериментальний	Лісний	Торф'яний
Хлорофіл А, мг/г	$0,759 \pm 0,45$	$0,649 \pm 0,32$	$0,571 \pm 0,32$
Хлорофіл Б, мг/г	$0,34 \pm 0,196$	$0,306 \pm 0,15$	$0,25 \pm 0,14$

Таблиця 3.6.

Вміст на одиницю маси живої сировини (дослід №2)

Пігмент	Ґрунт
	Експериментальний
Каротиноїди, мг/г	$0,208 \pm 0,04$
Хлорофіл А, мг/г	$1,225 \pm 0,17$
Хлорофіл Б, мг/г	$0,841 \pm 0,15$

На основі отриманих даних спектрофотометричного аналізу можна зробити висновок, що ріст та розвиток рослин, що вирощувалися на експериментальному ґрунті мають показники вмісту хлорофілу а на 14% та 25% відсотків більші, ніж в лісному та торф'яному ґрунтах відповідно. За вмістом

хлорофілу b експериментальний ґрунт має показники на 10% та 26% більші при цьому не перевищуючи норму.

Отримані результати узгоджуються з даними, що були отримані в роботі [23] і представлені як контрольні для порівняння із стресовими умовами. В іншій роботі [24] розглядався горох але на 28 добі росту, в порівнянні з даними цієї роботи наші результати співпадають в межах похибки з наведеними, хоча на 28 день вміст пігментів може збільшитися на 20-30%.

На основі цих даних, можна зробити висновок, що низький вміст хлорофілів у горосі, що вирощені на лісовому та торф'яному ґрунтах обумовлений недостатньою кількістю магнію, що є центральним атомом хлорофілу, а також недостатньою здатністю накопичувати вологу для її подальшого вивільнення рослинами. Ці проблеми вирішені при використанні експериментального ґрунту, що характеризується даними перевагами.

Висновки до третього розділу

Пересаджування дорослих рослин на прикладі *Eripremnum augeum* у запропонований в роботі субстрат продемонструвала неможливість підтримувати розвиток рослин, що пояснюється відсутністю адаптованості до нового середовища, що суттєва відрізняється від традиційного кімнатного ґрунту.

Результати експерименту можна трактувати так, що міцний пагін збільшена кількість листя та загальна маса свідчить про задовільнений вплив ґрунту на розвиток рослини.

На основі отриманих даних спектрофотометричного аналізу можна зробити висновок, що ріст та розвиток рослин, що вирощувалися на експериментальному ґрунті мають показники вмісту хлорофілу a b більші, ніж в лісному та торф'яному ґрунтах, при цьому не перевищуючи норму.

ВИСНОВКИ

Розроблено методику створення замкненого біоценозу з використанням спеціального ґрунту з базовим вмістом базальтового борошна та борошна з туфу. Розроблено «штучний ґрунт», в якому мінеральне борошно з базальту та туфу є основними інгредієнтами.

Для забезпечення замкнутості циклу життєдіяльності рослин запропоновано використання вуглецевих сорбентів, які можуть виконувати три функції: очищення ґрунту від важких металів, абсорбція води з повітря та її накопичення в порах та затримання в порах шкідливі речовини та частинки.

Для дотримання цілій сталого розвитку всі складові запропонованого субстрату мають природне походження і не вносять змін в екосистему на відміну від хімічних добрив.

Показано, що базальтове борошно здатне швидко накопичувати тепло, яке потім при зниженні температури може передаватися рослинам. Борошно з туфу має високі абсорбційні властивості і накопичує вологу, що може складати до 48% власної маси.

Вивчено фізіологічні показники рослин гороху, вирощених на ґрунтах різного складу. Показано, що морфометричні показники були кращими у рослин вирощених на експериментальному ґрунті, що характеризувалося підвищенням маси, як листків та і загалом маси усієї рослини, а також діаметром пагона. Єдиним параметром, що був меншим від рослин що вирощувалися на лісному та торф'яному ґрунтах був корінь та довжина пагона. Однак невелику довжину кореня можна пояснити відсутністю потреби рослини у пошуках вологи та поживних речовин.

Вміст пігментів показав, що в запропонованому ґрунті показники в межах 20% перевищують аналогічні в лісному та торф'яному ґрунті, при цьому вони залишаються в межах норм. Це зумовлено наявністю достатньої кількості мікроелементів, зокрема Магнію, що є центральним атомом молекули хлорофілу, у експериментальній ґрунтосуміші.

Додавання вуглецевих сорбентів також може розглядатися, як додатковий позитивний фактор впливу на розвиток рослини, оскільки під час експерименту водний баланс підтримувався на потрібному рівні. Запропонована методика створення замкненого біоценозу може масштабуватися на різні рівні від малих агрофірм до космічної колонізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Герасимчук Л.О., Пацева І.Г., Валерко Р.А. Гуманітарне розмінування України, Аграрні інновації 2024, № 24, с. 232-238, <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.33>
2. Walter Leal Filho, Mariia Fedoruk, João Henrique Paulino Pires Eustachio, Anastasiia Splodytel, Anatoliy Smaliychuk, Małgorzata Iwona Szyrkowska-Jóźwik, The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine, Journal of Environmental Management, 2024, Volume 364, 121399, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399>
3. Walter Leal Filho, Mariia Fedoruk, João Henrique Paulino Pires Eustachio, Anastasiia Splodytel, Anatoliy Smaliychuk, Małgorzata Iwona Szyrkowska-Jóźwik, The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine, Journal of Environmental Management, 2024, Volume 364, 121399, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399>
4. Boru, M. Review of Organic Fertilizer and Its Role in Organic Farming. Int. J. Energy Environ. Sci. 2025, 10(2), 31-37. <https://doi.org/10.11648/j.ijees.20251002.11>
5. І.М. Городиська, Ю.А. Кравчук Сидерація — один з чинників збереження родючості ґрунту в органічному землеробстві. Збалансоване природокористування 2023, №4, с. 138-144
6. О.М. Дацько, В.М. Яценко Сучасні методи ремедіації ґрунтів. Фіторемедіація як ключ до очищення ґрунтів та збереження екосистем, Аграрні інновації. 2024. No 25, Меліорація, землеробство, рослинництво, с. 20-24 <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.3>
7. Zaryshniak, A. & Ivanina, V. & Sypko, A. & Strilets, O. & Zatserkovna, N. & Goncharuk, G. & Grytsyshyna, L. & Kostaschuk, M. & Mazur, G.. (2021). Chemical melioration of acid soils with reproduction and regulation of their fertility by biologization of fertilization systems in conditions of Forest-Steppe of Ukraine. Visnyk agrarnoi nauky. 99. 55-63. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-07>

8. Bondarenko, Svitlana Anatoliivna & Nikishyna, Oksana & Zerkina, Oksana & Shaposhnikov, Valerii. Трансформація аграрного експорту України в умовах російської військової агресії: структурні зміни, адаптивні механізми та глобальні наслідки. *Journal of Scientific Papers Social development & Security* 2024. 14. 116-142. <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.3.9>
9. Goyal A, Flamholz AI, Petroff AP, Murugan A. Closed ecosystems extract energy through self-organized nutrient cycles. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2023 Dec 26;120(52):e2309387120. <https://doi.org/pnas.2309387120>
10. Технічна мікробіологія: практикум для здобувачів вищої освіти / В.В. Т 38 Євлаш, Л.В. Газзаві-Рогозіна, А.С. Бикова, О.В. Циганков – Х. : НТУ «ХПІ», ХДУХТ, 2020. – 180 с.
11. Павлюх, Л., Швець, Д., Лапко, В., & Кравченко, О. The use of carbon sorbents and sorption technologies for cleaning water systems of petroleum products. *Proceedings of National Aviation University (archive)*, 2008, 34(1), 117–119. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.34.15444.1544>
12. Lianfa Song, Mohammad Heiranian, Menachem Elimelech, True driving force and characteristics of water transport in osmotic membranes, *Desalination*, 2021, Volume 520, 115360, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115360>
13. https://vetonek.com/en/blogs/agriculture/how-to-improve-the-flavor-and-sizes-of-your-olive-trees?srsltid=AfmBOor_JvDUfwcEW5Q1lLp9isDzDdZBS3nPjtEUqT4of_cHcTzgdn2f
14. Marlon Rodrigues, Lucas Francisco da Silva Junges, Claiane Mozorovicz, Guilherme Seidel Ziemmer, Carlos Koseira Neto, Ederson Américo de Andrade, Amanda Izabel dos Passos, Fábio Palczewski Pacheco, Everson Cezar, Leticia de Melo Teixeira, Paraná basin basalt powder: A multnutrient soil amendment for enhancing soil chemistry and microbiology, *Journal of South American Earth Sciences*, 2024, Volume 141, 104957, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104957>

15. Nguyen Khanh Son, Nguyen Hoang Thien Khoi, Nguyen Ngoc Tri Huynh, & Nguyen Vinh Phuoc. A comprehensive review of rock dust for soil remineralization in sustainable agriculture and preliminary assessment of nutrient values in micronized porous basalt rock from Nghe-An province, Vietnam. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 2024, 63(5), 947–959. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/18544>
16. Kerkeni, Amel & Regaieg, Hajer & HOUIJI, Ibtissem & Pizzuti, Gianluca & Primavera, Fabio & Ruggeri, Federica & Riccini, Alessandro & Ragnoni, Giuliano. Effects of basalt flour "Farina di Basalto" on the growth and phytochemical properties of tomato plants. *Interciencia*, 2024. <https://doi.org/10.59671/aVWtn>
17. Trach, Y.; Melnychuk, V.; Michel, M.M.; Reczek, L.; Siwiec, T.; Trach, R. The Characterization of Ukrainian Volcanic Tuffs from the Khmelnytsky Region with the Theoretical Analysis of Their Application in Construction and Environmental Technologies. *Materials* 2021, 14, 7723. <https://doi.org/10.3390/ma14247723>
18. Szepesi, J., Ésik, Z., Novák, T.J. *et al.* Volcanic tuff as a World Heritage Georesource, a Case Study of Tokaj Wine Region UNESCO Cultural Landscape. *Geoheritage* 2024, **16**, 126. <https://doi.org/10.1007/s12371-024-01032-x>
19. Злобін Ю.А., Скляр В.Г., Бондарева Л.Н., Кирильчук К.С., 2009: Концепція морфометрії у сучасній ботаніці. *Чорноморськ. бот. ж.*, т. 5, N1: 5-22.
20. Yacobi, Y. Z. Review: From Tswett to identified flying objects: A concise history of chlorophyll a use for quantification of phytoplankton. *Israel Journal of Plant Sciences* 2012, 60(1–2), 243–251. <https://doi.org/10.1560/IJPS.60.1-2.243>
21. Fadime Donbaloglu Bozca, Sema Leblebici, Interactive effect of boric acid and temperature stress on phenological characteristics and antioxidant system in *Helianthus annuus* L., *South African Journal of Botany*, Volume 147, 2022, Pages 391-399, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.01.039>.

22. Kovalov M. M. The influence of climate support parameters on microgreen cultivation under the conditions of a film greenhouse. Taurian scientific herald. 2022. No. 126. P. 153–162. URL: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.21>
23. Hawrot-Paw, M., Ratomski, P., Mikiciuk, M. et al. Pea cultivar Blauwschokker for the phytostimulation of biodiesel degradation in agricultural soil. Environ Sci Pollut Res 26, 34594–34602 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06347-9>
24. Kukavica, Biljana & Morina, Filis & Nina, Janjic & Mirela, Boroja & Jovanovic, Ljubinko & Veljovic-Jovanovic, Sonja. (2013). Effects of mixed saline and alkaline stress on the morphology and anatomy of *Pisum sativum* L.: The role of peroxidase and ascorbate oxidase in growth regulation. Archives of Biological Sciences. 65. 265-278. <https://doi.org/10.2298/ABS1301265K>