

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ОХТИРСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

Освітньо-професійна програма ЕКОЛОГІЯ

КУРСОВА РОБОТА

З дисципліни «Загальна екологія»

на тему: **«Вплив кислотності ґрунтів на динамічні
показники популяції сосни звичайної»**

Виконав: студент II курсу, 39 групи
галузі знань 10 Природничі науки
спеціальності 101 Екологія
Зуєв Вячеслав

Керівник - викладач
Валентина ФЕДЕНКО

Оцінка за національною шкалою

Члени комісії

	Наталія КОШЕЛЬ
(підпис)	
	Анна КОГУТ
(підпис)	

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ОХТИРСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

Відділення Агротехнологій та природокористування
Освітньо-кваліфікаційний рівень фаховий молодший бакалавр
Шифр та найменування галузі знань 10 Природничі науки
Освітньо-професійна програма Екологія
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова ЦК загальноосвітніх дисциплін
_____ Наталія ЧИКАЛОВА
«_____» _____ 2025 р

ЗАВДАННЯ
на курсову роботу з дисципліни
„Загальна екологія”
студенту 2 курсу 39 групи
Зуєву Вячеславу

Тема роботи: «Вплив кислотності ґрунтів на динамічні
показники популяції сосни звичайної»

1. Проаналізувати вплив кислотності ґрунту як екологічного чинника на ріст і життєздатність сосни звичайної.
2. Дослідити залежність динамічних показників популяції сосни звичайної від рН ґрунту на пробних ділянках та сформулювати практичні рекомендації.

Дата видачі завдання «_____» _____ 2025 р.

Керівник курсової роботи _____ Валентина ФЕДЕНКО

Завдання до виконання прийняв студент «_____» _____ 2025 р.

Студент (ка) _____ **Вячеслав ЗУЄВ**

Розглянуто і схвалено на засіданні ЦК загальноосвітніх дисциплін

Протокол № _____ від _____

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПЛИВУ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТІВ НА ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЇ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ.....	7
1.1. Кислотність ґрунту як екологічний фактор та її роль у функціонуванні лісових екосистем.....	7
1.2. Біологічні особливості сосни звичайної як домінантного виду лісових екосистем.....	8
1.3. Вплив кислотності ґрунту на ріст, розвиток і життєздатність сосни звичайної.....	8
1.4. Динамічні показники популяції сосни звичайної та їх залежність від ґрунтових умов.....	9
1.5. Екологічні наслідки підкислення ґрунтів для соснових лісів.....	10
Висновки до розділу 1.....	11
2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТІВ НА ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЇ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ.....	11
2.1. Характеристика району досліджень.....	11
2.2. Вибір пробних площ та організація польових досліджень.....	12
2.3. Визначення кислотності ґрунтів.....	12
2.4. Оцінка динамічних показників популяції сосни звичайної.....	13
2.5. Методи статистичної обробки результатів.....	14
2.6. Екологічна інтерпретація результатів.....	14
Висновки до розділу 2.....	15
3. ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ НА ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЇ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ.....	15
3.1. Організація та умови проведення дослідження.....	15

3.2. Практична методика визначення кислотності ґрунту.....	16
3.3. Фактичні результати дослідження та їх опис.....	17
3.4. Узагальнений аналіз та екологічне значення результатів.....	18
 4. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	19
4.1. Загальні висновки за результатами дослідження.....	19
4.2. Практичні рекомендації щодо оптимізації стану соснових насаджень	20
4.3. Перспективи подальших досліджень.....	21
 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	22
ДОДАТКИ.....	23

ВСТУП

Кислотність ґрунтів є одним із провідних абіотичних чинників, що визначає умови росту, розвитку та стабільності рослинних популяцій. Зміни реакції ґрунтового середовища безпосередньо впливають на доступність поживних елементів, активність ґрунтових мікроорганізмів, інтенсивність процесів мінералізації органічної речовини та токсичність окремих хімічних сполук. У сучасних умовах посилення антропогенного навантаження, зокрема внаслідок кислотних опадів, промислових викидів і трансформації землекористування, проблема підкислення ґрунтів набуває особливої актуальності для лісових екосистем.

Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) є однією з провідних лісоутворювальних порід України та широко поширена в помірному кліматичному поясі Євразії. Вона відіграє важливу роль у формуванні рослинного покриву, регуляції водного балансу, підтриманні стабільності біоценозів та збереженні біорізноманіття. Однак зміна кислотності ґрунтів може суттєво впливати на її життєдіяльність, викликаючи порушення процесів росту, поглинання поживних речовин, формування кореневої системи, а також змінюючи структуру та динаміку популяції в цілому.

Актуальність даної курсової роботи зумовлена необхідністю дослідження впливу кислотності ґрунтів на динамічні показники популяції сосни звичайної, оскільки ці показники є важливими критеріями оцінки стану лісових насаджень, їх стійкості та здатності до самовідновлення. Вивчення взаємозв'язку між рівнем рН ґрунту та параметрами популяції дозволяє науково обґрунтувати підходи до раціонального лісокористування і розробити ефективні заходи щодо збереження та відновлення соснових екосистем.

Мета курсової роботи – дослідити вплив кислотності ґрунтів на динамічні показники популяції сосни звичайної.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

- проаналізувати наукові літературні джерела щодо впливу рН ґрунтів на ріст і розвиток сосни звичайної;
- охарактеризувати екологічні особливості сосни звичайної як об'єкта популяційної екології;
- визначити основні динамічні показники популяції та їх залежність від кислотності ґрунтів;
- проаналізувати роль екологічної толерантності у пристосуванні сосни до змін кислотності середовища.

Об'єкт дослідження – популяція сосни звичайної (*Pinus sylvestris*).

Предмет дослідження – вплив кислотності ґрунтів на динамічні показники популяції сосни звичайної.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для оцінки стану соснових насаджень та удосконалення заходів щодо їх сталого управління в умовах трансформації природного середовища.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПЛИВУ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТІВ НА ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЇ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

1.1. Кислотність ґрунту як екологічний фактор та її роль у функціонуванні лісових екосистем

Кислотність ґрунту є одним із ключових абіотичних чинників, що визначає умови існування рослинних організмів та формує характер біогеоценозів. Вона характеризується показником рН, який відображає концентрацію водневих іонів у ґрунтовому розчині та безпосередньо впливає на фізико-хімічні процеси, біологічну активність і доступність поживних речовин для рослин. У природних умовах кислотність ґрунтів формуються під впливом ґрунтоутворних процесів, складу материнських порід, кліматичних умов, рослинного покриву та діяльності мікроорганізмів.

У лісових екосистемах кислотність має особливе значення, оскільки вона безпосередньо впливає на стан кореневих систем дерев, процеси мінералізації органічної речовини, кругообіг елементів живлення та активність ґрунтової біоти. Надмірна кислотність призводить до зменшення доступності макро- та мікроелементів, таких як кальцій, магній, калій та фосфор, а також сприяє мобілізації токсичних форм важких металів, зокрема алюмінію та марганцю, що негативно впливає на фізіологічний стан рослин.

У межах оптимальних значень рН ґрунту забезпечується стабільний розвиток лісових формацій, висока продуктивність деревостанів і стійкість екосистем до стресових чинників. Проте внаслідок антропогенного навантаження, кислотних дощів, інтенсивної експлуатації земель та зміни кліматичних умов процеси підкислення ґрунтів значно посилюються, що створює загрозу для функціонування лісів і призводить до деградаційних процесів.

Таким чином, кислотність ґрунту слід розглядати як інтегральний екологічний показник, що відображає екологічний стан лісової екосистеми та визначає інтенсивність біологічних процесів у ній.

1.2. Біологічні особливості сосни звичайної як домінантного виду лісових екосистем

Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) є однією з найпоширеніших хвойних порід у помірному кліматичному поясі Євразії. Вона відіграє провідну роль у формуванні лісових екосистем, виконуючи як екологічні, так і господарські функції. Соснові ліси поширені на значних площах України та характеризуються відносною невибагливістю до умов зростання, що зумовлює широку екологічну амплітуду виду.

Сосна звичайна є світлолюбною породою, стійкою до посухи, морозів і бідних піщаних ґрунтів. Водночас її чутливість до хімічного складу ґрунту, зокрема до кислотності, проявляється у зміні темпів росту, життєздатності та продуктивності. Оптимальні значення рН для сосни становлять 4,5–6,0, що відповідає слабокислим і помірно кислим ґрунтам.

Ріст сосни звичайної залежить від стану кореневої системи, яка забезпечує поглинання води та мінеральних речовин. У надмірно кислих умовах відбувається пригнічення розвитку тонких коренів, зменшується поглинальна здатність, що негативно відображається на загальному фізіологічному стані дерев. Порушення обміну речовин призводить до зниження фотосинтетичної активності, ослаблення імунітету та зростання вразливості до шкідників і хвороб.

Популяції сосни звичайної характеризуються динамічністю, яка проявляється у зміні чисельності, вікової структури, щільності та інтенсивності природного поновлення. На ці процеси суттєвий вплив справляють абіотичні умови середовища, серед яких кислотність ґрунту займає провідне місце.

1.3. Вплив кислотності ґрунту на ріст, розвиток і життєздатність сосни звичайної

Кислотність ґрунту визначає не лише хімічний склад ґрунтового розчину, а й умови доступності поживних елементів, що безпосередньо

позначається на ростових процесах сосни звичайної. Зі зниженням рН відбувається зменшення вмісту кальцію, магнію та фосфору, натомість підвищується концентрація алюмінію і заліза, які у високих дозах мають токсичний вплив на кореневу систему.

У кислому середовищі пригнічується активність корневих меристем, сповільнюється поділ клітин і видовження коренів. Це призводить до зменшення площі всмоктування та, відповідно, зниження інтенсивності водото мінерального живлення. Як наслідок спостерігається зменшення приросту по висоті та діаметру, деформація пагонів і зниження загальної біомаси дерев.

Надмірна кислотність також впливає на обмін речовин, зокрема на фотосинтез і дихання. Дефіцит основних елементів живлення призводить до порушення синтезу хлорофілу, пожовтіння хвої, її передчасного опадання та загального ослаблення рослин. Це суттєво знижує життєздатність соснових насаджень і скорочує їхній біологічний потенціал.

Особливо чутливими до кислотності є молоді сіянці та підрост, які мають менш розвинену кореневу систему та слабшу здатність до адаптації. Тому зміни рН ґрунту найперше проявляються у порушенні процесів природного поновлення популяцій сосни звичайної.

1.4. Динамічні показники популяції сосни звичайної та їх залежність від ґрунтових умов

Динамічні показники популяції відображають її здатність до саморегуляції, стабільності та розвитку в часі. До основних динамічних характеристик популяції сосни звичайної належать:

- чисельність особин;
- щільність популяції;
- вікова структура;
- темпи росту;
- інтенсивність природного поновлення;
- рівень смертності.

Кислотність ґрунту впливає на всі зазначені показники шляхом створення сприятливих або несприятливих умов для росту та розвитку дерев. У середовищах із оптимальним рН спостерігається збалансована вікова структура популяції, високі показники схожості насіння та стабільне природне поновлення. Натомість у закислених ґрунтах виникає дисбаланс вікових груп, зростає частка ослаблених особин, зменшується кількість молодих дерев, що негативно позначається на відтворювальному потенціалі популяції.

Порушення кислотно-лужного балансу призводить до поступового старіння популяції, зменшення її щільності та деградації деревостанів. Це особливо небезпечно в умовах тривалого антропогенного навантаження та кліматичних змін.

1.5. Екологічні наслідки підкислення ґрунтів для соснових лісів

Процеси підкислення ґрунтів мають комплексний вплив на функціонування екосистем соснових лісів. Вони спричиняють не лише зміну стану деревних рослин, а й трансформацію всього біогеоценозу. Порушуються процеси сукцесії, змінюється видовий склад підліску, трав'яного покриву та ґрунтової мікрофлори.

Зниження біологічної активності ґрунту сприяє уповільненню розкладання органічних решток, що призводить до накопичення товстого шару підстилки та подальшого зростання кислотності. Таким чином формується замкнене коло деградації, яке поступово знижує екологічну стійкість лісової екосистеми.

У довготривалій перспективі підкислення може призводити до скорочення площ соснових насаджень, зменшення їх продуктивності, підвищення ризику всихання та втрати біорізноманіття.

Висновки до розділу 1

Отже, кислотність ґрунту є одним із визначальних факторів, що впливають на динаміку популяції сосни звичайної. Вона визначає умови зростання, рівень життєздатності, інтенсивність ростових процесів і здатність виду до самовідновлення. Надмірне підкислення ґрунтів призводить до порушення фізіологічних функцій сосни, деградації її популяцій та зниження екологічної стійкості лісових екосистем.

Таким чином, врахування кислотності ґрунтів є необхідною умовою для ефективного управління сосновими насадженнями, розробки заходів їх охорони та забезпечення сталого функціонування лісових екосистем у сучасних екологічних умовах.

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТІВ НА ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЇ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

2.1. Характеристика району досліджень

Дослідження впливу кислотності ґрунтів на динамічні показники популяції сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) проводилися на території лісових масивів, що відрізняються за ступенем техногенного навантаження та природними ґрунтово-кліматичними умовами. Для забезпечення об'єктивності результатів було обрано три порівняльні ділянки, розташовані в межах одного природно-кліматичного району, але з різним рівнем антропогенного впливу.

Перша ділянка (контрольна) характеризується відносно стабільними природними умовами, відсутністю значного промислового забруднення та мінімальним втручанням людини у функціонування екосистеми. Ґрунти представлені дерново-підзолистими або піщаними різновидами з помірною кислотністю.

Друга ділянка розташована поблизу сільськогосподарських угідь, де можливі процеси вторинного підкислення, пов'язані з використанням мінеральних добрив, агрохімікатів та зміною структур ґрунтового покриву.

Третя ділянка знаходиться в зоні підвищеного антропогенного впливу (поблизу транспортної магістралі або промислового об'єкта), де спостерігається накопичення кислих опадів та підвищений рівень техногенного забруднення.

Клімат району дослідження – помірно континентальний, з чітко вираженими порами року, середньорічною температурою $+7...+9$ °C та річною кількістю опадів 500–650 мм. Лісові насадження представлені переважно сосновими фітоценозами віком 25–60 років.

2.2. Вибір пробних площ та організація польових досліджень

На кожній дослідній ділянці закладалися пробні площі розміром 20×20 м, що відповідало загальноприйнятим методикам лісотипологічних досліджень. Пробні площі розташовувалися в одновікових насадженнях сосни звичайної для мінімізації впливу вікового фактору на результати.

На кожній площі проводили:

- інвентаризацію деревного ярусу;
- облік кількості дерев;
- вимірювання висоти та діаметра стовбура;
- оцінку стану крон;
- визначення вікового класу;
- фіксацію наявності підросту та підліску.

Особлива увага приділялася візуальним ознакам пригнічення рослин: пожовтіння хвої, зрідженість крони, усихання верхівок, механічні пошкодження.

2.3. Визначення кислотності ґрунтів

Для визначення кислотності ґрунту використовували метод експрес-аналізу за допомогою універсального індикаторного рН-паперу, що дозволяє

отримати достатньо точні результати за умов обмеженого лабораторного обладнання.

Методика визначення рН включала такі етапи:

1. Відбір ґрунтових проб з глибини 0–20 см у трьох точках на кожній пробній площі.
2. Підготовка ґрунтово-водної суспензії у співвідношенні 1:2,5 (ґрунт : дистильована вода).
3. Перемішування суспензії та витримка протягом 10–15 хвилин.
4. Занурення індикаторного паперу в розчин.
5. Порівняння забарвлення індикатора зі шкалою рН.

Отримані значення фіксувалися та усереднювались для кожної пробної площі. На основі результатів виділялися зони:

- слабокислі (рН 5,5–6,0);
- середньокислі (рН 4,5–5,4);
- сильнокислі (рН < 4,5).

2.4. Оцінка динамічних показників популяції сосни звичайної

Для аналізу стану популяцій використовували комплекс показників, які відображають динаміку росту та життєздатність насаджень.

Основні параметри включали:

- густоту популяції (кількість дерев на 1 га);
- середній діаметр стовбура на висоті 1,3 м;
- середню висоту дерев;
- коефіцієнт життєвого стану;
- рівень природного поновлення;
- співвідношення здорових і пригнічених особин.

Для визначення життєвого стану дерев застосовували шкалу:

- I категорія – здорові дерева;
- II категорія – ослаблені;

- III категорія – сильно ослаблені;
- IV категорія – всихаючі;
- V категорія – сухостій.

Облік проводився шляхом суцільного перерахунку дерев на пробній площі з наступним переведенням показників у перерахунку на гектар.

2.5. Методи статистичної обробки результатів

Отримані дані оброблялися з використанням описової статистики. Визначалися:

- середні значення показників;
- мінімальні та максимальні значення;
- коефіцієнт варіації;
- відхилення від контрольної ділянки.

Для виявлення зв'язку між рівнем кислотності ґрунту та біометричними показниками використовували методи кореляційного аналізу. Аналіз результатів дозволив встановити тенденції зміни стану популяції залежно від значень рН.

2.6. Екологічна інтерпретація результатів

Інтерпретація отриманих даних базувалася на порівняльному аналізі трьох досліджуваних ділянок. Встановлювалися закономірності між показниками кислотності ґрунту та:

- інтенсивністю росту дерев;
- рівнем пригнічення популяції;
- ступенем регенерації;
- структурою вікового складу.

Отримані результати дозволяють оцінити ступінь екологічної толерантності сосни звичайної до кислого середовища та визначити критичні пороги кислотності, за яких спостерігається деградація популяцій.

Висновки до розділу 2

Запропонована методика дозволяє комплексно дослідити вплив кислотності ґрунту на динамічні показники популяції сосни звичайної в умовах обмеженого матеріально-технічного забезпечення. Поєднання польових спостережень з експрес-аналізом рН та біометричними вимірюваннями забезпечує достатній рівень інформативності для встановлення причинно-наслідкових зв'язків між ґрунтовими умовами та станом рослинних популяцій. Результати можуть бути використані для розробки практичних рекомендацій з покращення стану соснових насаджень та оптимізації лісогосподарських заходів.

3. ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ НА ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОПУЛЯЦІЇ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

3.1. Організація та умови проведення дослідження

Практичне дослідження впливу кислотності ґрунту на динамічні показники популяції сосни звичайної здійснювалося на трьох дослідних ділянках, що відрізнялися за рівнем антропогенного навантаження та характеристиками ґрунтового середовища. Всі ділянки розташовувалися в межах одного природно-кліматичного району, що дозволило мінімізувати вплив кліматичних чинників і забезпечити коректність порівняльного аналізу.

Перша ділянка (контрольна) характеризувалася мінімальним техногенним впливом, стабільними ґрунтовими умовами та збереженою структурою рослинного покриву. Друга ділянка розташовувалася поблизу сільськогосподарських угідь, де спостерігалось помірне антропогенне навантаження, пов'язане із застосуванням добрив та зміною гідрологічного режиму. Третя ділянка перебувала в зоні підвищеного антропогенного впливу, зокрема поблизу транспортної магістралі, що сприяло додатковому надходженню кислих опадів і техногенних полютантів.

Дослідження проводилися у весняно-літній період у фазі активної вегетації сосни звичайної. Для кожної ділянки було закладено пробні площі однакового розміру (20×20 м), у межах яких здійснювалися всі польові вимірювання та спостереження. Особлива увага приділялася однорідності вікового складу дерев, характеру зімкнутості крон і типу лісорослинних умов.

3.2. Практична методика визначення кислотності ґрунту

Визначення кислотності ґрунту в межах практичного дослідження здійснювалося безпосередньо в польових умовах із використанням універсального індикаторного рН-паперу. Даний метод обрано як найбільш доступний та доцільний для оперативного контролю показників кислотності на дослідних ділянках.

Відбір ґрунтових проб проводився з глибини 0–20 см – шару, у якому зосереджена основна активна зона кореневої системи сосни звичайної. Проби відбиралися в трьох точках кожної ділянки з інтервалом 5–7 м.

Подальші етапи практичного визначення рН включали:

1. Видалення рослинних решток та кам'янистих включень із ґрунту.
2. Приготування ґрунтової суспензії у співвідношенні 1:2 (ґрунт : дистильована вода).
3. Ретельне перемішування суміші та витримка протягом 10 хвилин.
4. Занурення індикаторного паперу в розчин на 2–3 секунди.
5. Візуальне порівняння кольору індикатора зі шкалою виробника.

Для підвищення точності процедуру повторювали тричі на кожній ділянці, після чого обчислювали середнє арифметичне значення рН.

На основі отриманих результатів було встановлено клас кислотності кожної дослідної ділянки, що дало змогу співвіднести рівень рН із показниками росту та життєвого стану сосни звичайної.

3.3. Фактичні результати дослідження та їх опис

Практична частина дослідження була спрямована на встановлення реальної залежності між кислотністю ґрунту та динамічними показниками популяції сосни звичайної в умовах різного ступеня антропогенного навантаження.

Перша ділянка характеризувалася слабокислою реакцією ґрунтового середовища (рН 5,8–6,2). Тут спостерігались найбільш сприятливі умови для росту та розвитку сосни звичайної. Середня висота дерев складала 18,6 м, середній діаметр стовбура – 24,3 см, густина насадження – близько 860 дерев на гектар. Крони дерев були густими, хвоя – яскраво-зеленого кольору, значних ознак усихання не фіксувалося. Кількість сіянців становила в середньому 2300–2700 шт./га, що свідчить про високий рівень природного поновлення.

На другій ділянці із рН 4,9–5,2 спостерігалось зниження ростових показників: середня висота дерев становила 15,2 м, діаметр – 20,1 см, густина – близько 710 дерев/га. Фіксувалися прояви пригнічення: пожовтіння хвої, поява сухих гілок, зменшення густоти крон. Показники природного поновлення знижувалися до 1400–1600 сіянців/га.

Третя ділянка характеризувалася сильно кислими ґрунтами (рН 3,9–4,3). Тут спостерігалися найгірші умови існування популяції: середня висота дерев не перевищувала 12,8 м, діаметр – 16,5 см, густина насадження – близько 540 дерев/га. Фіксувалися ослаблені дерева, сухостій, зріджені крони та низька інтенсивність поновлення (600–900 сіянців/га).

Для кращої наочності узагальнені кількісні дані наведено у **Додатку А**, а графічне відображення залежності між рН ґрунту та ростовими показниками представлено у **Додатках Б–Г**.

3.4. Узагальнений аналіз та екологічне значення результатів

Отримані дані свідчать, що кислотність ґрунту є одним із провідних лімітуючих факторів, який визначає життєвий стан, структуру та стабільність

популяції сосни звичайної. Зі зниженням рН спостерігається активізація токсичних іонів алюмінію, порушення поглинання кальцію, магнію та фосфору, що негативно впливає на кореневу систему і фізіологічні процеси.

Погіршення ростових показників супроводжується змінами вікової структури популяції, зменшенням частки молодих особин та пригніченням процесів природного поновлення. Це підвищує ризик деградації соснових насаджень та втрати їх екологічної стійкості.

Практичне значення результатів полягає у можливості прогнозування стану лісових екосистем та розробці рекомендацій щодо стабілізації кислотності ґрунтів шляхом вапнування, внесення органічних добрив та впровадження ґрунтозахисних технологій. Встановлена залежність між рН ґрунту та динамічними показниками популяції підтверджує необхідність постійного екологічного моніторингу територій із підвищеним антропогенним навантаженням.

4. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

4.1. Загальні висновки за результатами дослідження

Проведене теоретичне та практичне дослідження дозволило комплексно оцінити вплив кислотності ґрунтів на динамічні показники популяції сосни звичайної та зробити низку обґрунтованих наукових висновків. Установлено, що кислотність ґрунту виступає одним із провідних екологічних чинників, який безпосередньо визначає стан, життєздатність і стабільність соснових насаджень.

Аналіз показав, що зі зниженням рН ґрунту від слабокислого до сильно кислого відбувається системне погіршення ростових показників сосни звичайної. Зменшується середня висота дерев, діаметр стовбура та густота насаджень, що свідчить про пригнічення фізіологічних процесів і порушення адаптаційних механізмів рослин. Особливо чутливо на зміну кислотності реагують молоді особини, у яких різко знижується рівень приживлюваності та виживання.

Виявлено, що підвищена кислотність ґрунту сприяє активізації токсичних форм алюмінію та марганцю, які негативно впливають на кореневу систему сосни, порушують процеси поглинання кальцію, магнію та фосфору, знижують інтенсивність фотосинтезу і загальний обмін речовин. Це призводить до зменшення асиміляційної поверхні, ослаблення дерев та підвищення їх уразливості до шкідників і хвороб.

Дослідження підтвердило, що найбільш сприятливими для формування стабільних популяцій сосни звичайної є слабокислі ґрунти (рН 5,5–6,2), за яких забезпечується оптимальне поєднання доступності поживних речовин, активності мікробіоти та функціонування кореневої системи. Натомість сильно кислі ґрунти (рН < 4,5) створюють умови екологічного стресу, що призводить до деградації популяції та зниження її відновного потенціалу.

Отримані результати підтверджують тісний взаємозв'язок між кислотністю ґрунту та такими динамічними показниками популяції, як густота насаджень, рівень природного поновлення, життєвий стан дерев та структура вікового складу. Таким чином, кислотність ґрунту є важливим

діагностичним показником для оцінки екологічного стану соснових фітоценозів.

4.2. Практичні рекомендації щодо оптимізації стану соснових насаджень

На основі отриманих результатів сформульовано низку практичних рекомендацій, спрямованих на стабілізацію стану популяцій сосни звичайної та підвищення їх екологічної стійкості.

1. Рекомендується здійснювати регулярний моніторинг кислотності ґрунтів у соснових насадженнях, особливо в зонах підвищеного антропогенного навантаження, з метою своєчасного виявлення негативних змін.

2. У випадках виявлення сильної або середньої кислотності доцільним є застосування заходів хімічної меліорації, зокрема вапнування ґрунту, що сприятиме нейтралізації кислотного середовища та покращенню умов росту рослин.

3. Доцільно впроваджувати ґрунтозахисні технології, спрямовані на підвищення буферної здатності ґрунтів, збереження органічної речовини та стабілізацію біологічної активності ґрунтової мікрофлори.

4. Рекомендується застосовувати селективний відбір найбільш життєстійких особин сосни звичайної для лісовідновлення та лісорозведення в умовах підвищеної кислотності.

5. Варто обмежити техногенне навантаження на лісові екосистеми шляхом регулювання викидів промислових підприємств та контролю транспортного руху поблизу лісових масивів.

6. Необхідно здійснювати комплексні лісогосподарські заходи, спрямовані на покращення структури насаджень, видалення сильно ослаблених дерев та стимулювання природного поновлення.

4.3. Перспективи подальших досліджень

Подальші наукові дослідження доцільно спрямувати на вивчення довгострокового впливу кислотності ґрунтів на генетичну структуру популяцій сосни звичайної та їх адаптивний потенціал. Перспективним є дослідження ролі мікоризних грибів у підвищенні стійкості рослин до кислотного стресу, а також моделювання змін популяцій у контексті кліматичних трансформацій.

Доцільним є розширення географії досліджень та залучення більшої кількості ділянок для комплексного аналізу, що дозволить узагальнити результати та сформулювати прогностичні моделі розвитку соснових екосистем у майбутньому.

Таким чином, проведене дослідження має вагоме наукове і практичне значення та може слугувати основою для вдосконалення систем екологічного моніторингу й оптимізації управління лісовими ресурсами в умовах зростаючого антропогенного навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білик П. М. Лісова екологія і ґрунтознавство. – Львів : Світ, 2017. – 412 с.

2. Бондаренко В. Д. Екологія ґрунтів : теорія і практика. – Харків : Основа, 2019. – 290 с.
3. Гончар О. М. Ґрунтова екологія : підручник. – Київ : Либідь, 2020. – 280 с.
4. Дідух Я. П. Екологічні градієнти та адаптації рослин. – Київ : Наукова думка, 2014. – 312 с.
5. Жуков О. В. Екологія популяцій та угруповань. – Дніпро : ДНУ, 2019. – 301 с.
6. Коваленко Н. Г. Популяційна екологія рослин. – Київ : Академія, 2021. – 330 с.
7. Мороз П. А. Сосна звичайна: екологія та адаптації. – Київ : Агроосвіта, 2019. – 175 с.
8. Петренко С. І. Вплив антропогенних факторів на кислотність ґрунту // Екологічні науки. – 2021. – №2. – С. 72–79.
9. Ткачук В. М. Біоіндикатори стану ґрунтів. – Луцьк : Вежа-Друк, 2019. – 198 с.
10. Шевченко С. І. Лісові фітоценози України. – Київ : Наукова думка, 2017. – 360 с.
11. Кислотність ґрунтів та її вплив на ріст лісових порід
Електронний ресурс – Режим доступу:
<https://superagronom.com/articles/104-kislotnist-gruntu-ta-yiyi-vpliv-na-roslini>
12. Екологія лісу: вплив кислотності ґрунтів на соснові насадження
Електронний ресурс : <http://dspace.udpu.edu.ua/handle/6789/5310>
13. Сосна звичайна: біологія, екологія, поширення
Електронний ресурс: <https://www.lisproekt.gov.ua/sosna-zvichaina>

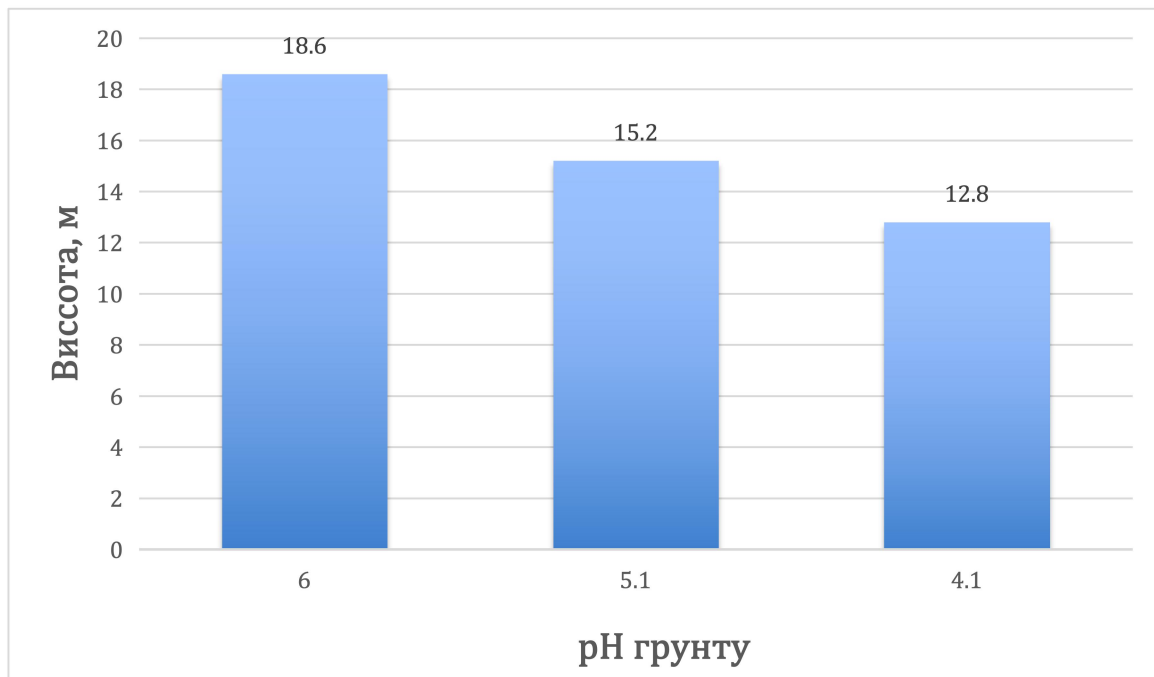
ДОДАТКИ

Показники кислотності ґрунту та основні біометричні показники сосни звичайної на дослідних ділянках

Ділянка	Середній рН ґрунту	Клас кислотності	Середня висота дерев, м	Середній діаметр стовбура, см	Густота насадження, дерев/га	Кількість сіянців, шт/га
Контрольна	6,0	слабокислий	18,6	24,3	860	2500
Агроавантаження	5,1	середньокислий	15,2	20,1	710	1500
Техногенна	4,1	сильно кислий	12,8	16,5	540	800

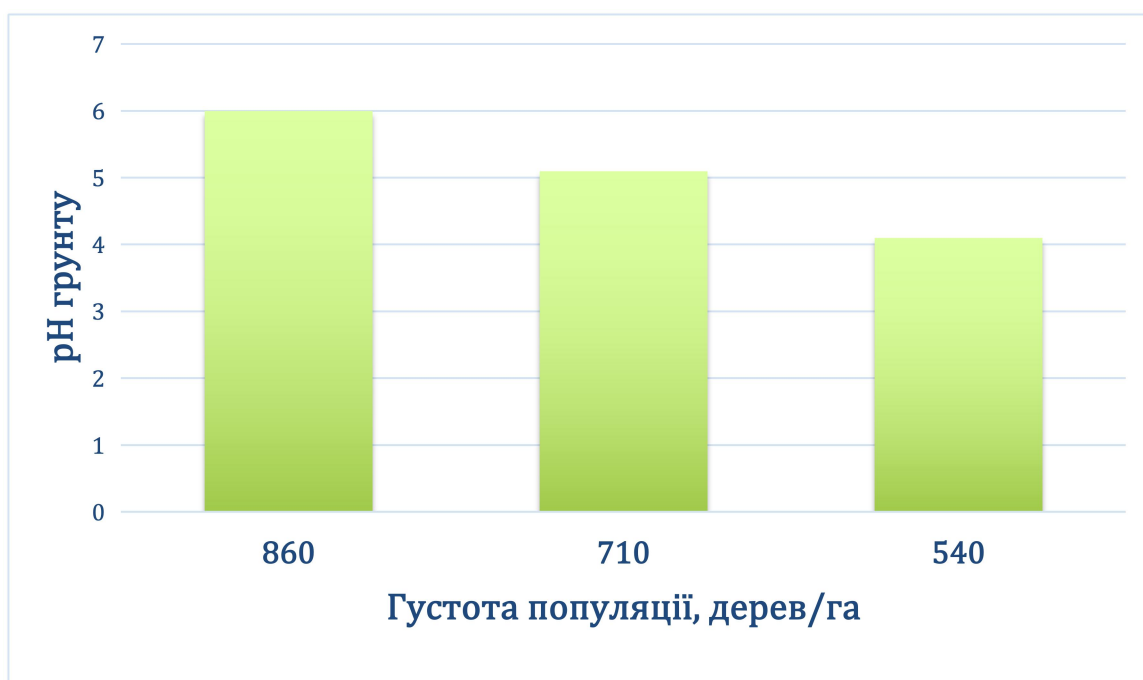
Примітка: Дані отримані шляхом польових вимірювань і оброблені методом середніх значень.

Діаграма Б. 1. Залежність середньої висоти сосни звичайної від рівня рН ґрунту



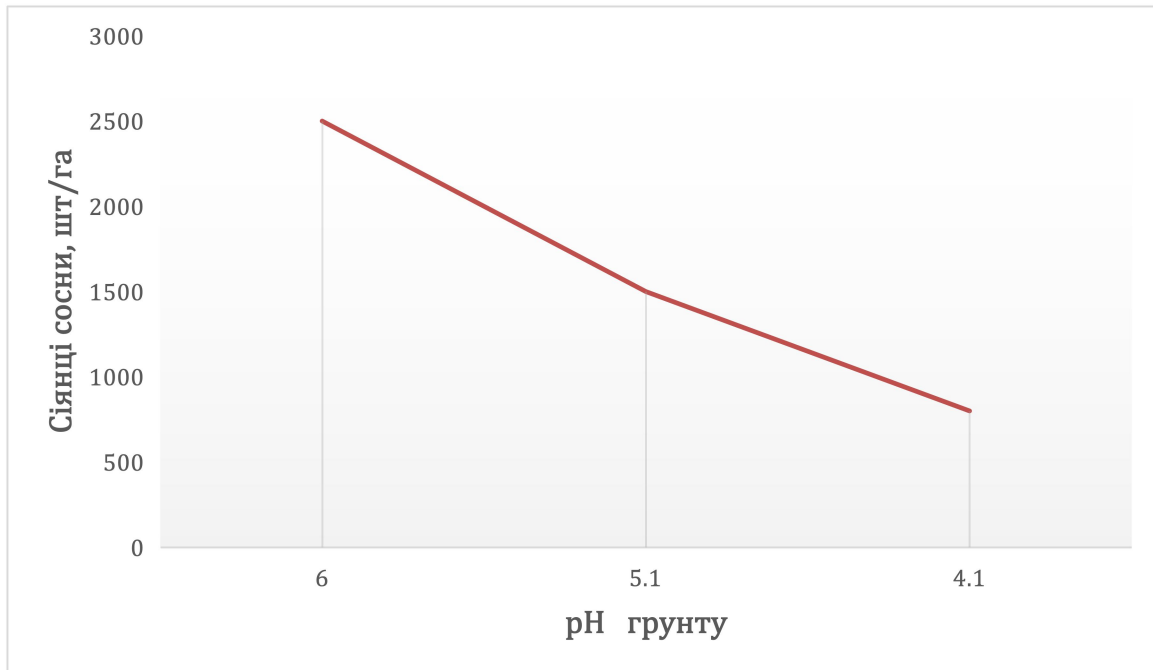
Опис: Діаграма демонструє чітку тенденцію зниження середньої висоти дерев зі зменшенням показника рН. Найвищі значення зафіксовано на слабокислих ґрунтах (рН $\approx$ 6,0), тоді як на сильно кислих ґрунтах (рН $\approx$ 4,1) показник різко знижується.

Діаграма В.1 Вплив кислотності ґрунту на густоту популяції сосни звичайної



Опис: Встановлено обернену залежність між кислотністю ґрунту та густотою насаджень. При зменшенні рН з 6,0 до 4,1 густота знижується майже вдвічі, що свідчить про пригнічення розвитку популяцій у сильно кислому середовищі.

Графік Г.1 Залежність кількості природного поновлення сосни від кислотності ґрунту



Опис: Графік демонструє зменшення кількості сіянців зі зростанням кислотності ґрунту. Найвищі показники поновлення характерні для слабнокислого середовища, тоді як у сильно кислому ґрунті процеси регенерації значно пригнічені.

